

Florencia Stelzer [1]

Lorena Canet-Juric [1]

Sebastián Urquijo [2]

Procesamiento numérico. Relaciones con el desempeño en matemáticas en niños.

Numerical processing. Relationships with mathematics performance in children.

Processamento numérico. Relações com o desempenho da matemática em crianças.

[1] Dra. en Psicología. Centro de Investigación en Procesos Básicos, Metodología y Educación (CIMEPB)- Facultad de Psicología- Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3280, cuerpo 5, nivel 3 (7600) Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina . Contacto: florenciastelzer@gamil.com. Garay 325 1° C Mar del Plata (7600), Provincia de Buenos Aires, Argentina

[2] Dr. en Educación en el área de Psicología Educativa. Centro de Investigación en Procesos Básicos, Metodología y Educación (CIMEPB)- Facultad de Psicología- Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3280, cuerpo 5, nivel 3 (7600) Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina

Resumen

En la actualidad existen resultados contradictorios respecto a la asociación entre la capacidad de procesamiento numérico y el desempeño en matemáticas en niños. La comprensión de dicho vínculo es relevante para el diseño de instrumentos de screening e intervención en niños con potenciales dificultades en el aprendizaje de las matemáticas. Objetivo: el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión de la literatura que esclarezca los resultados contradictorios entre estudios. Método: se realizó una búsqueda sistemática en las bases de EBSCO y PubMed utilizando diferentes combinaciones de los términos en español y en inglés: procesamiento numérico (numerical processing), matemática (mathematics), desempeño académico (academic achievement), niños (children) Resultados: la revisión realizada indica que el mapeo entre los sistemas de procesamiento numérico simbólicos y no simbólicos predice el desempeño matemático en niños. Conclusiones: se señalan algunos aspectos metodológicos que deberían ser considerados en futuras investigaciones.

Palabras clave: revisión; procesamiento numérico; matemáticas; desempeño matemático; niños

Abstract

At the present time, there are contradictory results about the relationship between numerical processing and children's math achievement. Main goal: The aim of this article was made a scientific review to analyse the results of scientific research during the last decade about the relationship between non-symbolic numerical processing and children's math performance. Method: we made a search at EBSCO and PubMed datasets using a combination of the key words: procesamiento numérico (numerical processing), matemática (mathematics), desempeño académico (academic achievement), niños (children). Results: The results showed that adequate mapping between symbolic and non-symbolic system predict math performance. Conclusion: We conclude pointing out some methodological issues necessary for future research.

Key words: review; numerical processing; mathematics; math achievement; children

Resumo

Atualmente existem resultados contraditórios com relação à associação entre a capacidade de processamento numérico e o desempenho da matemática em crianças. A compreensão do dito vínculo é relevante para o desenho de instrumentos de screening e intervenção em crianças com potenciais dificuldades na aprendizagem da matemática. Objetivo: o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura que esclareça os resultados contraditórios entre estudos. Método: realizou-se uma busca sistemática nas bases de EBSCO y PubMed utilizando diferentes combinações dos termos em espanhol e inglês: processamento numérico (numerical processing), matemática (mathematics), desempenho acadêmico (academic achievement), crianças (children) Resultados: a revisão realizada indica que o mapeamento entre os sistemas de processamento numérico simbólicos e não simbólicos prediz o desempenho matemático em crianças. Conclusões: apresentam-se alguns aspectos metodológicos que deveriam ser considerados em futuras investigações.

Palavras chaves: revisão; processamento numérico; matemática; desempenho matemático; crianças

El conocimiento matemático es crucial para el desarrollo científico-tecnológico de los países (Bynner & Parson, 2005; Clark, 1988). A nivel individual, se ha observado que desde los primeros años de la educación formal existen diferencias interindividuales en el desempeño matemático, las cuales tienden a ser estables a lo largo de la trayectoria escolar (Dowken, 2004; Duncan et al., 2007; Jordan, Kaplan, Locuniak, & Ramineni, 2007; Jordan, Kaplan, Olah & Locuniak, 2006; Jordan, Kaplan, Ramineni, & Locuniak, 2009; Mazzocco & Thompson, 2005). El adecuado aprendizaje de dicho dominio del conocimiento al inicio de la educación formal, proporciona las bases para el aprendizaje del álgebra y otras formas de conocimientos matemáticos de nivel superior (National Mathematics Advisory Panel, 2008), por lo cual, los niños que manifiestan dificultades en la comprensión y consolidación de competencias matemáticas básicas (e.g., conocimiento de números, procedimientos de adición y substracción, etc.) conforman un grupo de riesgo para el desarrollo de dificultades persistentes en tal dominio (Duncan et al., 2007). Asimismo, la persistencia de estas dificultades durante la vida adulta se asocia a una reducción de las oportunidades de empleo e ingresos (Grinyer, 2005), comprometiendo, consecuentemente, la calidad de vida de los sujetos.

Numerosos estudios han analizado posibles variables externas e internas que afectan al aprendizaje matemático, considerando entre estas: (a) las actitudes de los docentes

durante la enseñanza de la matemática (Gunderson, Ramirez, Levine, & Beilock, 2012; Van den Bergh, Denessen, Hornstra, Voeten, & Holland, 2010), (b) las estrategias de enseñanza utilizadas por los mismos (Klibanoff, Levine, Huttenlocher, Vasilyeva, & Hedges, 2006; Richland, Stigler & Holyoak, 2012; Rohrer & Pashler, 2010; Rohrer, & Taylor, 2006), (c) la estimulación que el niño recibe en el hogar y las expectativas de los padres respecto del aprendizaje de éste (Campbell & Mandel, 1990; Entwisle & Alexander, 1992; Gunderson, Ramirez, Levine, & Beilock, 2012; Halle, Kurtz-Costes, & Mahoney, 1997; Huntsinger & Jose, 1995), (d) factores motivacionales (Levpušček, & Zupančič, 2009; Steinmayr, & Spinath, 2009), (f) procesos cognitivos generales no específicos del dominio numérico (e.g., velocidad de procesamiento, memoria de trabajo, atención, inhibición y habilidades de procesamiento fonológico) (Blair & Razza, 2007; Bull, Espy, & Wiebe, 2008; Bull, & Scerif, 2001; Espy, McDiarmid, Cwik, Stalets, Hamby, & Senn, 2004) y (g) la capacidad de procesamiento de magnitudes numéricas simbólicas (Booth & Siegler, 2006; 2008; De Smedt, Verschaffel & Ghesquière, 2009; Siegler & Booth, 2004). Durante la última década se ha observado un creciente interés por el rol que cumplen los sistemas de procesamiento numérico no simbólicos sobre el desempeño en matemática simbólica (Condry & Spelke, 2008; Le Corre & Carey, 2007; Libertus, Feigenson, & Halberda, 2011). De acuerdo a Piazza (2010), el procesamiento numérico puede ser definido como

la habilidad para representar y manipular numerosidades (magnitudes cuantificables), ya sea en un formato simbólico (procesamiento numérico simbólico) o analógico (procesamiento numérico no simbólico). A diferencia de la capacidad de procesamiento numérico simbólico, la habilidad de procesamiento no simbólico es innata, común a los seres humanos y otras especies. Tanto los seres humanos como otros animales son capaces de representar y manipular cantidades sin utilizar sistemas simbólicos. Éstos pueden comparar, sumar y restar magnitudes de forma aproximada cuando se presentan en un formato no simbólico, tal como secuencias de sonidos o matrices de puntos (Gilmore, McCarthy & Spelke, 2010; Mundy & Gilmore, 2009). Por ejemplo, en monos macacos se observó que asociaban espontáneamente el número de voces que oían a la cantidad de caras que veían (Jordan, Brannon, Logothetis, & Ghazanfar, 2005). En humanos recién nacidos se comprobó que tras la habituación a secuencias auditivas de determinada cantidad (e.g., 6 tonos), tendían a observar durante más tiempo conjuntos que se correspondían con la misma cantidad (e.g. 6 puntos), respecto de conjuntos cuyos elementos representaban el triple de la secuencia escuchada (e.g., 18 puntos) (Izard, Sann, Spelke, & Streri, 2009).

Cuando los niños aprenden a contar e inician su instrucción en matemática simbólica, incorporan un sistema de representación preciso de las cantidades. No obstante, el

aprendizaje de sistemas numéricos simbólicos no reemplaza a los sistemas innatos no simbólicos, sino que se inscriben (*mapping*) sobre ellos, existiendo cierto nivel de interacción e interferencia entre ambos sistemas (Piazza, 2010).

En la actualidad existen dos hipótesis respecto del modo en el cual el procesamiento numérico no simbólico produciría un desempeño deficitario en matemáticas. La primera postula que existiría un déficit en el acceso a las magnitudes a través de los símbolos (De Smedt & Gilmore, 2011; Landerl & Kolle, 2009; Rouselle & Noel, 2007). Según esta hipótesis, el procesamiento no simbólico, a través de la interferencia que ejerce sobre el procesamiento numérico simbólico, afectaría el desempeño en matemáticas. La segunda hipótesis sugiere que existiría un déficit en la representación interna de la magnitud no simbólica (Butterworth, 2005; Mussolin, Mejias, & Noel, 2010), y que dicha alteración compromete el aprendizaje matemático. Existe evidencia empírica a favor de ambas hipótesis, por lo cual este trabajo presenta, compara y analiza los resultados dispares entre estudios realizados durante la última década, con el objeto de colaborar al esclarecimiento del problema, lo cual es clave para el diseño de instrumentos de *screening* de niños con potenciales dificultades en el aprendizaje matemático. La mejor comprensión de las variables que predicen tal aprendizaje supondría la posibilidad de diseñar y evaluar intervenciones destinadas a facilitararlo, al delimitar con mayor precisión los contenidos, actividades y estrategias que podrían ser utilizadas

con niños. A fin de posibilitar la interpretación de las relaciones halladas entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño en matemáticas, realizaremos una breve descripción de los sistemas implicados en el procesamiento numérico y los principales paradigmas utilizados para su evaluación.

Sistemas de representación de magnitudes no simbólicas o analógicas

Algunos autores han propuesto la coexistencia de dos sistemas mentales de representación de magnitudes analógicas (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004; Halberda, Ly, Wilmer, Naiman, & Germine, 2012). Por un lado, afirman que las numerosidades con más de cuatro elementos se representarían mentalmente dentro de un *sistema de magnitud análoga* (SMA), mientras que las con menos de 4 unidades se representarían en un *sistema de rastreo de objetos* (SRO).

El SMA representa numerosidades de forma aproximada en una escala mental denominada *línea numérica mental*. Existe cierto consenso respecto de que éstas se representan mentalmente a través de una distribución imprecisa de la activación en dicha línea mental y que la imprecisión se incrementa a medida que las numerosidades aumentan. Por ejemplo, la presentación de 5 elementos activaría numerosidades más próximas a ésta (e.g., 4 y 6); mientras que la presentación de 10 elementos activaría numerosidades más lejanas a la misma (e.g., entre 7 y 13) en la escala mental.

Algunos modelos matemáticos de la respuesta neuronal y de la efectividad en tareas de comparación numérica (e.g., pruebas donde los sujetos deben establecer cual de dos numerosidades representa mayor cantidad), indican que la escala mental se ajusta a una función logarítmica con una variación fija (Dehaene, 2003). De este modo, la representación mental del 1 es más precisa que la del 2, la del 2 que la del 3, y así sucesivamente. Según tales modelos, la capacidad de discriminación entre dos magnitudes depende de la razón entre las mismas y no de su valor absoluto. Es decir, comparar entre 8 y 16 puntos sería equivalente en dificultad a comparar entre 16 y 32 puntos, dado que sus razones son iguales [32:16=16:8]. Este hecho se originaría en que a medida que las numerosidades se incrementan, su activación en la línea mental se vuelve más imprecisa, ajustándose los umbrales de discriminación a las razones entre las numerosidades. El carácter logarítmico de la escala mental se modificaría como resultado de la instrucción en un sistema numérico simbólico, pasando de una distribución logarítmica a una lineal (Booth & Siegler, 2006; Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent, & Byrd-Craven, 2007; Siegler & Booth, 2004; Siegler & Opfer, 2003). Por otro lado, el SRO constituye un sistema de atención visoespacial que posibilita la aprensión precisa de pequeños conjuntos de objetos (e.g., hasta 4 elementos). Este sistema representa los objetos como entidades individuales (discretas) en la memoria de trabajo, construyendo una correspondencia uno a uno entre los objetos del mundo real y las represen-

taciones mentales de estos (Feigenson et al., 2004; Piazza, 2010). Cada representación individual presenta información sobre las propiedades de los objetos (e.g., forma) (Cantlon, Safford & Brannon, 2010; Feigenson et al., 2004). En las tareas de enumeración en las cuales hasta cuatro estímulos son presentados de forma muy breve o con enmascaramiento, este sistema permite una elevada efectividad y precisión en la determinación de la cantidad de elementos. Este fenómeno es denominado *subitización*, ya que se percibe la numerosidad de manera súbita. El SRO culmina su maduración alrededor de los 12 meses de edad, cuando alcanza su capacidad máxima de entre 3 y 4 objetos (Piazza, 2010). Por el contrario, el SMA alcanza su nivel de claridad máxima próximo a los 30 años, existiendo diferencias interindividuales en su grado de precisión a lo largo del ciclo vital.

Paradigmas de evaluación del procesamiento numérico

Si bien las tareas utilizadas para la evaluación del procesamiento numérico presentan adecuados niveles de confiabilidad y validez interna, el desempeño en las mismas no se encuentra asociado entre sí (Gilmore, Attridge & Inglis, 2011; Gebuis, Maarten & van der Smagt, 2011). La evidencia científica disponible no es concluyente respecto de cuál puede ser el origen de tal inconsistencia (Gilmore et al., 2011), por lo que futuras investigaciones deberán determinar las raíces de dichas incongruencias.

Los principales paradigmas experimentales utilizados en la evaluación del procesamiento numérico son la *comparación numérica* y la *estimación numérica pura*. En el primero de éstos los participantes deben establecer cuál de dos numerosidades posee mayor (o menor) magnitud (e.g., 2 vs. 4). Los estímulos empleados en este paradigma pueden tener un formato analógico (XX versus XXXX.) o simbólico (“dos” versus “cuatro”). Los primeros permitirían una estimación más directa de las representaciones no simbólicas del SMA, mientras que los segundos una apreciación indirecta, debido a que el mapeo simbólico se encuentra afectado por las propiedades del SMA (e.g, representación logarítmica). Tal como ha sido mencionado, el aprendizaje de los sistemas numéricos simbólicos se realiza integrando los mismos a los primitivos sistemas no simbólicos (Piazza, 2010). En este proceso, los sistemas innatos no son sustituidos, sino que coexisten con las nuevas formas simbólicas (De Smedt & Gilmore, 2011; Mundy & Gilmore, 2009; Piazza, 2010). Algunos autores han considerado que las tareas de comparación numéricas simbólicas, permiten evaluar el mapeo entre los sistemas de representación simbólicos y no simbólicos (Holloway & Ansari, 2008; Rousselle & Noël, 2007). No obstante, investigadores como Mundy y Gilmore (2009) sostienen que este tipo de pruebas no permiten una apreciación directa de tal proceso, sino que evalúan el grado de interferencia entre ambos sistemas. Según ellos el mapeo entre ambos podría ser evaluado con mayor precisión a través de tareas de

estimación de la numerosidad, en las cuales las estimaciones sean efectuadas alternando entre los formatos simbólicos y no simbólicos y viceversa (e.g., el estímulo es presentado en formato no simbólico y se debe determinar su magnitud respondiendo simbólicamente) (Mundy & Gilmore, 2009).

En el paradigma de estimación numérica “pura”, los participantes deben identificar de forma aproximada la magnitud de determinada numerosidad. El carácter puro de este paradigma se origina en que los participantes no requieren conocimiento previo de las entidades empíricas sobre las cuales se realiza la estimación. Por ejemplo, estimar la distancia desde Orlando a Miami requiere de un conocimiento previo de tales entidades en el mundo real. Por el contrario, la estimación del número de puntos en una matriz no necesita ningún conocimiento previo. En la actualidad coexisten diferentes tareas que responden al paradigma de estimación numérica pura. En las mismas se solicita al participante que efectúe: (a) estimaciones de la numerosidad (e.g., identificar el número de canicas dentro de un recipiente) (Booth & Siegler, 2006; Mundy & Gilmore, 2009); (b) estimaciones computacionales (e.g., señalar el producto aproximado de 231 x 154; señalar el producto aproximado de la suma de dos matrices de puntos) (Gilmore et al., 2010); (c) estimaciones de medición (e.g. determinar la longitud de una línea en pulgadas) (Booth & Siegler, 2006); (d) estimaciones de la línea numérica (e.g., estimar la ubicación de “26” dentro de una línea numérica de 0 a 100) (Booth & Siegler, 2008); (e) *priming* numérico (e.g.,

un estímulo numérico facilitador (*prime*) y uno objetivo (*target*) son presentados consecutivamente, el participante debe indicar si éstos son inferiores o superiores a “x” numerosidad (Sasanguie, Van den Bussche & Reynvoet, 2012). Tal como ha sido mencionado, las estimaciones de la numerosidad pueden ser empleadas para la medición del mapeo entre los sistemas simbólicos y no simbólicos. Autores como Gilmore et al. (2010) sugieren que las estimaciones computacionales que involucran estímulos no simbólicos (e.g., adición no simbólica), constituirían un indicador más sensible de la habilidad numérica no simbólica implicada en el aprendizaje de la matemática simbólica, respecto de los paradigmas de estimación de la numerosidad o comparación numérica. Por otra parte, las estimaciones de la línea numérica evalúan principalmente el carácter lineal (o logarítmico) de la representación numérica (Booth & Siegler, 2008), mientras que el *priming* numérico permitiría apreciar el grado de interferencia entre los sistemas simbólicos y no simbólicos (Sasanguie et al., 2012). De este modo, las tareas de estimación numéricas puras considerarían diferentes aspectos implicados en el procesamiento numérico.

Otro problema que podría explicar la escasa relación entre distintos paradigmas de evaluación del procesamiento numérico, radica en que en el registro del desempeño de tales tareas se han considerado diversos indicadores. En las pruebas de estimación de la línea numérica se ha utilizado principalmente el “porcentaje de error medio absoluto” (Booth & Siegler, 2006; 2008), indicador del grado de precisión en la línea numérica. En tareas de comparación numérica se han utilizado como indicadores (a) la eficacia general en la tarea (Libertus, Feigenson & Haberda, 2013; Mazzocco, Feigenson & Halberda, 2011; Mundy & Gilmore, 2009), (b) el tiempo de reacción (TR) (Holloway & Ansari, 2008; Lonneman, Linkersdörfer; Hasselhorn & Lindberg, 2011), (c) el efecto de la comparación numérica (Holloway & Ansari, 2008; Lonneman et al., 2011) y (d) la fracción de Weber (Libertus et al., 2011; Libertus, Feigenson & Haberda, 2013; Mazzocco et al., 2011). La fracción de Weber es estimada a través de la eficacia del participante a través de diferentes razones, mientras que el efecto de comparación numérica es establecido considerando las variaciones en los tiempos de reacción, dependientes de la distancia entre las magnitudes a comparar (e.g., a menor

distancia entre las numerosidades a comparar, mayor es el tiempo de reacción). Mundy y Gilmore (2009) sugirieron que los indicadores basados en la eficacia (fracción de Weber; eficacia) permiten la estimación directa de la habilidad (o inhabilidad) para procesar magnitudes; mientras que los indicadores basados en los tiempos de reacción (efecto de comparación numérica y tiempos de reacción) posibilitan apreciar principalmente las dificultades o variaciones interindividuales en el procesamiento numérico. Es decir, los primeros permitirían identificar principalmente la capacidad o el ruido interno en la representación, mientras que los segundos la fluidez o velocidad de acceso a las mismas (Mundy & Gilmore, 2009, Halberda et al., 2012).

Sasanguie, De Smedt, Defever, y Reynvoet (2012) han sugerido que las tareas que no presentan un tiempo límite de respuesta, permiten una evaluación más precisa de la claridad de las representaciones numéricas. Por el contrario, las tareas que poseen tal restricción temporal implicarían a la fluidez y a la velocidad de acceso a las mismas.

Método

Se realizó una búsqueda sistemática en las bases de EBSCO y PubMed utilizando diferentes combinaciones de los términos en español y en inglés: procesamiento numérico (*numerical processing*), matemática (*mathematics*), desempeño académico (*academic achievement*), niños (*children*). Se consideró como criterio de inclusión que su fecha de publicación sea posterior al año 2003. Se obtuvo un total de 30 publicaciones que constituían trabajos empíricos y de revisión sobre las asociaciones entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemáticas. A fin de ampliar el número de estudios, se localizaron e incluyeron en esta revisión aquellas referencias de los artículos filtrados en primer término, pertinentes a los objetivos de esta publicación. Con el objeto de facilitar el análisis comparativo de los resultados de los estudios recopilados, en este trabajo se consideraron únicamente las investigaciones realizadas con niños entre 2 y 12 años de edad con un desarrollo típico; quedando así seleccionados un total de 18 trabajos empíricos.

Considerando la diversidad de paradigmas existentes y sus diferencias respecto de los aspectos del procesamiento numérico evaluados, clasificamos las relaciones halladas con el desempeño en matemáticas, agrupándolas en función del paradigma de evaluación utilizado.

Resultados

Estudios que emplearon paradigmas de comparación numérica

Comparación numérica no simbólica

En niños preescolares con un desarrollo típico, diferentes estudios reportaron una asociación entre el desempeño en tareas de comparación numérica no simbólicas y el rendimiento en matemática (Mazzocco et al., 2011; Bonny & Lourenco, 2013; Libertus et al., 2011; 2013_{ab}). Desde un punto de vista longitudinal, algunos autores señalaron que el desempeño en tareas de comparación numérica no simbólica a los 3 y 4 años de edad predecía el desempeño en matemática 6 meses después (Libertus et al., 2013_b) y al finalizar la etapa preescolar (5 y 6 años) (Mazzocco et al., 2011; Libertus et al., 2013_a). Investigaciones transversales como las de Bonny y Lourenco (2013) hallaron que la eficacia en tareas de comparación numérica no simbólicas se asociaba al desempeño en pruebas estandarizadas de matemática en niños de 3 y 4 años de edad, pero no en los niños de 5 años. Sin embargo, Fuhs y McNeil (2013) no encontraron una relación entre estas variables en niños con edades entre 3 y 5 años de edad, al controlar el efecto de la capacidad de control inhibitorio. A

diferencia de los estudios anteriores, la muestra participante en el trabajo de Fuhs y McNeil (2013) provenía de un estatus socio-económico bajo. En diversas investigaciones se ha señalado que los niños criados en contextos de pobreza, eciben menor estimulación cognitiva respecto de aquellos que no experimentan tal condición (Campbell & Mandel, 1990; Davis-Kean, 2005; Entwisle & Alexander, 1997; Ramani & Siegler, 2008). Fuhs y Mc Neil (2013) sugirieron que las diferencias en el grado de exposición a estímulos numéricos simbólicos previo al ingreso al sistema educativo, afectarían la capacidad de procesamiento de numerosidades en formato no simbólico, repercutiendo sobre la relación entre dicha habilidad y el desempeño en matemática. No obstante, en la literatura existen resultados contradictorios respecto del efecto del nivel socio-económico sobre la capacidad de procesamiento numérico no simbólico (Gillmore et al., 2010; McNeil, Fuhs, Keultjes & Gibson, 2011). En las investigaciones relevadas, los estudios en los cuales se han observado diferencias entre niños provenientes de diferentes niveles socio-económicos respecto de la habilidad de comparación numérica no simbólica, no han explorado las asociaciones entre tales diferencias y el desempeño en matemáticas.

Tabla 1. Estudios que analizan las relaciones entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática en niños con un desarrollo típico

Autor	Diseño	Edad en años	Características socio-demográficas	V. control	Pruebas de proc. numérico	Variable registradas	Nº de ensayos	Ampl. Numer.	Razones	Prueba matemática
Mazzocco et al. (2011)	Long. T2=24 dm de T1	T1= 3 - 4	NSE m	CI; r. léxica (letras; colores, números) (T2)	T1=CN (NS)	Efic.; W	62	1-14	2.00, 1.5, 1.33; 1.25; 1.2; 1.17; 1.14; 1.12; 1.11	T2=TEMA-3
Libertus et al. (2013a)	Long. T2=6 md T1 T3=12 md T1 T4= 21 md T1	T1= 4	NSE m; m-a	CI (T3); Edad	T1, T2, T3, T4= CN (NS)	Efic.	T1 y T2=60 T3= 64 T4=42	T1 y T2= 4 – 15 T3= 5 - 22 T4= 5 - 21	T1 y T2= 1.17, 1.33, 1.5, y 2.0 T3= 1.14, 1.17, 1.5 y 2.5 T4= 1.11, 1.14, 1.17, 1.25, 1.5, 2.0, y 3.0	T4= TEMA-3.
Libertus et al. (2013b)	Long. T2=6 md T1	T1= 4	NSE m; m-a	Voc. Habilidad mat. Inicial (T1 y T2); MT, MCP y Aten. (T2)	T1 y T2= CN (NS)	Efic.; W; TR	60	4-15	2.00; 1.5; 1.33; 1.17	T 1 y T2= TEMA-3. Forma A.
Bonny y Lourenco (2013)	Trans. (comp.) 3 grupos etarios y de 2 grupos de desempeño matemático (DB vs. DA)	G1= 3 G2= 4 G3= 5	Comunidad metropolitana	Voc.	CN (NS)	Efic.; W	40	4-12	2.00 , 1.60 , 1.5, 1.38, 1.33, 1.25, 1.14, y 1.13	TEMA 3
Fuhs y McNeil (2013)	Trans.(Ncomp.)	3 a 5	Head start, heterogeneidad étnica	Voc.; CIn	CN (NS)	Efic.	30	1 -30	4.00; 2.00; 1.5; 1.33; 1.25; 1.2; 1.17; 1.14; 1.12; 1.11	TEMA 3
Libertus et al. (2011)	Trans.(Ncomp.)	2 a 6	NE	Voc.; Edad	CN (NS)	Efic.; W; TR	60	4-15	2.00; 1.5; 1.33; 1.17	TEMA 3. Forma A

Notas: a=alto; Ampl. Numer= amplitud de las numerosidades; Aten.=Atención; b= bajo; CI= cociente intelectual; CIn: control inhibitorio; CN= Comparación numérica; DA= desempeño alto; DB=desempeño bajo; Efic.= Eficacia; G=grupo comparativo; Long.= diseño longitudinal; m= medio; MCP= memoria a corto plazo; md= meses posteriores a; MT=memoria de trabajo; NE= no especificado; (NS)= no simbólica; NSE=Nivel socio-económico; Numest.= numerosidades a estimar; r. léxica= recuperación léxica; (S)= simbólica; T= Tiempo de evaluación estudios longitudinales; TEMA= Test of Early Mathematical Abilities; TR= Tiempo de reacción; Trans (Ncomp)= diseño transversal no comparativo; Trans (comp.)= diseño transversal comparativo; Voc= vocabulario; W: fracción de Weber.

Tabla 1. Estudios que analizan las relaciones entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática en niños con un desarrollo típico (continuación)

Autor	Diseño	Edad en años	Características socio-demográficas	V. control	Pruebas de proc. numérico	Variable registradas	Nº de ensayos	Ampl. Numer/ L. línea	Razones	Distancia entre magnitudes	Numerosidades a estimar	Prueba matemática
Holloway y Ansari (2009)	Trans. (comp.) 3 grupos etarios	G1= 6 G2=7 G3=8	NSE m; m-a	Lectura Edad	CN (S y NS)	DN; TR	72	1-9		1-6		WJ III
Sasanguie , De Smedt, Defever y Reynvoet (2012)	Trans. (comp.) 4 grupos etarios	G1=preescolares (M = 5.6), G2= 1º año (M = 6.7), G3= 2º año	NE	G1: tareas fonológicas G2, 3, y 4: dictado (letras, palabras, oraciones); conocimiento numérico (1-9); año de cursado	CN (S y NS)	DN; TR/1-tasa de error	60	1-9		1-5	1-9 2, 3, 4, 6, 18, 25, 48, 67, 71 y 86	G1= NUF G 2, 3 y 4: CSATFS
		ELN (S y NS)			PEA	9 10	0-10 0-100					
Sasanguie et al. (2013)	Long. (comp.) 3 grupos etarios T2= 12 md T1	G1(t1)=1º año (M = 7.6), (M= 6.6 años) G4= 6º año G2 (t1)=2º año (M = 11.6) (M= 7.7 años) G3 (t1)=3º año (M= 8.6 años)	NSE m-a	Desempeño matemático (T1); dictado (letras, palabras y oraciones) (T2); año de cursado	T1=CN (NS)	Efic.; W; TR	140	16-26	26:16;16:24; 16:22; 16:20; 19:16;18:16;17:16; 16:15; 16:14; 16:13; 16:12; 16:10; 16:8; 16:6			T2=Tempo Test T1 y T2= CSATFS
		T1=CN (S)			Efic.; W; TR	60	1-9	1-5				
		T1=ELN (S y NS)			PEA	10	0-100					2, 3, 4, 6, 18, 25, 48, 67, 71, y 86
Vanbinst et al. (2012)	Trans. (Ncomp.)	8	NSE m; m-a	CI; denominación numérica (1-9); uso de estrategia aritmética (automatizada vs. procedimental)	CN (S y NS)	DN	72	1-9		1-8		CSATFS

Notas a=alto; Ampl. Numer= amplitud de las numerosidades; b= bajo; CI= cociente intelectual; CN= Comparación numérica; CSATFS: Curriculum-based standardized achievement test for mathematics from the Flemish Student Monitoring System; DN= efecto de distancia numérica; Efic.= Eficacia; ELN= Estimación línea numérica; G=grupo comparativo; WJ= Woodcock–Johnson Tests of Achievement; L. línea= longitud de la línea; Long.= diseño longitudinal; m= medio; M=media; MCP= memoria a corto plazo; md= meses posteriores a; NE= no especificado; (NS)= no simbólica; NSE=Nivel socio –económico; NUF: Numerical Understanding Test; PEA=porcentaje de error absoluto; (S)= simbólica; T= Tiempo de evaluación estudios longitudinales; TR= Tiempo de reacción; Trans (Ncomp)= diseño transversal no comparativo; Trans (comp.)= diseño transversal comparativo; Voc= vocabulario; W: fracción de Weber

Tabla 1. Estudios que analizan las relaciones entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática en niños con un desarrollo típico (continuación)

Autor	Diseño	Edad en años	Características socio-demográficas	V. control	Pruebas de proc. numérico	Variable registradas	Nº de ensayos	Ampl. Numer/ L. línea	Razones	Distancia entre magnitudes	Numerosidades a estimar	Prueba matemática	
Mundy y Gilmore (2009)	Trans. (Ncomp.)	6 y 7	Sin necesidades de educación especial	NE	CN (S y NS)	Efic.; DN	72	1-9		1-8		PM no estandarizada	
					EN (S y NS)	Efic.	24	20-50	0.5; 0.67 (elección forzada entre numerosidad correcta y distractor)				
Inglis et al. (2011)	Trans. (comp.) 2 grupos etarios	G1: 7 - 9 G2: 18 - 48	NE	CI	CN (NS)	W	128	G1= 5-22 G2= 9-70	G1= 0.5; 0.6; 0.7; 0.8 G2= 0.625; 0.714; 0.833			WJ III	
Lonnemann et al. (2011)	Trans. (Ncomp.)	8 y 10	NE	NE	CN (S y NS)	DN; Efic.; TR	96	1-6		1-4		PM no estandarizada	
Sasanguie, Van den Bussche, y Reynvoet (2012)	Long. T2= 12 md T1	T1=preescolares (M: = 5.6 años), 1º grado (M= 6.7 años), 2º grado (M= 7.6 años).	Desarrollo típico	Dictado (letras, palabras, oraciones) (T2)	T1= CN (S y NS)	DN; RT /1-error; número de errores	60	1-9			1-5		T2= CSATFS
					T1= ELN (S y NS)	PEA 10	9 0-100	0-10		2;3;4;6;18;25;48; 67;71;86	1-9		
					T1= Priming numérico	PDN (efecto de distancia priming)	48	Prime: 1-9 Blancos: 1,4,6,9 Valor de comparación: 5					
De Smedt et al. (2009)	Long. T2= 12 md T1	T1= 1º año (M=6.4 años; DE=.3)	Desarrollo típico	Lectura de números y CI (T1); Edad	T1=CN (S)	DN; Efic.; RT	72	1-9		1-8		T2=CSATFS	

Notas a=alto; Ampl. Numer= amplitud de las numerosidades; b= bajo; CI= cociente intelectual; CN= Comparación numérica; CSATFS: Curriculum-based standardized achievement test for mathematics from the Flemish Student Monitoring System; DE=desviación estándar; DN= efecto de distancia numérica; Efic.= Eficacia; G=grupo comparativo; WJ= Woodcock–Johnson Tests of Achievement; L. línea= longitud de la línea; Long.= diseño longitudinal; m= medio; M=media; md= meses posteriores a; NE= no especificado; (NS)= no simbólica; NSE=Nivel socio –económico; PEA=porcentaje de error absoluto; PM: prueba matemática; (S)= simbólica; T= Tiempo de evaluación estudios longitudinales; TR= Tiempo de reacción; Trans (Ncomp)= diseño transversal no comparativo; Trans (comp.)= diseño transversal comparativo; Voc= vocabulario; W: fracción de Weber; WJ III: Woodcock–Johnson Tests of Achievement.

Tabla 1. Estudios que analizan las relaciones entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática en niños con un desarrollo típico (continuación)

Autor	Diseño	Edad en años	Características socio-demográficas	V. control	Pruebas de proc. numérico	Variable registradas	Nº de ensayos	Ampl. Numer/ L. línea	Razones	Numerosidades a estimar	Test matemático
Gilmore et al. (2010)	Log. (Comp.) T2= 2 md T1	T1=principio de 1º año (5 y 6 años) G1=NSE bajo G2= NSE m y a	NSE b; m y a	Con. de números (formato verbal y arábigo) (T1); Literatura y CI verbal (T2)	T1=EN (adición NS)	Efic.	24	5-58	5:7, 5:8 y 5:9		T2= PM no estandarizada
Siegler & Booth (2004)	Transversal (Comp.)	G1=preescolares G2=1º año G3= 2º año	NSE b; m	Edad; año de cursado	ELN (S)	PEA AFL	48	0-100		3,4,6,8,12,17,21,23,25,29,33,39,43,48,52,57,61,64,72,79,81,84,90,96	Stanford Achivement Test score (SAT-9) for mathematics
Booth & Siegler (2008)	Experimental (Entrenamiento problemas aritméticos)	6 y 7		Pre-Test: MCP; conocimiento de problemas de adición.	Pre y post test: ELN (S)	PEA AFL	26	0-100		2, 3, 6, 7, 11, 14, 15, 19, 21, 23, 24, 28, 32, 36, 44, 47, 51, 58, 63, 69, 72, 76, 84, 87, 91, 98	Pre y Post test: Wide Range Achivement Test-Expanded
Booth & Siegler (2006)	Transversal (Comp.)	Preescolares (M= 5.8), 1º año (M= 6.8) 2º año (M=7.9), 3º año (M= 9.1) 4º año (M= 9.9)	Heterogeneidad étnica; NSE b y m	E long. EN EC ELN (S) E long. EN EC	ELN (S)	PEA AFL 8 12 12 22	26	0-100		3, 4, 6, 8, 12, 14, 17, 18, 21, 24, 25, 29, 33, 39, 42, 48, 52, 57, 61, 64, 72, 79, 81, 84, 90, 96.	Stanford Achivement Test (IX) Iowa Test of Basic Skills
					1-10 in				3, 5, 6, 8,9, 10 in.		
									0.5;1; 1.5 (elección forzada entre numerosidad correcta y distractor)	22, 34, 46, 58	
									Respuestas entre 1-100		
					0-1000				3, 7, 19, 52, 103, 158, 240, 297, 346, 391, 438, 475, 502, 586, 613, 690, 721, 760, 835, 874, 907, 962		
					0-1000				Respuestas entre 87 - 997		

Notas. a=alto; AFL= grado de ajuste a función lineal ;Ampl. Numer= amplitud de las numerosidades; b= bajo; CI= cociente intelectual; CN= Comparación numérica; DN= efecto de distancia numérica; Efic.= Eficacia; EC= estimación computacional; ELN=estimación línea numérica; E long.= estimación de la longitud; EN= estimación numérica; L. línea= longitud de la línea; m= medio; MCP= memoria a corto plazo; NE= no especificado; (NS)= no simbólica; NSE=Nivel socio -económico; Numest.= numerosidades a estimar; PEA=porcentaje de error absoluto; PM= prueba matemática; (S)= simbólica; Trans (Ncomp)= diseño transversal no comparativo; Voc= vocabulario; W: fracción de Weber.

Por otra parte, solo en el estudio realizado por Fuhs y McNeil (2013) se controló el efecto que el control inhibitorio presenta sobre la relación entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño en matemáticas. En las tareas de comparación numérica no simbólicas, cuando los estímulos individuales que componen las matrices a comparar presentan igual tamaño, el total del área cubierta por la matriz con mayores numerosidades es superior respecto de la otra matriz, lo cual conduce a que los sujetos puedan realizar discriminaciones basadas en el total de la superficie cubierta (ver Figura 1). A fin de controlar esta variable extraña,

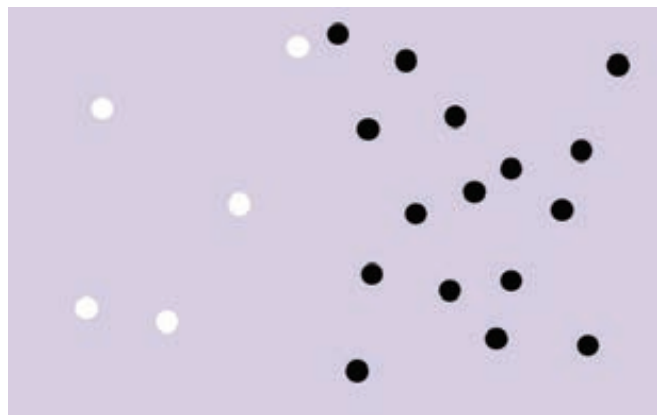


Figura 1. Ejemplo de ensayo en tareas de comparación numérica no simbólicas en el cual la matriz con mayor numerosidad presenta mayor superficie total. Panamath [online wiki] Recuperado y adaptado de http://panamath.org/wiki/index.php?title=Panamath_Software_Manual

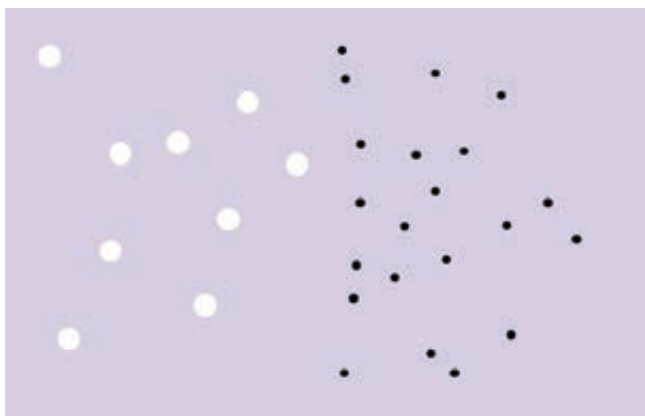


Figura 2. Ejemplo de ensayo en tareas de comparación numérica no simbólicas en el cual la matriz con mayor numerosidad presenta menor superficie total. Panamath [online wiki] Recuperado y adaptado de http://panamath.org/wiki/index.php?title=Panamath_Software_Manual

los investigadores utilizan ensayos en los cuales el total del área cubierta se correlaciona inversamente con la matriz que presenta mayor cantidad de elementos (Bonny & Lourenco; 2013; Halberda & Feigenson, 2008; Mazocco et al., 2011) (ver Figura 2). En tales ensayos la información perceptiva del área total es conflictiva respecto de la información numérica, por lo cual, éstos presentan una carga de control inhibitorio. Los resultados de Fuhs y McNeil (2013) sugerirían que la relación entre el desempeño en pruebas de comparación numérica no simbólicas y el desempeño en matemáticas se

origina en el componente inhibitorio implicado en las tareas de comparación numéricas y, por lo tanto, parecería que el procesamiento numérico no simbólico no tiene relación con el desempeño académico en matemáticas, al menos en niños con edades entre 3 y 5 años.

En alumnos de educación primaria básica, algunos autores encontraron que el desempeño en tareas de comparación numéricas no simbólicas y el rendimiento en matemáticas se mostraban independientes (Holloway & Ansari, 2009; Sasanguie, De Smedt, Defever & Reynvoet, 2012; Sasanguie, Göbel, Moll, Smets & Reynvoet, 2013; Vanbinst, Ghesquiere, & De Smedt, 2012); mientras que otros hallaron una vinculación entre ambos (Inglis, Attridge, Batchelor & Gilmore, 2011; Mundy & Gilmore, 2009). Adicionalmente, en ciertos estudios se observó que la asociación entre estas variables se restringía a ciertos aspectos específicos de las mismas. Puntualmente, Lonnemann, Linkersdörfer, Hasselhorn y Lindberg (2011) indicaron que el desempeño en tareas de comparación numéricas no simbólicas que involucran magnitudes inferiores a cuatro unidades se relacionaba únicamente con el rendimiento en tareas de substracción. El estudio reciente de Price, Palmer, Battista y Ansari (2012) ha sugerido que las inconsistencias entre los resultados de distintos trabajos, podrían originarse en diferencias en el tamaño de las muestras, las edades de los participantes, el tipo de prueba matemática e indicador utilizado para evaluar el procesamiento numérico (e.g., fracción de Weber, distancia numérica, eficacia, TR), la amplitud de las numerosidades a comparar y las razones o distancias consideradas entre las mismas. Respecto de estos dos últimos factores, los estudios realizados con niños en

edad escolar muestran considerables diferencias en los parámetros utilizados en las pruebas de comparación numérica (ver Tabla 1). Los resultados de Lonnemann et al. (2011) sugerirían que solo el procesamiento numérico vinculado al SRO se relaciona con ciertos aspectos del desempeño en matemática durante la etapa escolar. Futuras investigaciones serán necesarias para confirmar si el procesamiento numérico no simbólico implicado en el SRO y el SMA, se relaciona de modo diferente con diversas habilidades matemáticas en niños en edad escolar.

Comparación numérica simbólica.

Es reducido el número de trabajos con niños preescolares que analizan la relación entre el desempeño en tareas de comparación numérica simbólica y la performance en matemáticas. Los estudios encontrados indican que la habilidad para comparar magnitudes en formato simbólico se relaciona transversalmente con el desempeño en pruebas estandarizadas de matemática durante la etapa preescolar (Sasanguie, De Smedt, Defever, Reynvoet, 2012) y lo predice al inicio de la escolaridad primaria (Sasanguie, Van den Bussche & Reynvoet, 2012). Adicionalmente, ambos desempeños se encontrarían asociados transversalmente durante el primer año de la educación primaria (Mundy & Gilmore, 2009), siendo el desempeño en comparación numérica un predictor

de la habilidad matemática durante el segundo año de tal etapa educativa (De Smedt et al., 2009). Algunos estudios han indicado que esta asociación entre ambas variables se diluye entre el segundo y tercer grado (Holloway & Ansari; 2009; Sasanguie et al., 2013). Contrariamente a esta opinión, ciertos investigadores han reportado la presencia de una vinculación entre ambos desempeños en niños con edades entre 8 y 10 años (Lonnemann et al., 2011; Vanbinst et al., 2012). Las discrepancias respecto de la relación entre estas variables en niños de mayor edad podrían originarse en diferencias en los parámetros de las tareas utilizadas para evaluar la comparación numérica y el tipo de variables controles consideradas (ver Tabla 1).

Por otra parte, una porción notoria de los estudios han empleado pruebas de evaluación estandarizadas del desempeño en matemáticas. A diferencia de las evaluaciones no estandarizadas, las baterías estandarizadas consideran una amplia diversidad de conocimientos y habilidades matemáticas (e.g., habilidades procedimentales, hechos matemáticos, conocimiento conceptual). A medida que los niños avanzan en el aprendizaje de la matemática simbólica, las estrategias que emplean para resolver operaciones computacionales varían, utilizando progresivamente un mayor número de estrategias de recuperación automatizadas de hechos matemáticos (e.g., de utilizar estrategias de conteo para resolver problemas de adicción simples, a recuperar

dicha información de la memoria a largo plazo de forma automatizada). Es posible que la relación entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática se diluya a medida que los niños automatizan el acceso a ciertos contenidos curriculares básicos o iniciales. En este tópico, al igual que algunos enunciados con anterioridad, se necesita de más investigaciones que exploren esta posibilidad.

Estudios que emplearon paradigmas de estimación numérica puros no simbólicos y simbólicos

En la actualidad, el número de trabajos que utilizan paradigmas de estimación numéricos (simbólicos y no simbólicos) para estudiar la relación entre el desempeño matemático y el procesamiento numérico es inferior respecto de los estudios que han empleado tareas de comparación numérica. En niños preescolares, Gilmore et al. (2010) encontraron que el desempeño de niños de 5 y 6 años en tareas de adición numérica no simbólica predecía el desempeño en matemática. Asimismo, el rendimiento en dicho paradigma de estimación numérica predecía el conocimiento de números en formato simbólico (verbal y arábigo). Sorprendentemente, cuando se consideraba el valor predictor conjunto del conocimiento de números en formato simbólico y el desempeño en adición no simbólica sobre la habilidad matemática, solo la primera explicaba el desempeño en matemática, sugiriendo que

las habilidades numéricas no simbólicas contribuyen al aprendizaje matemático debido a que facilitan el aprendizaje numérico simbólico. En congruencia con estos resultados, Sansaguiere et al. (2013) reportaron que el desempeño en pruebas de estimación de la línea numérica simbólica y no simbólica se relacionaba entre sí, y con la habilidad matemática un año después (niños entre 6 y 8 años). No obstante, al analizar el efecto predictor conjunto de ambas tareas de estimación de la línea numérica sobre el desempeño en matemáticas, solo las tareas simbólicas explicaban el mismo. Desde otra perspectiva, Mundy y Gilmore (2009) hallaron que la capacidad de estimación numérica (de simbólico a no simbólico y viceversa) se relacionaba con el desempeño en matemática (Mundy & Gilmore, 2009) en participantes de 6 y 7 años de edad.

Por otra parte, en las investigaciones en las cuales se han considerado únicamente paradigmas de estimación simbólicos, se ha reportado que la precisión en la estimación de la línea numérica simbólica (0-100) (Siegler & Booth, 2004; Sansaguiere et al., 2013) se relacionaba con el desempeño en pruebas estandarizadas de matemática y predecía el aprendizaje de nuevos problemas aritméticos (Booth & Siegler, 2008) (niños entre 5 y 8 años de edad). Esta última asociación no se modificaba al controlar la capacidad de memoria a corto plazo y el conocimiento matemático previo (Booth & Siegler, 2008). Adicionalmente, Booth y Siegler (2006) han reportado que en niños entre 5 y 9 años de edad el desempeño en distintas

tareas de estimación numéricas simbólicas (estimaciones de la numerosidad, computacionales y de la línea numérica) se relacionaba con el desempeño en pruebas estandarizadas de matemática.

En conjunto, los estudios que consideran tareas de estimación numérica sugieren que en niños con un desarrollo típico, el mapeo entre los sistemas simbólicos y no simbólicos (Mundy Gilmore, 2009) y el grado en que dicho mapeo permite un cambio en el carácter lineal de las representaciones numéricas (Booth & Siegler, 2006; 2008; Sansaguiere et al., 2013; Siegler & Booth, 2004), conducirían la relación entre el procesamiento numérico y el desempeño en matemática en niños.

Conclusiones

La mayor parte de los estudios realizados con niños sugieren que la vinculación entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño global en matemáticas, se origina en la interferencia que el primero genera sobre el procesamiento numérico simbólico (De Smedt & Gilmore, 2011; Landerl & Kolle, 2009; Rouselle & Noel, 2007). De este modo, las asociaciones entre el procesamiento no simbólico y la matemática se deberían a las diferencias entre individuos en la capacidad para relacionar representaciones numéricas simbólicas a su correspondiente magnitud. Sin embargo,

os estudios revisados sugieren que esta asociación estaría limitada por una serie de variables, tales como el nivel socio-económico, la carga de control inhibitorio de las tareas de evaluación del procesamiento numérico y el tipo de conocimiento matemático considerado.

Influencia del nivel socio-económico sobre la asociación entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño en matemática

Distintas investigaciones indicaron que los niños de nivel socio-económico bajo tienen menor acceso, respecto de los niños de nivel medio y alto, a materiales y experiencias matemáticas informales (Case, Griffin, & Kelly, 1999; Duncan et al., 2007). Estas diferencias han sido asociadas tanto al grado en que los niños utilizan los sistemas de representación numéricos no simbólicos para resolver tareas de matemática simbólica, como al desarrollo de la precisión del SMA (Fuhs & Mc Neil, 2013; McNeil et al., 2011). Puntualmente, Fuhs y Mc Neil (2013) sugirieron que la relación observada en niños de nivel socio-económico medio y alto entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño en matemática (Mazzocco et al., 2011; Bonny & Lourenco, 2013; Libertus et al., 2011; 2013_{ab}), se originaría en la estimulación matemática informal que éstos reciben, la cual incrementa la precisión y utilización del SMA en pruebas de matemática simbólica. Por

el contrario, en niños de nivel socio-económico bajo, la ausencia o escasas de tales experiencias informales, conduciría a que ambos procesos se muestren independientes (Fuhs & McNeil, 2013).

Si bien la interpretación de Fuhs y McNeil (2013) permite explicar los resultados contradictorios entre estudios con muestras de diferente nivel socio-económico, la asociación entre el nivel socio-económico y el nivel de precisión del SMA no ha sido corroborada en ciertas investigaciones (Gilmore et al., 2010). Esto podría originarse en que el nivel socio-económico conforma una variable compleja que incluye diferentes dimensiones, las cuáles podrían tener diferente impacto sobre el desarrollo del procesamiento numérico. Futuras investigaciones deberán explorar cuáles de las dimensiones e indicadores del nivel socio-económico explican las diferencias observadas en ciertos estudios en la capacidad de procesamiento numérico; y de qué modo las mismas se asocian al desempeño matemático.

Influencia del control inhibitorio sobre la asociación entre el procesamiento numérico no simbólico y el desempeño en matemática

Si bien en distintas investigaciones se ha señalado que el control inhibitorio se relaciona con el desempeño matemático en niños (Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008;

Bull & Scerif, 2001), es reducido el número de trabajos que exploran conjuntamente el efecto predictor del control inhibitorio y el procesamiento numérico no simbólico sobre éste. Tal como ha sido mencionado, si bien las tareas utilizadas en la evaluación del procesamiento numérico presentan adecuados niveles de confiabilidad y validez, el nivel de correlación bajo o inexistente entre las mismas sugiere que éstas podrían presentar cierto grado de impureza (Mundy & Gilmore, 2009). Los resultados de Fuhs y McNeil (2013), permitirían suponer que es la carga de control inhibitorio implicada en las tareas de comparación numérica no simbólicas, la que conduce la relación entre el desempeño en comparación numérica y la habilidad matemática. Nuevas líneas de investigación podrían explorar el grado en que procesos cognitivos básicos no numéricos, tales como el control inhibitorio, explican la relación entre el desempeño en pruebas de procesamiento numérico no simbólico y la habilidad matemática en niños.

Influencia del instrumento de evaluación de la matemática empleado sobre la relación entre el procesamiento numérico y el desempeño matemático

Finalmente, es importante señalar que una porción notoria de la literatura ha utilizado medidas estandarizadas de evaluación matemática, las cuales incluyen un amplio rango de habilidades y conocimientos matemáticos. Libertus et al.

(2013) indicaron que la relación entre la capacidad de procesamiento numérico y el desempeño en matemáticas varía a lo largo de diferentes habilidades matemáticas. Puntualmente, tales autores reportaron que la claridad de las representaciones del SMA predecía el desempeño en habilidades matemáticas informales (e.g., conocimiento informal de los números), pero no de conocimientos formales (e.g., conocimiento de hechos matemáticos). Es posible que el procesamiento numérico no simbólico intervenga en el aprendizaje conceptual y procedimental inicial, y una vez que estos conocimientos se consolidan como hechos matemáticos, los mismos se muestran independientes de la capacidad de procesamiento numérico. Futuros estudios deberán explorar esta posibilidad.

Received: 29/10/2014

Accepted: 31/03/2015

Referencias

- Blair, C. & Razza, R.P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarden. *Child Development*, 78(2), 647-63. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x
- Bonny, J. W., & Lourenco, S.F. (2013). The approximate number system and its relation to early math achievement: evidence from the preschool years. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114, 375–88.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology*, 41, 189–201. doi: 10.1037/0012-1649.41.6.189
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2008). Numerical magnitude representations influence arithmetic learning. *Child Development*, 79, 1016–1031.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(1), 3–18. doi: 10.1111/j.1469-7610.2005.00374.x
- Bull, R., Espy, K.A. & Wiebe, S.A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-28. doi: 10.1080/87565640801982312.
- Bull, R. & Scerif, G. (2001). Executive function as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19, 273–293.
- Bynner, J. & Parsons, S. (2005). Does Numeracy Matter More?. National Research and Development Centre for Adult Literacy and Numeracy, Institute of Education.
- Campbell, J. R., & Mandel, F. (1990). Connecting math achievement to parental influences. *Contemporary Educational Psychology*, 15, 64–74.
- Cantlon, J., Safford, K. E. & Brannon, E. M. (2010). Spontaneous analog number representations in 3-year-old children. *Developmental Science*, 13, 289–297. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00887.x.

- Case, R., Griffin, S., & Kelly, W. (1999). Socioeconomic gradients in mathematical ability and their responsiveness to intervention during early childhood. In D. Keating & C. Hertzman (Eds.), *Developmental health and the wealth of nations: Social, biological, and educational dynamics* (pp. 125-149). New York: Guilford Press.
- Clark, K. E. (1988). The importance of developing leadership potential of youth with talent in mathematics and science. In J. Dreyden, S. A. Gallagher, G. E. Stanley, & R. N. Sawyer (Eds.), *Report to the National Science Foundation: Talent Identification Program/National Science Foundation Conference on Academic Talent* (pp. 95–104). Durham, NC: National Science Foundation.
- Condry, K.F., & Spelke, E.S. (2008). The development of language and abstract concepts: the case of natural number. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137 (1), 22–38. doi: 10.1037/0096-3445.137.1.22
- Davis-Kean, P.E. (2005) The influence of parent education and family income on child achievement: the indirect role of parental expectations and the home environment. *Journal of Family Psychology*, (19), 294–304.
- Dehaene (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (4), 145-147.
- De Smedt, B., & Gilmore, C. K. (2011) Defective number module or impaired access? Numerical magnitude processing in first graders with mathematical difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 278–92. doi: 10.1016/j.jecp.2010.09.003.
- De Smedt, B., Verschaffel, L., & Ghesquiere, P. (2009). The predictive value of numerical magnitude comparison for individual differences in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 469–479. doi: 10.1016/j.jecp.2009.01.010.
- Dowker, A.(2004). What works for children with mathematical difficulties. DCSF Report 00086-2009BKT-EN.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., & Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43, 1428–1446. doi:10.1037/0012-1649.43.6.1428
- Entwisle, D. R., & Alexander, K. L. (1992). Summer setback: Race, poverty, school composition, and mathematics achievement in the first two years of school. *American Sociological Review*, 57, 72–84.

- Entwisle, D. R., & Alexander, K. L. (1997). Family type and children's growth in reading and math over the primary grades. *Journal of Marriage and the Family*, 58, 341–355.
- Espy, K.A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A. & Senn T.E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26 (1), 465-86.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. S. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 307–314. doi:10.1016/j.tics.2004.05.002
- Fuhs, M.W., & McNeil, N. M. (2013). ANS acuity and mathematics ability in preschoolers from low-income homes: contributions of inhibitory control. *Developmental Science*, 16(1), 136–148. doi: 10.1111/desc.12013
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Byrd-Craven, J. (2007). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 277–299. doi: 10.1080/87565640801982361
- Gilmore, C.K., McCarthy, S.E., & Spelke, E.S. (2010). Nonsymbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, 115 (3), 394–406. doi: 10.1016/j.cognition.2010.02.002
- Gilmore, C., Attridge, N. & Inglis, M. (2011). Measuring the Approximate Number System. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(11), 2099-109. doi: 10.1080/17470218.2011.574710.
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Levine, S. C. & Beilock, S. L. (2012). New Directions for Research on the Role of Parents and Teachers in the Development of Gender-Related Math Attitudes: Response to Commentaries. *Sex Roles*, 66, 191–196.
- Gebuis, T., van der Smagt, M. J. & Baker, C. I. (2011). False Approximations of the Approximate Number System?. *Plos One*, 6 (10): e25405. doi:10.1371/journal.pone.0025405
- Grinyer, J. (2005) Literacy, numeracy and the labour market. London: DfES
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q. & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *PNAS*, 109 (28), 11116–11120. doi: 10.1073/pnas.1200196109

- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with math achievement. *Nature*, 455, 665–668. doi:10.1038/nature07246
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the “number sense”: The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44, 1457–1465. doi: 10.1037/a0012682.
- Halle, T. G., Kurtz-Costes, B., & Mahoney, J. L. (1997). Family influences on school achievement in low-income, African American children. *Journal of Educational Psychology*, 89, 527–537. doi:10.1037/0022-0663.89.3.527
- Holloway, I.D., & Ansari, D. (2008). Mapping numerical magnitudes onto symbols: the numerical distance effect and individual differences in children’s mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103 (1), 17–29.
- Huntsinger, C. S., & Jose, P. J. (1995). Chinese American and Caucasian American family interaction patterns in spatial rotation puzzle solutions. *Merrill-Palmer Quarterly*, 41, 471–496.
- Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 1222–1229. doi: 0.3758/s13423-011-0154-1
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S. & Streri, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (14), 10382–10385.
- Jordan, K. E., Brannon, E. M., Logothetis, N. K., & Ghazanfar, A. A. (2005) Monkeys match the number of voices they hear to the number of faces they see. *Current Biology*, 15, 1034–1038. doi: 10.1016/j.cub.2005.04.056
- Jordan, N.C., Kaplan, D., Locuniak, M.N., & Ramineni, C. (2007). Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22 (1), 36–46. doi: 10.1111/j.1540-5826.2007.00229.x
- Jordan, N.C., Kaplan, D., Olah, L.N., & Locuniak, M.N. (2006). Number sense growth in kindergarten: a longitudinal investigation of children at risk for mathematics difficulties. *Child Development*, 77 (1), 153–175.

- Jordan, N.C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M.N. (2009). Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental Psychology*, 45 (3), 850–867. doi: 10.1037/a0014939
- Klibanoff, R.S., Levine, S.C., Huttenlocher, J., Vasilyeva, M., & Hedges, L.V. (2006). Preschool children's mathematical knowledge: the effect of teacher 'math talk'. *Developmental Psychology*, 42 (1), 59–69. doi: 10.1037/0012-1649.42.1.59
- Landerl, K. & Kölle, C. (2009). Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 546–565.
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: an investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, 105 (2), 395–438. doi:10.1016/j.cognition.2006.10.005
- Levpušček, M. P. & Zupančič, M. (2009). Math Achievement in Early Adolescence: The Role of Parental Involvement, Teachers' Behavior, and Students' Motivational Beliefs About Math. *The Journal of Early Adolescence*, 29, 541-570.
- Libertus, M., Feigenson, L., & 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., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013a). Numerical approximation abilities correlate with and predict informal but not formal mathematics habilitéis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116, 829–838. doi: 10.1016/j.jecp.2013.08.003
- Libertus, M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013b). Is approximate number precision a stable predictor of math ability?. *Learning and Individual Differences*, 25, 126–133.
- Lonnemann, J., Linkersdörfer, J., Heselhaus, V., Hasselhorn, M., & Lindberg, S. (2011). Relations between balancing and arithmetic skills in children: Evidence of cerebellar involvement? *Journal of Neurolinguistics*, 24, 592–601. doi:10.1016/j.jneuroling.2011.02.005
- Mazzocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts late school mathematics performance. *PLoS One*, 6, e23749. doi:10.1371/journal.pone.0023749

- Mazzocco, M.M., & Thompson, R.E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research and Practice*, 20 (3), 142–155. doi: 10.1111/j.1540-5826.2005.00129.x
- McNeil, N.M., Fuhs, M.W., Keultjes, M.C., & Gibson, M.H. (2011). Influences of problem format and SES on preschoolers' understanding of approximate addition. *Cognitive Development*, 26, 57–71.
- Mundy, E., & Gilmore, C. K. (2009) Children's mapping between symbolic and non symbolic representations of number. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 490–502. doi:10.1371/journal.pone.0093565
- Mussolin, C., Mejias, S., Noël, M. P. (2010). Symbolic and nonsymbolic number comparison in children with and without dyscalculia. *Cognition*, 115, 10–25.
- National Mathematics Advisory Panel (2008). *Foundations for success: The final report of the national mathematics advisory panel*. Washington, DC: U.S. Department of Education. recuperado de <http://www2.ed.gov/about/bdscomm/list/mathpanel/report/final-report.pdf>.
- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 1–10. doi: 10.1016/j.tics.2010.09.008
- Price, G. R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison: Reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica*, 140, 50–57. doi: 10.1016/j.actpsy.2012.02.008.
- Ramani, G.B., & Siegler, R.S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child Development*, (79), 375–394. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x.
- Richland, L. E., Stigler, J. W. & Holyoak, K. J. (2012). Teaching the Conceptual Structure of Mathematics. *Educational Psychologist*, 47(3), 189–203. doi: 10.1080/00461520.2012.66706
- Rohrer, D. & Pashler, H. (2010). Recent Research on Human Learning Challenges Conventional Instructional Strategies. *Educational Researcher*, 39 (5), 406–412.
- Rohrer, D., & Taylor, K. (2006). The effects of overlearning and distributed practice on the retention of mathematics knowledge. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 1209–1224.

- Rouselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs. non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102, 361–395.
- Sasanguie, D., De Smedt, B., Defever, E., & Reynvoet, B. (2012). Association between basic numerical abilities and mathematics achievement. *British Journal of Developmental Psychology*, 30, 344–357. doi: 10.1111/j.2044-835X.2011.02048.x
- Sasanguie, D., Van den Bussche, E., & Reynvoet, B. (2012). Predictors for mathematics achievement? Evidence from a longitudinal study. *Mind, Brain, and Education*, 6, 119–128. doi: 10.1111/j.1751-228X.2012.01147.x
- Sasanguie D, Göbel, S. M., Moll, K., Smets, K., Reynvoet, B. (2013) Approximate number sense, symbolic number processing, or number–space mappings: what underlies mathematics achievement?. *Journal of Experimental Child Psychology*, (114), 418–31. doi: 10.1016/j.jecp.2012.10.012
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, 75, 428–444.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, 14, 237–243.
- Steinmayr, R. & Spinath, B. (2009). The importance of motivation as a predictor of school achievement. *Learning and Individual Differences*, (19) 80–90.
- Van den Bergh, L., Denessen, E., Hornstra, L., Voeten, M., & Holland, R. W. (2010). The Implicit Prejudiced Attitudes of Teachers: Relations to Teacher Expectations and the Ethnic Achievement Gap. *American Educational Research Journal*, 47 (2), 497–527.
- Vanbinst, K., Ghesquière, P., De Smedt, B. (2012). Numerical magnitude representations and individual differences in Children's arithmetic strategy use. *Mind, Brain, and Education*, (6) 129–36.