



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



**DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA EVOLUTIVA
Y DE LA EDUCACIÓN**

REPRESENTACIONES NUMÉRICAS CON DEDOS Y DESARROLLO ARITMÉTICO TEMPRANO

TESIS DOCTORAL

María del Rosario Sánchez Fernández

Trabajo dirigido por Dr. D. José Orrantia Rodríguez

Salamanca, mayo de 2019

Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, en el beneficio de la ayuda FPU14/02400 concedida a la doctoranda por la Resolución de 20 de agosto de 2015, de la Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades, por la que se conceden ayudas para contratos predoctorales para la Formación de Profesorado Universitario



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción	1
Capítulo I. Representación de la magnitud y adquisición de significado del número	3
Capítulo II. El rol de los dedos en el desarrollo del concepto numérico y las matemáticas tempranas	7
<i>El rol de los dedos desde una perspectiva cultural</i>	8
<i>¿Cognición numérica corpórea? Relación entre dedos y números</i>	9
<i>El rol de los dedos en la adquisición de conceptos numéricos</i>	10
<i>Uso de los dedos y procesamiento numérico</i>	11
<i>Uso de los dedos y rendimiento en matemáticas</i>	12
Capítulo III. Estudios empíricos y conclusiones	15
<i>Método</i>	16
Participantes	16
Materiales y organización de tareas	17
Procedimiento	18
<i>Discusión de los resultados</i>	19
<i>Conclusiones</i>	24

Introducción

Los números forman parte de nuestra vida cotidiana y los usamos a diario para saber qué hora es, para calcular el tiempo que tardamos en llegar a nuestro trabajo, para conocer el precio de las cosas. Encontramos números en la puerta la casa en la que vivimos, en el tren que nos transporta de un lugar a otro, en las matrículas de los coches, en el día del mes. En definitiva, estamos rodeados de números que nos ayudan a poner orden a nuestro pensamiento. Los números nos permiten operar con ellos, realizar cálculos (sumas, restas, multiplicaciones, divisiones), por ello, el aprendizaje de las habilidades aritméticas es imprescindible para el pleno desarrollo de las personas. La base de todos estos conocimientos se sitúa en el inicio de la enseñanza, sobre todo en el segundo ciclo de Educación Infantil (esto es, de 3 a 5 años en España), y el hecho de disponer de unos cimientos sólidos que soporten el aprendizaje de las matemáticas posteriores podrá permitir a los niños y niñas desenvolverse mejor en esta área y ser más autónomos e independientes en el futuro. Por lo tanto, conocer cuáles son las habilidades precursoras del conocimiento numérico y del rendimiento en matemáticas, nos permitirá contribuir a que los niños reciban una enseñanza matemáticas adecuada y a que puedan desenvolverse cómodamente con números y operaciones. En este contexto se enmarca la realización de esta tesis doctoral, que tiene como objetivo principal explorar el procesamiento numérico a partir de configuraciones con dedos en niños y niñas del segundo ciclo de Educación Infantil, y más concretamente, el reconocimiento de estas configuraciones numéricas con dedos y su influencia en otras habilidades numéricas tempranas, así como en el rendimiento en matemáticas posterior.

Capítulo I

Representación de la magnitud y adquisición de significado del número

En el primer capítulo de esta Tesis Doctoral se aborda el problema de la adquisición de significado de los números, para ello, en primer lugar se presentan los distintos tipos de representación de la magnitud numérica tanto simbólica como no simbólica y posteriormente se hace hincapié en las teorías existentes en el campo de la cognición numérica sobre la adquisición de significado de los números simbólicos.

En los últimos años, está incrementando el número de investigaciones que se centra en la representación de la magnitud numérica y en cómo el procesamiento de la magnitud numérica puede influir en el rendimiento en matemáticas de las personas. En este sentido, podemos distinguir entre el procesamiento de la magnitud numérica simbólica y no simbólica. En lo que se refiere a magnitudes no simbólicas, animales no humanos (p. ej. Cantlon y Brannon, 2006), bebés (p. ej. Xu y Spelke, 2000), miembros de culturas iletradas (p. ej. Pica et al., 2004), así como niños (p. ej. Halberda, Mazocco y Feigenson, 2008; Holloway y Ansari, 2008; Sasanguie, Göbel, Moll, Smets y Reynvoet, 2013) y adultos (p. ej., Buckley y Gilman, 1974; Halberda, Ly, Wilmer, Naiman y Germine, 2012; Smets, Sasanguie, Szűcs y Reynvoet, 2015), compartimos un sistema de representación de la magnitud, innato, que no implica conteo y nos permite representar, discriminar y operar con numerosidades grandes de una manera aproximada e inexacta desde el nacimiento. Este sistema recibe el nombre de Sistema Numérico Aproximado (en adelante, SNA; Barth, Kanwisher y Spelke, 2003; Butterworth, 1999; Cordes, Gelman, Gallistel y Whalen, 2001; Dehaene, 1997; Feigenson, Carey y Hauser, 2002; Gallistel, 1990; Meck y Church, 1983; Whalen, Gallistel y Gelman, 1999). No obstante, numerosos hallazgos apuntan que este no es el único sistema de representación no simbólica que poseemos, sino que disponemos de dos sistemas centrales de representación numérica distintos, que están presentes en bebés y otras especies animales, y por tanto, no son producto del aprendizaje individual o de la transmisión cultural. El otro sistema de representación de la magnitud no simbólica haría referencia a la habilidad de enumerar de forma precisa pequeñas cantidades de hasta tres o cuatro objetos con mínimos requerimientos, este sistema es conocido como *parallel individuation system* (Gordon, 2004), o sistema de rastreo de objetos (conocido como OTS por sus siglas en inglés, *object tracking system*) (Carey, 2001; Feigenson et al., 2002; Scholl, 2001; Simon, 1997; Uller, Carey, Huntley-Fenner y Klatt, 1999; Xu, 2003), y la habilidad que nos permite reconocer cantidades pequeñas (de hasta 4 elementos) sin necesidad de contar, ha sido llamada *subitizing* (Trick y Pylyshyn, 1994).

Por lo tanto, desde el nacimiento ya seríamos capaces de procesar y discriminar magnitudes no simbólicas, y aunque se conoce que los humanos hemos inventado un sistema de representación simbólico, constituido por representaciones arbitrarias para esas magnitudes (palabras numéricas y dígitos), todavía no se ha llegado a un acuerdo sobre la naturaleza de las relaciones entre ambos sistemas (Leibovich y Ansari, 2016). Si bien, existen dos hipótesis principales sobre cómo se lleva a cabo este proceso. Por un

lado, la hipótesis más extendida en el campo de la cognición numérica defiende que los números simbólicos adquieren significado a través del mapeo de estos sobre el SNA, esto es, cuando son mapeados en una representación análoga no verbal de los mismos (Dehaene, 2007; Piazza, 2010; Stoianov, 2014). Siendo esto así, una persona con una mejor representación del SNA, tendría mejor rendimiento en matemáticas en el futuro. Estos autores aportan tres razones principales por las que se produciría un mapeo de los números simbólicos sobre el SNA. En primer lugar, se ha encontrado que las diferencias individuales en el procesamiento de magnitudes no simbólicas están relacionadas con habilidades matemáticas simbólicas más complejas (Desoete, Ceulemans, De Weerd y Pieters, 2012; Feigenson, Libertus, y Halberda, 2013; Gilmore, McCarthy y Spelke, 2010; Gray y Reeve, 2014; Halberda et al., 2008; Libertus, Feigenson y Halberda, 2011, 2013; Libertus, Odic y Halberda, 2012; Lourenco, Bonny, Fernandez y Rao, 2012; Lyons y Beilock, 2011; Mazzocco, Feigenson y Halberda, 2011a,b; Piazza et al., 2010). En segundo lugar, algunas investigaciones han mostrado aspectos comportamentales comunes como el efecto distancia y el efecto ratio tanto en números simbólicos como no simbólicos (p. ej. Ansari, Garcia, Lucas, Hamon, y Dhital, 2005; Dehaene, 2008; Leibovich, Ashkenazi, Rubinsten y Henik, 2013a; Leibovich, Diesendruck, Rubinsten y Henik, 2013b; Tzelgov, Meyer, y Henik, 1992). Y, en tercer lugar, las evidencias procedentes de estudios de neuroimagen han mostrado actividad en el surco intraparietal (SIP) durante la ejecución de tareas de procesamiento simbólico y no simbólico (Cohen Kadosh, Lammertyn, y Izard, 2008; Dehaene, Piazza, Pinel, y Cohen, 2003; Holloway y Ansari, 2010; Holloway, Price y Ansari, 2010; Nieder, 2005; ver Nieder y Dehaene, 2009 para una revisión), y que esta actividad estaría modulada por el efecto ratio entre las magnitudes representadas (Fias, Lammertyn, Reynvoet, Dupont, y Orban, 2003; Holloway et al., 2010; Kaufmann et al., 2005).

Por otro lado, algunos investigadores han ofrecido una explicación alternativa sobre la **adquisición de significado de los números simbólicos**. Estos investigadores sugieren que en lugar de producirse una proyección de los números simbólicos sobre el SNA, estos símbolos se unirían solo a pequeñas cantidades (de 1 a 4 aproximadamente) que se incluirían en lo que se conoce como OTS (del inglés, *Object Tracking System*; Feigenson et al., 2002) y que pueden ser enumeradas de forma exacta y sin necesidad del conteo (a este proceso se le denomina *subitizing*; Trick y Pylyshyn, 1994). Dicho de otro modo, las palabras numéricas (y dígitos) de 1 a 4 se asociarían con números no simbólicos en el rango de *subitizing*, pero los números más grandes no se asociarían a sus representaciones no simbólicas, ya que existe mucha diferencia entre ellos (Carey, 2001, 2004; ver también Benoit, Lehalle y Jouen, 2004; Sarnecka y Lee, 2009; Slusser, Ditta y Sarnecka, 2013). En línea con esta segunda hipótesis de la adquisición de significado de los números simbólicos, pero desde una perspectiva más radical, surgen otros autores que proponen la existencia de dos sistemas representacionales separados que coexisten: uno exacto para procesar cantidades simbólicas, que emerge cuando los niños aprenden el significado de las palabras numéricas, y otro aproximado para la representación de cantidades no simbólicas; sin necesidad de que estos dos sistemas estén conectados entre sí. Esta

hipótesis es conocida como **asociación símbolo-símbolo** (p. ej. Lyons, Ansari y Beilock, 2012; Reynvoet y Sasanguie, 2016; Sasanguie, Defever, Maertens y Reynvoet, 2014).

Algunos de estos autores presentan argumentos opuestos a los argumentos de los defensores del mapeo de los números simbólicos sobre el SNA, defendiendo que no todos los estudios que se han llevado a cabo han mostrado relación entre el procesamiento de magnitudes no simbólicas y el rendimiento en matemáticas (p. ej. Holloway y Ansari, 2009; Sasanguie et al., 2013; Soltesz, Szűcs y Szűcs, 2010) y que en caso de encontrarse estas relaciones, podrían deberse a procesos inhibitorios necesarios para distinguir entre numerosidades cuando se trata de estímulos incongruentes (p. ej. Bugden y Ansari, 2011; Fuchs y McNeil, 2013; Gebuis y Reynvoet, 2011; Gilmore et al., 2013; Halberda et al., 2008; Piazza, Pinel, Le Bihan y Dehaene, 2007). Asimismo, afirman que el hecho de que se encuentren los mismos efectos en tareas de comparación de magnitudes tanto simbólicas como no simbólicas no sería indicativo de que ambas magnitudes compartan un sustrato común. Este hecho ha sido confirmado por la presencia de un efecto distancia en el procesamiento ordinal de magnitudes no numéricas en las que no existe una superposición entre representaciones no simbólicas adyacentes, por ejemplo, las letras del alfabeto (Van Opstal, Gevers, De Moor, y Verguts, 2008; Van Opstal y Verguts, 2011). Y finalmente, argumentan que hay estudios de neuro-imagen que no encuentran relación entre la actividad producida en el cerebro por un número simbólico y su correspondiente representación no simbólica, sugiriendo diferentes representaciones para ambos (p. ej. Lyons, Ansari, y Beilock, 2015). En cualquier caso, este es uno de los temas más candentes en el ámbito de la cognición numérica actualmente y debido a los resultados contradictorios que se han encontrado, son necesarias más investigaciones para clarificar este asunto.

Para los efectos de esta tesis y más allá de estas dos hipótesis sería posible plantear que la adquisición de significado de los números simbólicos se podría llevar a cabo de manera indirecta con ayuda del uso de los dedos, ya que estos parecen ser la herramienta más natural para representar numerosidades, siempre están disponibles y son fáciles de manipular (Ifrah, 1985). Por tanto, en el segundo capítulo se analiza la influencia del uso de los dedos y sus representaciones en la cognición numérica.

Capítulo II

El rol de los dedos en el desarrollo del concepto numérico y las matemáticas tempranas

En el segundo capítulo de esta Tesis Doctoral nos centramos en el rol de los dedos en el desarrollo del concepto numérico y el rendimiento en matemáticas. Con el objetivo de explicar la relación entre dedos y números, inicialmente se presenta una perspectiva cultural sobre el rol de los dedos; seguidamente se analizan los diversos estudios que han intentado explicar esta relación desde una perspectiva corpórea; y finalmente se presentan los distintos estudios que han establecido una asociación entre el procesamiento de dedos y las habilidades numéricas y aritméticas. En este sentido, en primer lugar estudiamos la relación entre el uso de los dedos y la adquisición de significado del número, así como su procesamiento y la creación de representaciones mentales. Y en segundo lugar, analizamos la relación entre los dedos y otras habilidades de procesamiento numérico, así como el rendimiento en aritmética.

Pese a que el conteo con dedos posee ciertas características que nos pueden ayudar a establecer el principio de correspondencia uno-a-uno con los elementos contados, nos ayuda a aliviar la memoria de trabajo al realizar cálculos y es una herramienta que siempre está disponible, el uso de los dedos no ha sido siempre aprobado en el ámbito de la educación formal, al menos en los países occidentales (ver Moeller, Martignon, Wessolowski, Engel y Nuerk, 2011, para una revisión), ya que ha sido considerado como una técnica simple en comparación con las operaciones mentales y un impedimento para la adquisición del conteo más abstracto y del concepto del número (Bender y Beller, 2011). No obstante, desde que Butterworth (1999) resaltó la importancia del conteo para la cognición numérica, algunos investigadores se han centrado en su potencial como herramienta corpórea que contribuye a la cognición numérica (Andres, Olivier y Badets, 2008; Di Luca y Pesenti, 2011; Domahs, Kaufmann y Fischer, 2011). En esta línea, algunos autores han llegado a afirmar que el conteo con dedos podría ser la “herramienta perdida” entre la experiencia sensorio-motora y los conceptos matemáticos (Andres, Di Luca y Pesenti, 2008) o el “eslabón perdido” que permite la conexión entre las numerosidades no simbólicas y la aritmética simbólica (Fayol y Seron, 2005).

Antes de comentar los distintos estudios que se han llevado a cabo con tareas de procesamiento de dedos, hemos de destacar que aunque existen distintos tipos de procesamiento, para los propósitos de esta tesis distinguiremos entre dos tipos: representaciones numéricas con dedos y gnosias digitales. Por lo que respecta a las representaciones numéricas con dedos (tema en el que se centra nuestro estudio), encontramos dos tipos: conteo y “muestreo¹”. El conteo es ordinal y se usa como ayuda para contar cantidades y para realizar operaciones aritméticas. El muestreo se refiere al

¹ A partir de este momento, se utilizará la palabra inventada *muestreo*, para referirnos a lo que Di Luca y Pesenti (2008), definieron como *finger montring*, y que hace referencia a configuraciones numéricas con dedos usadas para representar y comunicar números cardinales.

uso de configuraciones con dedos para representar y comunicar números cardinales (Di Luca y Pesenti, 2008). En lo que respecta a las gnosias con dedos (también conocidas como localización de dedos, Benton, 1955; gnosias digitales, Noël, 2005; y sentido de los dedos) suponen la habilidad para localizar la estimulación de los dedos y es, en parte, una medida de precisión de discriminación de regiones de estimulación sensorial.

El rol de los dedos desde una perspectiva cultural

Antes de desarrollar el concepto abstracto de número, nuestros ancestros eran capaces de determinar numerosidades usando numeración concreta con conchas, objetos de madera, de barro, nudos en cuerdas (d'Errico, 1998; Ifrah, 1985; Menninger, 1958). Además de este tipo de representaciones físicas en objetos, los humanos también hemos utilizado los dedos (y otras partes del cuerpo) para contar, comunicar cantidades discretas y para resolver problemas aritméticos (Ifrah, 2000) desde tiempos remotos. El conteo con dedos (y otras partes del cuerpo) emerge de manera independiente en diferentes culturas humanas a lo largo de la historia y muestra una gran variabilidad (Bender y Beller, 2012). Pero esta no es la única asociación que se ha encontrado entre el uso de los dedos y los números, sino que la base 10 de nuestro sistema decimal, se estableció en referencia a nuestros diez dedos, ya que existía la posibilidad de establecer la base 12, con más divisores y más relevante desde el punto de vista matemático, pero menos disponible en la vida cotidiana (Ifrah, 1981).

Existe una gran variabilidad en cómo se lleva a cabo el conteo, no solo entre distintas culturas, sino también entre personas que forman parte de la misma cultura, de este modo: (a) se puede contar con las palmas de las manos hacia uno mismo o con las palmas hacia otros; (b) los dedos pueden ser levantados o doblados; (c) se puede empezar a contar por la mano derecha o por la mano izquierda, (d) el dedo con el que se comienza el conteo puede ser el índice, el pulgar o el meñique; (e) la transición de una mano a otra se puede producir de manera anatómica (esto es, se comienza por el mismo dedo de la segunda mano que se ha usado en la primera, lo que implica una repetición de la misma secuencia), o de manera espacial (esto es, continuando una hipotética línea, se empieza a contar en la segunda mano por el último dedos usado en la primera mano, lo que implica una combinación de dos secuencias diferentes) (Bender y Beller, 2012; Lindemann, Alipour y Fischer, 2011; Menninger, 1969). Además de esto, algunas culturas (como la cultura oriental), utilizan representaciones simbólicas con dedos para representar numerosidades en las que el número de dedos levantados no está directamente relacionado con la numerosidad que representan.

En lo que se refiere a la cultura occidental, la mayoría de los individuos cuentan con los dedos de las manos y levantan un dedo para cada numerosidad, estableciendo el principio de correspondencia uno-a-uno entre dedos y numerosidades; según incrementa la numerosidad a representar, también incrementa el número de dedos levantado. Estudios realizados en distintos países han mostrado que el orden en el que canadienses, italianos, belgas, franceses, alemanes, polacos, escoceses y españoles levantan los dedos para contar es el mismo, esto es, comienzan por el dedo pulgar, continúan con el índice,

corazón, anular y meñique de la misma mano y pasan a la otra mano repitiendo el mismo proceso (Brozzoli et al., 2008; Di Luca y Pesenti, 2008, 2010; Domahs, Moeller, Huber, Willmes, y Nuerk, 2010; Fabbri, 2013; Fischer, 2008; Liutsko, Veraksa y Yakupova, 2017; Morrissey, Liu, Kang, Hallett, y Wang, 2016; Sato y Lalain, 2008; Zago y Badets, 2016). Sin embargo, aunque esta es la tendencia generalizada, existe una gran variabilidad entre los distintos participantes y en la mano por la que se empieza a contar, desconociéndose si esto dependería de la preferencia manual de cada participante o de una enseñanza explícita de la secuencia de conteo.

¿Cognición numérica corpórea? Relación entre dedos y números

Existe un debate en el ámbito de la cognición numérica sobre si las representaciones numéricas mentales son puramente abstractas o se crean a partir de la experiencia y de acciones corpóreas. El término corporeidad se refiere a que el contenido de la representación semántica es información sensorial y motora (Meteyard, Cuadrado, Bahrami, y Vigliocco, 2012). La cognición corpórea defiende que cuando adquirimos conocimiento abstracto, es necesaria la experiencia sensorio-motora para representar este conocimiento. En esta línea, varios autores sugieren que las estrategias de conteo con dedos tienen un impacto en la representación cognitiva de los números y en particular, en la forma en la que la información de la magnitud numérica es proyectada en el espacio (Brozzoli et al., 2008; Butterworth, 1999; Di Luca, Grana, Semenza, Seron, y Pesenti, 2006; Fischer, 2006, 2008; Sato, Cattaneo, Rizzolatti, y Gallese, 2007; Sato y Lalain, 2008). Además, aunque el uso de los dedos ha demostrado que no es totalmente universal, es una herramienta usada por muchas culturas para apoyar el aprendizaje de los números (Ashcraft, 1982; Barrouillet, Mignon, y Thevenot, 2008; Butterworth, 1999; Ginsburg, 1977; Groen y Parkman, 1972; Svenson, Hedenborg, y Lingman, 1976; Woods, Resnick, y Groen, 1975). Y existen evidencias que indican que los hábitos de conteo con dedos influyen en el procesamiento numérico más allá de la aritmética simple y que pueden ser observados en procesamiento más elemental (Fischer, 2008; Riello y Rusconi, 2011).

Los números que habían sido considerados como un caso paradigmático de símbolos con representaciones cognitivas modales, ya no se consideran conceptos abstractos debido a que se aprenden e internalizan a través del uso de los dedos, presentando asociaciones sistemáticas sensoriales y motoras con el cuerpo (Butterworth 1999; Fischer y Brugger 2011; Fuson, Richards y Briars, 1982; Knudsen, Fischer, Henning y Aschersleben, 2015). Los dedos y las configuraciones con dedos se conectan con números a través del conteo con dedos que probablemente ayuda a la adquisición de los principios del conteo propuestos por Gelman y Gallistel (1978). Los principios de correspondencia uno a uno, orden estable y cardinalidad, quedan patentes cuando se van levantando los dedos uno a uno, en un orden fijo y se asigna una etiqueta a la totalidad (Andres et al., 2008a; Di Luca y Pesenti, 2011). No solo los niños utilizan configuraciones con dedos para representar números, sino que los adultos también las usan para mostrar cantidades a otros, por ejemplo, cuando la comunicación verbal es complicada (Pika, Nicoladis y Marentette, 2009) o el sistema verbal está ocupado (Lucidi y Thevenot, 2014).

Incluso los adultos ciegos, utilizan los dedos durante el procesamiento numérico si cuando adquirieron el conocimiento numérico eran videntes (Crollen et al., 2014).

Los mecanismos del conocimiento numérico corpóreo están aún siendo estudiados. No obstante, varios estudios de *priming* (en los que se incluyen estímulos de representaciones con dedos para comprobar si estos estímulos activan el significado numérico) han mostrado que los dedos activan el significado del número y que esta conexión entre dedos y números se vería influenciada por el tipo de representación numérica con dedos que usen los participantes, esto es, somos más rápidos reconociendo numerosidades cuando se utilizan configuraciones canónicas con dedos de acuerdo a nuestros propios hábitos de conteo (Adriano, Diez y Fernández, 2014; Di Luca et al., 2006; Di Luca y Pesenti, 2008).

El rol de los dedos en la adquisición de conceptos numéricos

En plena disputa sobre qué aspectos serían necesarios o facilitadores para el aprendizaje de conceptos numéricos surgen unos estudios en los que se observa que al mismo tiempo que los niños están aprendiendo el significado de las palabras numéricas, aprenden a realizar gestos para representar números con sus dedos y existen evidencias de que datar la numerosidad de un conjunto con los dedos podría ser más fácil que con palabras numéricas (Gunderson, Spaepen, Gibson, Goldin-Meadow y Levine, 2015). En esta línea, la investigación se centra en saber cómo estos gestos con los dedos se pueden relacionar con la adquisición del lenguaje numérico simbólico (ver Goldin-Meadow, Levine y Jacobs, 2014 para una revisión).

Wiese (2007, 2003, 2001) afirma que los gestos numéricos icónicos son más fáciles de procesar que las palabras numéricas arbitrarias para los niños de preescolar. Con el fin de comprobar si esta hipótesis era cierta, Nicoladis, Pika y Marentette (2010) llevaron a cabo un estudio comparando la ejecución de niños de preescolar (de entre 2 y 4 años) en palabras verbales y gestos con los dedos. Para ello, usaron la versión verbal y gestual de dos tareas conocidas. Por un lado, en la tarea de “¿Cuántos hay?” mostraban a los niños láminas con dibujos y estos tenían que decir cuántos dibujos había o bien con palabras o bien mostrando esa numerosidad con sus dedos. Por otro lado, en la tarea de “Dame” se les indicaba un número a los niños, bien mediante un gesto numérico o una palabra numérica y ellos tenían que crear un conjunto de objetos que correspondiese con ese número. Los resultados indicaban que los niños eran más precisos con las palabras numéricas que con los gestos en ambas tareas, por lo que estos autores concluyeron que la ejecución de los niños con palabras numéricas es mejor que con gestos numéricos (Nicoladis et al., 2010). Estos resultados no apoyan la idea de que el sistema numérico simbólico se crea sobre nuestra experiencia personal e indican que el uso de símbolos no precede al uso del lenguaje.

Contrariamente a los resultados obtenidos por Nicoladis et al. (2010), existen evidencias de que los niños encuentran más fácil la asociación de pequeñas cantidades (hasta 3) con gestos manuales que con palabras numéricas (Gunderson et al., 2015). Los

niños en las primeras etapas del desarrollo parecen ser más precisos con conjuntos que están justo por encima de su nivel de conocimiento, conectándolos mejor con gestos que con palabras numéricas. Además, son más precisos asociando palabras numéricas con gestos que asociando palabras numéricas y cantidades no simbólicas (Gibson, Berkowitz, Goldin-Meadow y Levine, en preparación, citado de Gibson, Gunderson, Spaepen, Levine y Goldin-Meadow, 2018). En su estudio, Gunderson et al. (2015) encontraron que aquellos niños que no tenían adquirido el principio de cardinalidad eran mejores etiquetando tanto los conjuntos grandes como los pequeños, usando los gestos que las palabras numéricas. Y esta diferencia era aún mayor en niños que todavía no habían aprendido la palabra numérica para ese conjunto. Estos resultados muestran que antes de que los niños sean capaces de acceder al significado cardinal de las palabras numéricas “dos y tres”, son capaces de acceder a representaciones no verbales de esos conjuntos y comunicar su numerosidad mediante gestos. También demostraron que para conjuntos más grandes (5 o 10 estímulos), los niños que no dominaban la cardinalidad eran capaces de mostrar más dedos (aunque no fuese de forma precisa) sin embargo, no eran capaces de producir palabras numéricas para esas numerosidades. Estos resultados son consistentes con trabajos anteriores (Le Corre y Carey, 2007; Odic, Le Corre, y Halberda, 2015). En principio, los resultados del estudio de Gunderson et al. (2015) parecen contradecir los resultados de Nicoladis et al. (2010) sin embargo, los autores afirman que los niños expresan su conocimiento mejor con gestos que con lenguaje solo cuando no han adquirido una representación verbal estable de la cantidad numérica en cuestión. Si los niños ya conocen la palabra numérica para un conjunto dado y han adquirido la cardinalidad, se espera que usen las etiquetas verbales con mayor (o igual) frecuencia, ya que se practican más que los gestos numéricos.

Uso de los dedos y procesamiento numérico

Varios estudios han relacionado el uso de los dedos con el procesamiento numérico. Estos estudios han explicado la relación entre dedos y números en base a dos hipótesis fundamentales: de localización y funcional. La hipótesis de localización se basa en la idea de que las áreas cerebrales en las que se procesan números y dedos están próximas entre sí (Dehaene et al., 2003). Esta hipótesis sería la que justificaría, por ejemplo, la aparición del síndrome de Gertsmann (1940), cuyos síntomas son, entre otros, agnosia digital y acalculia, a partir de una lesión en la zona parietal posterior del cerebro. La hipótesis funcional defiende que las representaciones numéricas y de los dedos, se unirían como parte del desarrollo, debido a la dependencia continuada de estrategias de conteo con dedos para representar magnitudes numéricas y resolver problemas (Butterworth, 1999; Di Luca y Pesenti, 2011; Michaux, Pesenti, Badets, Di Luca y Andres, 2010), de este modo, las relaciones entre los dedos y su uso para las matemáticas serían estructurales. Recientemente, ha surgido una tercera hipótesis, la hipótesis de redistribución, que sugiere que la misma área cerebral en la que se llevan a cabo procesamientos de bajo nivel, puede ser reutilizada para otros procesos cognitivos de alto nivel (Geary, 2005; Marcus, 2004; Penner-Wilger y Anderson, 2008, 2013).

Existen pocas investigaciones que se hayan centrado en analizar la relación entre el procesamiento de dedos (representaciones numéricas con dedos y gnosias digitales) y el procesamiento numérico de los niños. La mayoría de los estudios que se han realizado en este sentido, han utilizado la tarea de gnosias digitales, mostrando que la habilidad para percibir y diferenciar nuestros propios dedos sin verlos (gnosias digitales) se asocia con competencias numéricas básicas (Costa et al., 2011; Gerstmann, 1940; Fayol, Barrouillet, y Marinthe, 1998; Gracia-Bafalluy y Noël, 2008; Jay y Betenson, 2017; Noël, 2005; Penner-Wilger y Anderson, 2008; Penner-Wilger et al., 2007; Poltz, Wyschkon, Höse, von Aster y Esser, 2015; Wasner, Nuerk, Martignon, Roesch y Moeller, 2016).

Hay estudios que se han centrado en la relación entre los dedos y los números analizando cómo la secuencia de conteo con dedos puede afectar a la forma en la que los números se proyectan en el espacio (Conson, Mazzarella, y Trojano, 2009; Di Luca et al., 2006; Fischer y Brugger, 2011; Fischer, Mills, y Shaki, 2010; Fischer, Shaki, y Cruise, 2009; Shaki y Fischer, 2008; Patro, Nuerk, y Cress, 2015; Viarouge, Hubbard, y Dehaene, 2014). Y otros estudios se han focalizado en comparar las representaciones numéricas con dedos canónicas y no canónicas, y si este tipo de representaciones activan el significado de los números que representan. De este modo, se ha comprobado que los participantes son más rápidos y precisos en el procesamiento de representaciones canónicas que no canónicas (Adriano et al., 2014; Di Luca y Pesenti, 2008; Noël, 2005, Sixtus, Lindemann y Fischer, 2018a, b; Thevenot et al., 2014) y aunque ambos tipos de representaciones activan el significado numérico, solo las representaciones canónicas activan representaciones con las mismas propiedades que aquellas activadas por números arábigos o verbales (Di Luca, Lefèvre y Pesenti, 2010; Roggeman, Verguts y Fias, 2007; Verguts, Fias y Steven, 2005).

Por otro lado, hay estudios que han asociado el uso espontáneo de los dedos con otras habilidades de procesamiento numérico (Lafay, Thevenot, Castel y Fayol, 2013; Thevenot et al., 2014), encontrándose, por ejemplo, relación entre la frecuencia de uso de los dedos y tareas de cardinalidad. Aunque estos estudios también observaron que niños que no usaban sus dedos eran capaces de realizar una ejecución perfecta en estas mismas tareas. Estos resultados sugieren (en consonancia con los estudios de Crollen, Mahe, Collignon y Seron, 2011a; Crollen, Seron y Noël, 2011b), que aunque el uso de los dedos puede ser beneficioso, los dedos no son necesarios para el desarrollo de las habilidades de conteo y por tanto, el éxito en las tareas numéricas se puede conseguir sin él.

Uso de los dedos y rendimiento en matemáticas

Hay estudios que sugieren que los hábitos tempranos relacionados con el uso de dedos, además de relacionarse con el procesamiento numérico, se relacionan con el futuro rendimiento en aritmética (Chinello, Cattani, Bonfiglioli, Dehaene y Piazza, 2013; Fayol et al., 1998; Fischer, Suggate, Schmirly y Stoeger, 2017; Jordan, Kaplan, Ramineni y Locuniak, 2008; Noël, 2005; Penner-Wilger y Anderson, 2013; Reeve y Humberstone, 2011; Wasner et al., 2016; Willems, Feeters-Erenay y Depuydt-Berte, 1980). La mayoría de estos estudios se han focalizado en el conteo con dedos o en las gnosias digitales.

Respecto al conteo con dedos, los estudios han mostrado que los niños con dificultades de aprendizaje en matemáticas usan más sus dedos para resolver operaciones y recuperan menos hechos de la memoria que los niños sin dificultades (Hanich, Jordan, Kaplan y Dick, 2001; Jordan, Kaplan y Hanich, 2002; Jordan, Hanich y Kaplan, 2003; Ostad, 1997, 1999). Además, se ha encontrado una influencia de las sub-base 5 de las representaciones con dedos en la resolución de operaciones tanto en niños (Domahs, Krinzinger y Willmes, 2008) como en adultos (Klein, Moeller, Willmes, Nuerk y Domahs, 2011), ya que cuando se enfrentaban a operaciones aritméticas, cometían una gran cantidad de errores con una diferencia de más/menos 5 entre el resultado esperado y sus respuestas. Finalmente, algunos estudios han mostrado que la mano por la que se comienza el conteo también podría tener una influencia en la resolución de operaciones aritméticas simples, si bien, no existe consenso en este tema. Unos autores defenderían que aquellos que comienzan el conteo por la derecha presentan mejores habilidades aritméticas (p. ej. Newman y Soylu, 2014) mientras que otros encuentran que comenzar el conteo por la mano izquierda sería un mejor predictor de estas habilidades (p. ej. Morrissey, Hallett, Wynes, Kang y Han, 2018).

Por otro lado, estudios realizados usando la tarea de gnosias digitales también han mostrado la importancia de los dedos en el rendimiento en aritmética. Así, Fayol et al. (1998) mostraron en un estudio longitudinal que las gnosias digitales eran precursoras de las habilidades aritméticas de niños del último curso de preescolar, un año después. Noël (2005) y Penner-Wilger et al. (2007) también encontraron esta relación con niños del primer curso de Educación Primaria, un año más tarde. No obstante, Newman (2016) no encontró esta relación en niños de 5 a 8 años, pero sí con niños de 9 a 12 años de edad. Y Long et al. (2016) no encontraron correlaciones entre las gnosias y el rendimiento en aritmética de niños de 8 años.

La información presentada a lo largo de los dos primeros capítulos, nos lleva a la conclusión de que resulta necesario seguir analizando las relación entre el procesamiento de dedos y el procesamiento numérico así como el rendimiento en matemáticas, ya que el uso de los dedos, aunque no está demostrado que sea una herramienta necesaria para el desarrollo de representaciones numéricas, puede contribuir a comprender el significado de los números y al rendimiento en aritmética por varios motivos (Di Luca y Pesenti, 2011): (1) el uso de los dedos ayuda a internalizar las propiedades fundamentales de los números naturales; (2) contribuye a la adquisición de los principios del conteo; (3) los dedos exceden el límite máximo del sistema de representación exacto (hasta 4 elementos, Feigenson et al., 2002); (4) el uso de los dedos facilita la realización de sumas y restas sencillas sirviendo como herramienta que ayuda a aliviar la memoria de trabajo; (5) el conteo con dedos permite a los niños inferir el sistema de base 10.

En el siguiente capítulo se presenta un resumen del estudio que se ha llevado a cabo para la realización de esta tesis doctoral, así como una breve discusión sobre los resultados obtenidos.

Capítulo III

Estudios empíricos y conclusiones

En este resumen del tercer capítulo de la Tesis Doctoral, se presentan brevemente los objetivos principales, el método (incluyendo participantes, materiales y procedimiento) y una discusión sobre los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos planteados.

Objetivos

El objetivo general de esta tesis es explorar el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos en estudiantes del segundo ciclo de Educación Infantil (de 3 a 5 años de edad) y analizar su relación con otras habilidades de procesamiento numérico temprano, así como con el rendimiento en matemáticas. Este objetivo general está dividido en tres objetivos específicos.

El primer objetivo específico supone ofrecer una perspectiva evolutiva de la adquisición y desarrollo del reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos. En este sentido, se explorará la producción de configuraciones numéricas con los dedos, ya que podrían ser el punto a partir del cual los niños pasan a reconocer esas numerosidades. Además, se estudiará el reconocimiento de numerosidades, tanto en configuraciones con dedos como en otro tipo de configuraciones canónicas, ya que los dedos no son las únicas configuraciones numéricas que se almacenan en la memoria. Existen otros patrones como los que aparecen en los dados o las fichas de dominó que también se memorizan (Benoit, Lehalle, Molina, Tijus y Jouen, 2013). Por lo tanto, en primer lugar nos centraremos en analizar tanto la forma de contar así como de mostrar configuraciones numéricas de los niños y niñas del segundo ciclo de Educación Infantil en España. En este sentido, hasta donde llega nuestro conocimiento, en España solo se ha llevado a cabo un estudio que haya analizado la secuencia de conteo que siguen los niños españoles de 10 a 12 años de edad (Liutsko et al., 2017). Si bien es cierto, este estudio se ha centrado exclusivamente en el conteo con dedos, pero no ha incluido información sobre la forma en la que los niños muestran cantidades con sus dedos. Por este motivo, en nuestro estudio se incluyen ambos tipos de información con la finalidad de analizar, por un lado, si existen diferencias entre la forma de conteo de los niños del segundo ciclo de Educación Infantil y los niños de Educación Primaria (procedentes del estudio de Liutsko et al., 2017), y por otro lado, si los niños cuentan y muestran numerosidades con sus dedos siguiendo la misma secuencia o no. Finalmente se analizará la precisión y rapidez en el reconocimiento de configuraciones con dedos dependiendo de la edad (3, 4 y 5 años). En este sentido, se espera que, de acuerdo con los estudios anteriores (p. ej. Noël, 2005) los niños sean más rápidos reconociendo las numerosidades menores de 5 (representadas con una sola mano) y que según va aumentando la edad, sean capaces de reconocer más configuraciones numéricas y más rápido, ya que, en la edad adulta, estas representaciones son procesadas como otro tipo de representación simbólica (Di Luca y Pesenti, 2011). Además, se espera, que si el uso de los dedos influye en el procesamiento numérico (p. ej. Fischer, Kaufmann

y Domahs, 2012; Lakoff y Nuñez, 2000; Landy, Allen y Zednik, 2014; Moeller et al., 2012), el reconocimiento de estas representaciones será más rápido y preciso que el de otro tipo de representaciones que aunque sean canónicas, no se crean a partir de conexiones con el propio cuerpo.

El segundo objetivo específico consiste en explorar, en niños de 3, 4 y 5 años de edad, las relaciones entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y otras habilidades relacionadas con el procesamiento numérico temprano. Por lo que respecta a los niños de 3 años, debido a que muchos de ellos están aprendiendo el significado de la cardinalidad a esas edades (p. ej. Geary et al., 2018), analizaremos si existe relación entre el nivel de adquisición de la cardinalidad y el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos. En lo que se refiere a los niños de 4 y 5 años, se analizará la relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y dos habilidades de procesamiento numérico temprano: conteo de puntos y comparación de la magnitud numérica simbólica. Estudios previos han encontrado relaciones entre estas habilidades y las gnosias digitales (Gracia-Bafalluy y Noël, 2008; Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007), pero no hay estudios que se hayan focalizado en analizar la relación entre el reconocimiento de representaciones numéricas con dedos y otras habilidades de procesamiento numérico.

Y finalmente, en el tercer objetivo específico nos centraremos en analizar la relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el rendimiento en matemáticas desde una perspectiva longitudinal, tanto con niños de 4 años, como con niños de 5 años. En este sentido, se han llevado a cabo estudios con niños de diferentes edades que han relacionado tanto la ejecución en gnosias digitales (Costa et al., 2011; Fayol et al., 1998; Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007; Rourke y Strang, 1978; Wasner et al., 2016) como el uso de los dedos en el cálculo (Jordan et al., 1992, 1994, 2008) con el rendimiento en matemáticas. Pero hasta donde llega nuestro conocimiento, ningún estudio ha analizado si el mero reconocimiento de configuraciones con dedos podría explicar el rendimiento en matemáticas un año después. En este contexto, estudiaremos la relación entre el reconocimiento de configuraciones con dedos y el rendimiento en matemáticas, más allá de la influencia de tareas de dominio cognitivo general y de tareas que tradicionalmente han estado relacionadas con el rendimiento en matemáticas, como el conteo de puntos y la comparación de magnitudes numéricas simbólicas.

Método

Participantes

La muestra que se ha seleccionado para la realización de esta tesis, consta de un total de 416 participantes (213 niñas) de Educación Infantil recogida en tres colegios concertados diferentes de la ciudad de Salamanca durante mayo de 2017 y mayo de 2018. En total, se ha evaluado a 67 participantes (32 niñas) de 3 años, 101 participantes (50 niñas) de 4 años y 248 participantes (131 niñas) de 5 años, de los cuales 50 participantes

de 4 años y 99 participantes de 5 años se evaluaron de manera longitudinal un año más tarde (mayo de 2018). Todos los participantes tenían permiso de los padres para participar en esta investigación esta investigación, siguiendo el protocolo del Comité de Bioética de la Universidad de Salamanca.

De esta muestra inicial, se eliminaron 12 participantes debido a que no habían realizado todas las tareas, no llegaban al mínimo del 50% de aciertos en las tareas objeto de este estudio, o sus puntuaciones se situaban más de 3 desviaciones típicas por encima o por debajo de la media. La muestra final está compuesta por 404 participantes: 66 participantes de 3 años (M^2 43.4 meses, DT^3 3.4 meses), 97 participantes de 4 años (M 58.2 meses, DT 3.52 meses) y 241 participantes de 5 años (M 70.1 meses, DT 3.36 meses). Por lo que respecta al estudio longitudinal, la muestra final es de 147 niños (50 participantes de 4 años y 97 participantes de 5 años), debido a que uno de los participantes evaluados el año anterior, se había cambiado de colegio, y otro participante no había completado todas las pruebas necesarias para este estudio (ver tabla 3.1 para más información sobre las tareas que ha completado cada grupo de participantes).

Materiales y organización de tareas

	GRUPOS	COLEGIO 1				COLEGIO 2		COLEGIO 3	
		3 AÑOS 2018 (n = 66)	4 AÑOS 2017 (n = 50)	4 AÑOS 2018 (n = 47)	5 AÑOS 2018 (n = 48)	5 AÑOS 2017 (n = 50)	5 AÑOS 2018 (n = 44)	5 AÑOS 2017 (n = 50)	5 AÑOS 2018 (n = 49)
Procesamiento numérico con dedos	Contar con dedos (de 1 a 10)								
	Producción dedos (viendo)								
	Producción dedos (sin ver)								
	Reconocimiento dedos (versión 1)								
	Reconocimiento dedos (versión 2)								
Procesamiento de otro tipo de configuraciones canónicas	Reconocimiento dados (versión 1)								
	Reconocimiento dados (versión 2)								
	Reconocimiento edificios								
Habilidades numéricas tempranas	Cardinalidad (dame)								
	Conteo de puntos								
	Comparación simbólica (1 a 9)								
	Identificación de dígitos								
Rendimiento en matemáticas longitudinal	Badyg (5 años)								
	Badyg (1º de Primaria)								
	Fluidez de cálculo (TTA)								
Variables de control	Velocidad de procesamiento								
	Inteligencia no verbal (Raven)								

² Media

³ Desviación típica

Procedimiento

Podemos distinguir entre dos tipos de evaluaciones diferentes dependiendo de la edad de los participantes. Por un lado, los participantes de 3 años se evaluaron en una única sesión individual de unos 15 a 20 minutos (dependiendo del participante), en un aula aislada de ruidos, dentro de sus propios colegios y en horario lectivo. Con estos participantes no se utilizaron tareas de ordenador debido a su edad y a posibles dificultades en la motricidad fina para responder a las mismas. Solo realizaron las tareas de: contar con los dedos, reconocimiento de configuraciones con dedos de 1 a 5 (versión 2), reconocimiento de configuraciones con puntos de 1 a 5 (versión 2) y la tarea de dame.

Por otro lado, el resto de los participantes (4 y 5 años) fueron evaluados con todas las tareas explicadas en el apartado “Materiales”, tanto de manera individual en una sala aislada dentro de sus propios colegios y en horario lectivo, como de manera semi-grupal (o grupal en el primer curso de Educación Primaria) dentro de sus aulas de referencia. Las pruebas se aplicaron en el tercer trimestre del curso académico, más concretamente en el mes de mayo de los años 2017 y 2018. En total se evaluó a cada uno de los participantes en 3 sesiones individuales diferentes de unos 40 minutos cada sesión. Se realizó una sesión semi-grupal de unos 30 minutos (en grupos de 4 o 5 alumnos) para evaluar el rendimiento en matemáticas con niños de 5 años y una sesión grupal de unos 40 minutos de duración con los participantes del primer curso de Educación Primaria. Además de las pruebas objeto de esta tesis, se evaluaron otras habilidades como parte de un proyecto de investigación más amplio.

Las tareas aplicadas por ordenador fueron diseñadas con el software Cedrus SuperLab™, y se presentaron en un ordenador portátil con una pantalla de 15 pulgadas y con un teclado adaptado en el que solo se dejaban visibles las teclas que los participantes debían pulsar. Todas las tareas de ordenador contenían una pausa a mitad de la tarea para evitar la falta de concentración o la fatiga, dado el número elevado de estímulos que se presentaba en cada una de ellas. Asimismo, todas las tareas iban precedidas de estímulos de práctica para asegurarnos de que el niño había comprendido la tarea de manera correcta. Para todas aquellas tareas en las que no se pudo usar micrófono y se grabaron las respuestas de los niños, posteriormente se escogió un 20 % de las tareas y utilizando el software Audacity se calculó de manera exacta el tiempo (en ms) transcurrido desde la aparición del estímulo (campana) y el momento en el que el participante emite la respuesta. Se encontró que las evaluadoras no pulsaban la tecla justo en el momento en el que el niño comenzaba a dar la respuesta, pero había una constante de unos 200 ms entre la respuesta del niño y el momento en el que el evaluador pulsa la tecla. En lo que se refiere a las tareas que no requerían el uso del ordenador, las experimentadoras recogían las respuestas de los participantes en sus hojas de respuesta y más tarde se corregían y se computarizaban los resultados. Las únicas tareas en las que los niños tenían que usar lápiz y papel fueron aquellas correspondientes a los test de rendimiento en matemáticas (BADyG y fluidez de cálculo).

La recogida de datos se llevó a cabo de manera transversal (t1) y de manera longitudinal (t2). Los datos transversales (t1) se obtuvieron a partir de la evaluación de un total de 150 participantes de 4 y 5 años en 2017 y 254 participantes de 3, 4 y 5 años en 2018. Los datos longitudinales (t2) se obtuvieron evaluando a los participantes de 2017, un año más tarde (mayo de 2018). Dentro de los datos transversales (t1) se engloban todas las tareas de procesamiento de dedos y otras configuraciones canónicas, tareas específicas para evaluar habilidades numéricas tempranas y medidas de control. Por otra parte, dentro de los datos longitudinales (t2) se encuentran la sub-prueba de Conceptos Cuantitativos del test estandarizado de rendimiento en matemáticas BADyG (para los niños de 5 años en 2018 que se habían evaluado en 2017 con 4 años) y las sub-pruebas de Cálculo Numérico y Problemas Numérico-verbales del BADyG, así como el test de fluidez de cálculo, para aquellos alumnos que en 2018 estaban en el primer curso de Educación Primaria, y se habían evaluado en 2017 con 5 años.

Para realizar los análisis estadísticos se ha utilizado el programa SPSS (versión 23), pero antes de realizar los análisis y tras recopilar los datos de todas las tareas de ordenador realizadas por los participantes, se ha calculado tanto la media de los tiempos de reacción de cada uno de los participantes en cada una de las tareas, como la media de su proporción de aciertos. A partir de este momento, se han eliminado aquellos estímulos cuyos tiempos de reacción superaban o se encontraban por debajo de las 3 desviaciones típicas en cada participante. Solo se han tenido en cuenta los tiempos de reacción de los aciertos (no de los errores). Posteriormente, se ha calculado la media del tiempo de reacción de todos los participantes en una tarea concreta (en cada una de las edades), y se han eliminado aquellos participantes cuyas puntuaciones se situaban por encima o por debajo de las tres desviaciones típicas. Adicionalmente, se han eliminado aquellos participantes que tenían el 50 %, o menos de aciertos, ya que esto indicaría que han podido resolver la tarea al azar.

Tras mostrar las tareas que se han utilizado para la realización esta tesis, y cómo se ha llevado a cabo tanto la recogida de datos como el análisis de los mismos, pasamos a presentar una breve discusión sobre los resultados obtenidos.

Discusión de los resultados

El objetivo de esta tesis era “explorar el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos en niños de Educación Infantil y analizar su relación con otras habilidades de procesamiento numérico temprano así como con el rendimiento en matemáticas”. Este objetivo se dividió en tres objetivos específicos. El primer objetivo específico suponía ofrecer una perspectiva evolutiva de la adquisición y desarrollo del reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos en niños y niñas españoles, el segundo objetivo específico consistía en explorar las relaciones entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y otras habilidades de procesamiento numérico temprano y el tercer objetivo suponía analizar la relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el rendimiento en matemáticas desde una perspectiva longitudinal.

Los resultados encontrados en relación al **primer objetivo específico** nos han proporcionado información sobre: la secuencia de conteo con dedos que siguen los niños, la forma en la que producen configuraciones numéricas con los dedos, y su precisión y rapidez para reconocer configuraciones numéricas con dedos y otro tipo de estímulos dispuestos de manera canónica.

En lo que se refiere a la *secuencia de conteo con dedos que siguen los niños*, este estudio ha mostrado una gran variabilidad entre los participantes, y que existen diferencias significativas, no solo entre niños y niñas de distintas edades, sino también entre las distintas aulas en las que se encuentran los niños, esto es, grupos de niños con diferentes profesores. Estos resultados sugieren la necesidad de analizar si los maestros enseñan a sus alumnos explícitamente a contar, y si es así, qué secuencia de conteo les enseñan.

Los distintos estudios que han analizado la secuencia de conteo con dedos que siguen los participantes han mostrado diferentes resultados. Lindemann et al. (2011) encuentran que la mayoría de los occidentales empiezan a contar por el dedo pulgar de la mano izquierda, y Fischer (2008) obtiene resultados similares con adultos escoceses. Sin embargo, Sato y Lalain (2008), Di Luca y Pesenti (2008) y Liutsko et al. (2017) encuentran que los participantes franceses, italianos y españoles tienden a empezar el conteo por el mismo dedo (pulgar) pero de la mano derecha. Los resultados de este estudio muestran que la mayoría de los niños comienza el conteo con la mano derecha. Sin embargo, existen diferencias en el dedo por el que empiezan a contar dependiendo de la edad, del colegio y de la clase en la que estén. Si bien, lo que parece estar claro es que las dos secuencias más usadas son las que Bender y Beller (2012) afirman que usan la mayoría de los europeos para contar (empezar por el dedo pulgar) o para mostrar numerosidades (dedo índice como base).

Con la finalidad de observar si los niños españoles usaban distintas representaciones para contar y mostrar numerosidades con sus dedos, se analizó la producción de configuraciones numéricas, ya que la producción de estas representaciones (conteo y muestreo) podría suponer un paso previo para el reconocimiento de las mismas

En relación con la *forma en la que los niños producen configuraciones numéricas con sus dedos* cuando se les pide mostrar una determinada numerosidad, también se observa mucha variabilidad, hasta el punto de que un mismo niño en la misma tarea y bajo las mismas condiciones usa dos tipos de representación diferentes para la misma numerosidad. No obstante, globalmente los niños tendían a usar la mano derecha y el dedo índice como base de sus representaciones. Además, levantaban todos los dedos a la vez cuando se les decía el número correspondiente, aunque existían diferencias entre numerosidades. Respecto a la mano utilizada como base, aunque en todas las numerosidades los niños usaban mayoritariamente la mano derecha, en las numerosidades de 6 a 9 el porcentaje de uso de la mano derecha como base disminuye, ya que algunos niños presentaban la mano izquierda abierta (base) y posteriormente añadían en la mano derecha la numerosidad correspondiente para completar la representación. En lo que se

refiere al dedo usado como base de las representaciones para las numerosidades menores de 5 y para el 9, el dedo que se usó como base en la mayoría de las ocasiones fue el índice. Sin embargo para las numerosidades 6, 7 y 8, los niños usaron mayoritariamente el dedo pulgar. Y finalmente, respecto a la forma de levantar los dedos, en las numerosidades pequeñas (hasta el 5) la mayoría de los niños levantaba todos los dedos a la vez pero las numerosidades de 6 a 9 se representaban usando la sub-base 5, esto es, por un lado se levantaban los 5 dedos de una mano, y por otro lado se levantaban los dedos correspondientes de la otra mano hasta completar la numerosidad.

Por lo tanto, se observa que al igual que sucedía en el conteo, existe mucha variabilidad en la forma en que los niños producen numerosidades con sus dedos y el tipo de configuraciones que producen no parece depender solo de hábitos culturales, sino también de la numerosidad a representar, probablemente por la dificultad motriz para representar ciertas numerosidades con los dedos. No obstante, el patrón de representación que usan mayoritariamente los niños en nuestro estudio (mano derecha y dedo índice como base de las representaciones) es el mismo tipo de patrón que suelen producir los participantes de otros estudios en los que se ha evaluado la forma de mostrar numerosidades con los dedos (p. ej. Crollen et al., 2011a; Morrissey et al., 2016; Wasner, Moeller, Fischer y Nuerk, 2015). Y, a su vez, es el mismo tipo de configuración que se ha usado en la tarea de reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos.

Con el objetivo de comprobar si el reconocimiento de configuraciones con dedos era diferente del reconocimiento de otro tipo de configuraciones canónicas, se ha comparado la ejecución de los niños en distintas tareas de reconocimiento de numerosidades. En este sentido, a los 3 años de edad, ya existen diferencias significativas en la precisión para reconocer configuraciones numéricas con dedos y puntos (organizados como en los dados), siendo los niños más precisos en el reconocimiento de configuraciones con dedos. A los 4 y 5 años, los niños siguen mostrando ser más precisos en la tarea de reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos, y las diferencias más significativas se encuentran en las numerosidades 7, 8 y 9, probablemente debido a que, en los dados normalmente solo encontramos representaciones hasta el 6, y si los niños no han sido expuestos a este tipo de representaciones con anterioridad, tienen que contar para dar una respuesta correcta.

Con la finalidad de comprobar si las configuraciones numéricas con dedos se procesaban de forma rápida y precisa debido al estatus especial que pueden tener los dedos en el procesamiento numérico (Fayol y Seron, 2005), o simplemente por el tipo de disposición ordenada que presentan los dedos, se diseñó la tarea de reconocimiento de numerosidades con edificios. Los resultados obtenidos con niños de 4 y 5 años muestran que los niños son significativamente más rápidos y precisos reconociendo configuraciones numéricas con dedos que con edificios. Y lo que es más importante, en la tarea de reconocimiento de configuraciones con dedos no existen diferencias ni en el tiempo de reacción ni en la precisión entre las numerosidades del 1 al 5, lo cual indicaría que los niños procesan todas estas configuraciones del mismo modo, y teniendo en cuenta

el tiempo de reacción de los niños, el procesamiento de estas numerosidades se llevaría a cabo de manera automática sin necesidad de contar.

En definitiva, los resultados del primer objetivo de esta tesis han mostrado que existe mucha variabilidad en la secuencia de conteo que siguen los niños del segundo ciclo de Educación Infantil. Esta variabilidad podría depender de la edad y de la enseñanza explícita. Por lo tanto, sería necesario realizar estudios longitudinales para analizar si la forma en la que cuentan los niños cambia con el desarrollo, y si los maestros enseñan a contar a los niños con los dedos explícitamente o no. Asimismo, los resultados muestran que también existe gran variabilidad en la producción de configuraciones numéricas con dedos. Finalmente, en lo que se refiere al reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y otro tipo de configuraciones, se ha observado que a los 4 años los niños ya reconocen las configuraciones numéricas con dedos del 1 al 5 de forma automática, como si de otro tipo de representación simbólica se tratase. Y con el desarrollo es muy posible que este tipo de representaciones se vayan almacenando en la memoria, si bien, se desconoce a qué edad serían capaces los niños de reconocer automáticamente (sin necesidad de contar), como cualquier otro tipo de representación simbólica, todas las representaciones con dedos (hasta el 10). El conteo con los dedos, la producción de configuraciones numéricas (muestreo), y su reconocimiento puede ayudar a los niños a establecer relaciones entre dedos y números, lo cual puede moldear la forma en la que los niños procesan los números (Butterworth, 1999; Fischer y Brugger, 2011; Penner-Wilger et al., 2007), cuestión que hemos intentado analizar en nuestro trabajo.

En lo que se refiere a los resultados del **segundo objetivo específico** de esta tesis, hemos obtenido información sobre: la relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y la adquisición del concepto de cardinalidad a los 3 años de edad, y las relaciones entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y dos habilidades de procesamiento numérico básico (comparación de magnitudes numéricas simbólicas y conteo de puntos) a los 4 y 5 años de edad.

Los resultados obtenidos sobre la *relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y la adquisición de la cardinalidad a los 3 años de edad* han mostrado que los niños que ya han adquirido la cardinalidad a esta edad son capaces de reconocer más configuraciones numéricas con dedos que aquellos que no la han adquirido. No obstante, aquellos niños que están en transición de adquirir la cardinalidad son capaces de reconocer configuraciones numéricas con dedos por encima de su nivel de cardinalidad. Esto puede ser debido a que tal y como afirma Sixtus (2018), los niños cuando son pequeños son capaces de reconocer y producir configuraciones numéricas con sus dedos sin acceder a su significado, simplemente por exposición a ellas. Por este motivo, un niño puede saber que existe una asociación entre la palabra numérica “dos”, y una representación manual en la que se levantan los dedos índice y corazón, pero no sabría que esa representación con dedos es una representación icónica de la cantidad que representa.

Más tarde, a los 4 y 5 años de edad, cuando los niños ya conocen los números y su significado, analizamos la relación entre el *reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y otras habilidades de procesamiento numérico básico*. En este punto, se observa que los niños reconocen las configuraciones numéricas con dedos de 1 a 5 automáticamente, sin necesidad de contar. No obstante, a partir del 5, el tiempo de reacción aumenta y los aciertos disminuyen. Por otro lado, el rango de *subitizing* de los niños en la tarea de conteo de puntos llega hasta 3 y a partir de aquí, tanto el tiempo de reacción como el número de errores aumentan. En relación a la tarea de comparación de magnitudes simbólicas, tanto a los 4 como a los 5 años, los niños son más rápidos y precisos cuando la distancia entre las numerosidades es alta (distancia 5) y más lentos e imprecisos cuando la distancia es pequeña (distancia 1), aunque este efecto no se encuentra en todas las numerosidades, probablemente debido a que a estas edades los niños todavía están aprendiendo a procesar y comparar magnitudes. Además, las correlaciones parciales que se han llevado a cabo entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el conteo de puntos (controlando por la inteligencia), han mostrado relaciones significativas, tanto a los 4 como a los 5 años. Asimismo, se han encontrado relaciones significativas entre el reconocimiento de configuraciones numéricas y la comparación de magnitudes simbólicas, controlando por la inteligencia y la velocidad de procesamiento, a los 4 y a los 5 años. Estos resultados muestran que tal y como han defendido algunos autores (p. ej. Fischer, 2012, 2018) existe una asociación entre dedos y números. Y no solo entre el uso espontáneo de los dedos y el procesamiento numérico (Lafay et al., 2013; Thevenot et al., 2014) o entre el reconocimiento de gnosias digitales y el procesamiento numérico (Costa et al., 2011; Fayol et al., 1998; Gracia-Bafalluy y Noël, 2008; Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007; Wasner et al., 2016), sino que también existe relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el procesamiento numérico. Por lo tanto, si existe una relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el procesamiento numérico y los números son los elementos centrales del rendimiento en aritmética, el reconocimiento de configuraciones con dedos también se podría relacionar con el rendimiento en aritmética de niños de Educación Infantil.

Por ese motivo, en el **tercer objetivo específico** de esta tesis se ha analizado la relación existente entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el rendimiento en matemáticas desde una perspectiva longitudinal a los 4 y 5 años de edad. Los resultados obtenidos han mostrado que el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos añade una proporción significativa a la explicación de la varianza en rendimiento de matemáticas de los niños (medido un año después) tanto a los 4 como a los 5 años, controlando por habilidades de dominio cognitivo general e incluyendo las habilidades de procesamiento numérico analizadas en el objetivo anterior. En el caso de los niños de 5 años, se han utilizado dos tareas distintas como variables dependientes: un test estandarizado de rendimiento en matemáticas (BADyG), y una tarea de fluidez de cálculo de sumas y restas (TTA). Y en ambos casos el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos añade una parte significativa a la explicación de la varianza. La mayoría de los estudios que han relacionado el procesamiento de dedos con la ejecución

en aritmética se han llevado a cabo usando la tarea de reconocimiento de gnosias digitales (Fayol et al., 1998; Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007) o el conteo con dedos (Moeller et al., 2012; Newman y Soylu, 2014), pero hasta dónde llega nuestro conocimiento, ningún estudio había analizado la posible relación entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el procesamiento numérico, así como el rendimiento en matemáticas en niños de Educación Infantil. Por lo tanto, futuras investigaciones deberían centrarse en explicar la relación entre estas habilidades implicadas en el procesamiento de dedos y en comparar su impacto en el rendimiento en aritmética.

En definitiva, esta tesis supone un paso más en la comprensión de la relación existente entre dedos y números que no se limita a las gnosias digitales o al conteo con dedos, sino que se basa en el reconocimiento de representaciones de muestreo con dedos, esto es, representaciones de la cardinalidad. Y hemos comprobado que el mero reconocimiento de estas representaciones (que supone un acto visual, sin necesidad de la realización de un acto motor), se relaciona tanto con habilidades de procesamiento numérico como con el rendimiento en matemáticas en la etapa de Educación Infantil. No obstante, los resultados de este estudio no son concluyentes y sería necesario realizar estudios de intervención para comprobar si una mejora en el reconocimiento de configuraciones con dedos conllevaría también una mejora en el conocimiento numérico y en el rendimiento en matemáticas de los niños y niñas. En cualquier caso, esta tesis constituye un primer paso en la comprensión de esta relación y un paso más en pro de la inclusión del uso de los dedos en contextos educativos, sobre todo a edades tempranas cuando los niños empiezan a conocer los números y las operaciones aritméticas.

Conclusiones

La información recogida y los análisis realizados durante el desarrollo de esta tesis doctoral nos han permitido, por un lado, tener un mayor conocimiento sobre la secuencia de conteo con dedos que siguen los niños y niñas del segundo ciclo de Educación Infantil en España, analizar el tipo de representación que usan cuando muestran numerosidades con sus dedos y recoger información sobre la rapidez y precisión en la producción y el reconocimiento de numerosidades con dedos. Y, por otro lado, han contribuido a establecer asociaciones entre el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos y el procesamiento numérico, así como el rendimiento en matemáticas.

En primer lugar, podemos afirmar que existe una gran variabilidad en la secuencia de conteo con dedos que usan los niños españoles de Educación Infantil. Los niños de 3 y 4 años tienden a comenzar el conteo por el dedo índice de la mano derecha, mientras que los niños de 5 años tienden a empezar a contar por el dedo pulgar de esa misma mano. Además, se observa variabilidad dependiendo de la clase en la que estén los niños, y teniendo en cuenta que los datos recogidos en este estudio no son longitudinales, podría ser que las diferencias individuales se deban a una enseñanza explícita por parte de los maestros que podría variar de una clase a otra.

En segundo lugar, en lo que se refiere a la producción de representaciones numéricas con dedos sigue existiendo una gran variabilidad, hasta el punto de que un mismo participante utiliza dos configuraciones numéricas diferentes para la misma numerosidad en la misma tarea y bajo las mismas condiciones. En un análisis general se observa que los niños tienden a utilizar como base el dedo índice y la mano derecha, aunque se encuentran diferencias debidas a la numerosidad. Los niños tienden a levantar todos los dedos a la vez cuando las representaciones requieren el uso de una sola mano y cuando se trata de representaciones de números que implican el uso de ambas manos (de 6 a 9) suelen presentar primero una mano abierta (sub-base 5) y después el resto de los dedos hasta completar la numerosidad.

En tercer lugar, se ha encontrado que los niños reconocen las configuraciones numéricas con dedos de forma más rápida y precisa que otro tipo de configuraciones. A los 4 años de edad, ya reconocen las numerosidades del 1 al 5 con dedos sin conteo, como si de un tipo de representación simbólica se tratase. Sin embargo, a partir del número 5 el tiempo de reacción y los errores aumentan.

En cuarto lugar, la realización de esta tesis ha contribuido a comprobar que el reconocimiento de configuraciones numéricas se relaciona con otras habilidades de procesamiento numérico, tanto a los 3, como a los 4 y 5 años de edad. A los 3 años, los niños reconocen representaciones numéricas con dedos por encima de su nivel de adquisición de la cardinalidad, lo que cual sugiere que estas representaciones (al principio) se almacenan en la memoria como otro tipo de representación simbólica de la que se desconoce el significado. Los niños que ya han adquirido la cardinalidad son los que más representaciones numéricas con dedos reconocen. Por otro lado, las habilidades de los niños de 4 y 5 años para comparar magnitudes numéricas simbólicas y contar conjuntos de puntos se relacionan con el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos. Esto es, existe una relación entre el procesamiento numérico y el procesamiento de dedos más allá del conteo y de las gnosias digitales, basada en el reconocimiento de representaciones de muestreo con dedos.

Y finalmente, en quinto lugar, se ha comprobado que el reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos a los 4 años de edad se relaciona con el rendimiento en matemáticas (medido con un test de rendimiento estandarizado) un año más tarde. Y a los 5 años, esta tarea se relaciona tanto con el rendimiento en matemáticas medido con un test estandarizado, como con la fluidez de cálculo (en sumas y restas), aun cuando se incluyen en la regresión, variables de dominio cognitivo general y variables relacionadas con el procesamiento numérico.

En definitiva, los datos obtenidos corroboran la existencia de una relación, no solamente entre dedos y números, sino también entre dedos y rendimiento en matemáticas. Estudios anteriores ya habían mostrado esta relación, pero usando otras tareas de procesamiento de dedos. Por un lado, numerosos estudios habían encontrado relación entre la ejecución en gnosias digitales y el procesamiento numérico (Noël, 2005; Penner-Wilger et al., 2007) así como el rendimiento en aritmética (Fayol et al., 1998;

Newman, 2016; Wasner et al., 2015). Por otro lado, ha habido estudios que han mostrado relación entre el uso de los dedos y el procesamiento numérico, así como con el rendimiento en matemáticas (Lafay et al., 2013; Thevenot et al. 2014). Y aunque es cierto que en algunos de estos estudios se ha incluido la tarea de reconocimiento de configuraciones numéricas con dedos (Lafay et al., 2013; Noël, 2005; Thevenot et al., 2014), ninguno de ellos se había centrado en analizar la relación entre esta tarea con otras habilidades de procesamiento numérico y con el rendimiento en matemáticas. Por lo tanto, este estudio supone un paso más hacia la comprensión de la relación entre el procesamiento de dedos y el procesamiento numérico. Los resultados obtenidos invitan a desmitificar la idea de que el uso de los dedos en la escuela no es recomendable, ya que sugieren que la internalización de configuraciones numéricas con dedos se relaciona con el procesamiento numérico y el rendimiento en matemáticas. Si esto es así, sería recomendable incluir, como exponemos en el siguiente punto, actividades en la escuela (sobre todo en el segundo ciclo de Educación Infantil) que ayuden a los niños a almacenar este tipo de representaciones con dedos en la memoria y faciliten el establecimiento de asociaciones entre dedos y números que contribuyan a un mejor procesamiento numérico, y en consecuencia, un mayor rendimiento en matemáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, A., Diez, E., & Fernández, A. (2014). Finger-montring configurations affect Arabic-number processing in left hemisphere. In P. Bernardis, C. Fantoni, and W. Gerbino (Eds.), *Proceedings of the Trieste Symposium on Perception and Cognition*. Trieste, Italy: Edizioni Università di Trieste.
- Andres, M., Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008a). Finger counting: The missing tool?. *Behavioral and Brain Sciences*, *31*(6), 642-643.
- Andres, M., Olivier, E., & Badets, A. (2008b). Actions, words, and numbers: A motor contribution to semantic processing?. *Current directions in psychological science*, *17*(5), 313-317.
- Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport*, *16*(16), 1769-1773.
- Ashcraft, M. H. (1982). The development of mental arithmetic: A chronometric approach. *Developmental review*, *2*(3), 213-236.
- Barrouillet, P., Mignon, M., & Thevenot, C. (2008). Strategies in subtraction problem solving in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *99*(4), 233-251.
- Barth, H., Kanwisher, N., & Spelke, E. (2003). The construction of large number representations in adults. *Cognition*, *86*(3), 201-221.
- Bender, A., & Beller, S. (2011). Fingers as a tool for counting—naturally fixed or culturally flexible?. *Frontiers in psychology*, *2*, 256.
- Bender, A., & Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition*, *124*(2), 156-182.
- Benoit, L., Lehalle, H., & Jouen, F. (2004). Do young children acquire number words through subitizing or counting? *Cognitive Development*, *19*(3), 291-307.
- Benoit, L., Lehalle, H., Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2013). Young children's mapping between arrays, number words, and digits. *Cognition*, *129*(1), 95-101.
- Benton, A. L. (1955). Development of finger-localization capacity in school children. *Child Development*, *26*(4), 225-230.
- Brozzoli, C., Ishihara, M., Göbel, S. M., Salemme, R., Rossetti, Y., & Farnè, A. (2008). Touch perception reveals the dominance of spatial over digital representation of numbers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(14), 5644-5648.

- Buckley, P. B., & Gilman, C. B. (1974). Comparison of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, *103*, 1131-1136.
- Bugden, S., & Ansari, D. (2011). Individual differences in children's mathematical competence are related to the intentional but not automatic processing of Arabic numerals. *Cognition*, *118*(1), 32-44.
- Butterworth, B. (1999). *What counts: How every brain is hardwired for math*. New York, NY, USA: The Free Press.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2006). Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychological science*, *17*(5), 401-406.
- Carey, S. (2001). Cognitive foundations of arithmetic: Evolution and ontogenesis. *Mind & Language*, *16*(1), 37-55.
- Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, *133*(1), 59-68.
- Cohen Kadosh, R. C., Lammertyn, J., & Izard, V. (2008). Are numbers special? An overview of chronometric, neuroimaging, developmental and comparative studies of magnitude representation. *Progress in neurobiology*, *84*(2), 132-147.
- Conson, M., Mazzarella, E., & Trojano, L. (2009). Numbers are represented in egocentric space: Effects of numerical cues and spatial reference frames on hand laterality judgements. *Neuroscience letters*, *452*(2), 176-180.
- Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C. R., & Whalen, J. (2001). Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychonomic bulletin & review*, *8*(4), 698-707.
- Costa, A. J., Lopes Silva, J. B., Pinheiro Chagas, P., Krinzinger, H., Lonnemann, J., Willmes, K., ... Geraldi Haase, V. (2011). A hand full of numbers: A role for offloading in arithmetics learning? *Frontiers in Psychology*, *2*, 368.
- Crollen, V., Mahe, R., Collignon, O., & Seron, X. (2011a). The role of vision in the development of finger-number interactions: Finger-counting and finger-montring in blind children. *Journal of experimental child psychology*, *109*(4), 525-539.
- Crollen, V., Noël, M. P., Seron, X., Mahau, P., Lepore, F., & Collignon, O. (2014). Visual experience influences the interactions between fingers and numbers. *Cognition*, *133*, 91-96.
- Crollen, V., Seron, X., & Noël, M. P. (2011b). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities?. *Frontiers in psychology*, *2*, 242.

- Chinello, A., Cattani, V., Bonfiglioli, C., Dehaene, S., & Piazza, M. (2013). Objects, numbers, fingers, space: clustering of ventral and dorsal functions in young children and adults. *Developmental Science*, 16(3), 377-393.
- d'Errico, F. (1998). Palaeolithic origins of artificial memory systems: An evolutionary perspective. In C. Renfrew & C. Scarre (Eds.), *Cognition and material culture* (pp. 19-50). Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research.
- Dehaene S. (2007). *Les neurones de la lecture*. Paris: Odile Jacob.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. Oxford: Oxford University Press.
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in cognitive sciences*, 7(4), 145-147.
- Dehaene, S. (2008). Conscious and nonconscious processes: distinct forms of evidence accumulation. *Better than conscious*, 22-49.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 487-506.
- Desoete, A., Ceulemans, A., De Weerd, F., & Pieters, S. (2012). Can we predict mathematical learning disabilities from symbolic and non-symbolic comparison tasks in kindergarten? Findings from a longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 64-81.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2008). Masked priming effect with canonical finger numeral configurations. *Experimental Brain Research*, 185(1), 27-39.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2010). Absence of low-level visual difference between canonical and noncanonical finger-numeral configurations. *Experimental psychology*, 57(3), 202.
- Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: more than just another symbolic code. *Frontiers in Psychology*, 2, 272.
- Di Luca, S., Granà, A., Semenza, C., Seron, X., & Pesenti, M. (2006). Finger–digit compatibility in Arabic numeral processing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(9), 1648-1663.
- Di Luca, S., Lefèvre, N., & Pesenti, M. (2010). Place and summation coding for canonical and non-canonical finger numeral representations. *Cognition*, 117(1), 95-100.
- Domahs, F., Kaufmann, L., & Fischer, M. H. (Eds.) (2011). Handy numbers: Finger counting and numerical cognition [Special research topic]. *Frontiers in Psychology: Cognition*, 2.

- Domahs, F., Krinzinger, H., & Willmes, K. (2008). Mind the gap between both hands: Evidence for internal finger-based number representations in children's mental calculation. *Cortex*, *44*(4), 359-367.
- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H. C. (2010). Embodied numerosity: implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, *116*(2), 251-266.
- Fabbri, M. (2013). Finger counting habits and spatial-numerical association in horizontal and vertical orientations. *Journal of cognition and culture*, *13*, 95–110.
- Fayol, M., & Seron, X. (2005). About numerical representations: Insights from neuropsychological, experimental, and developmental studies. In J. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp. 3-22). New York, NY, USA: Psychology Press.
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance: A longitudinal study. *Cognition*, *68*(2), B63-B70.
- Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2002). The representations underlying infants' choice of more: Object files versus analog magnitudes. *Psychological Science*, *13*(2), 150-156.
- Feigenson, L., Libertus, M. E., & Halberda, J. (2013). Links between the intuitive sense of number and formal mathematics ability. *Child development perspectives*, *7*(2), 74-79.
- Fias, W., Lammertyn, J., Reynvoet, B., Dupont, P., & Orban, G. A. (2003). Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *Journal of cognitive neuroscience*, *15*(1), 47-56.
- Fischer M.H. (2006). The future for SNARC could be stark. *Cortex*, *42*, 1066–1068.
- Fischer M.H. (2018). Why numbers are embodied concepts? *Frontiers in Psychology* *8*, 23-47.
- Fischer, M. H. (2008). Finger counting habits modulate spatial-numerical associations. *Cortex*, *44*, 386–392.
- Fischer, M. H. (2012). A hierarchical view of grounded, embodied, and situated numerical cognition. *Cognitive processing*, *13*(1), 161-164.
- Fischer, M. H., & Brugger, P. (2011). When digits help digits: spatial–numerical associations point to finger counting as prime example of embodied cognition. *Frontiers in psychology*, *2*, 260.

- Fischer, M. H., Kaufmann, L., & Domahs, F. (2012). Finger counting and numerical cognition. *Handy numbers: finger counting and numerical cognition*, 5.
- Fischer, M. H., Mills, R. A., & Shaki, S. (2010). How to cook a SNARC: Number placement in text rapidly changes spatial–numerical associations. *Brain and cognition*, 72(3), 333-336.
- Fischer, M. H., Shaki, S., & Cruise, A. (2009). It takes just one word to quash a SNARC. *Experimental psychology*, 56(5), 361-366.
- Fischer, U., Suggate, S. P., Schmir, J., & Stoeger, H. (2017). Counting on fine motor skills: Links between preschool finger dexterity and numerical skills. *Developmental Science*, 21(4), e12623.
- Fuchs, 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.
- Fuson, K. F., Richards, J., & Briars, D. (1982). The acquisition and elaboration of the number word sequence. In C. Brainerd (Ed.), *Children's logical and mathematical cognition: Vol. 1. Progress in cognitive development research* (pp. 33–92). New York: Springer Verlag.
- Gallistel, C. R. (1990). *The organization of learning*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Geary, D. C., vanMarle, K., Chu, F. W., Rouder, J., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2018). Early conceptual understanding of cardinality predicts superior school-entry number-system knowledge. *Psychological science*, 29(2), 191-205.
- Geary, D.C. (2005). *The origin of mind: Evolution of brain, cognition, and general intelligence*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2011). Generating nonsymbolic number stimuli. *Behavior research methods*, 43(4), 981-986.
- Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). *Young children's understanding of numbers*. Cambridge, MA: Harvard.
- Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398-408.
- Gibson, D. J., Gunderson, E. A., Spaepen, E., Levine, S. C., & Goldin-Meadow, S. (2018). Number gestures predict learning of number words. *Developmental Science*, e12791.

- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, *115*(3), 394-406.
- Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N., ... & Inglis, M. (2013). Individual differences in inhibitory control, not non-verbal number acuity, correlate with mathematics achievement. *PloS one*, *8*(6), e67374.
- Ginsburg, S. (1977). A survey of grammar forms-1977. *Acta Cybernetica*, *3*(4), 269-280.
- Goldin-Meadow, S., Levine, S., & Jacobs, S. (2014). Gesture's role in learning arithmetic. In L. Edwards, F. Ferrara, & D. Moore-Russo(Eds.), *Emerging perspectives on gesture and embodiment in mathematics*. Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- Gordon, P. (2004). Numerical cognition without words: evidence from Amazonia. *Science*, *306*, 496-499.
- Gracia-Bafalluy, M., & Noël, M. P. (2008). Does finger training increase young children's numerical performance?. *Cortex*, *44*(4), 368-375.
- Gray, S. A., & Reeve, R. A. (2014). Preschoolers' dot enumeration abilities are markers of their arithmetic competence. *PloS one*, *9*(4), e94428.
- Groen, G. J., & Parkman, J. M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological review*, *79*(4), 329.
- Gunderson, E. A., Spaepen, E., Gibson, D., Goldin-Meadow, S., & Levine, S. C. (2015). Gesture as a window onto children's number knowledge. *Cognition*, *144*, 14-28.
- 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(28), 11116-11120.
- Halberda, J., Mazocco, M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, *455*(7213), 665.
- Hanich, L. B., Jordan, N. C., Kaplan, D., & Dick, J. (2001). Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of educational psychology*, *93*(3), 615.
- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2008). Domain-specific and domain-general changes in children's development of number comparison. *Developmental Science*, *11*(5), 644-649.

- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). 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.
- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2010). Developmental specialization in the right intraparietal sulcus for the abstract representation of numerical magnitude. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(11), 2627-2637.
- Holloway, I. D., Price, G. R., & Ansari, D. (2010). Common and segregated neural pathways for the processing of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude: An fMRI study. *Neuroimage*, *49*(1), 1006-1017.
- Ifrah, G. (1981). *Histoire universelle des chiffres*. Paris: Robert Laffont.
- Ifrah, G. (1985). *From one to zero: A universal history of numbers*. New York: Viking.
- Ifrah, G. (2000). *The Universal History of Numbers*. Translated by D. Bellos, E.F. Harding, S. Wood & I. Monk. New York (NY): John Wiley and Sons.
- Jay, T., & Betenson, J. (2017). Mathematics at your fingertips: Testing a finger training intervention to improve quantitative skills. *Frontiers in Education*, *2*(22), 1-8.
- Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003). A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child development*, *74*(3), 834-850.
- Jordan, N. C., Huttenlocher, J., & Levine, S. C. (1992). Differential calculation abilities in young children from middle- and low-income families. *Developmental Psychology*, *28*, 644-653.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., & Hanich, L. B. (2002). Achievement growth in children with learning difficulties in mathematics: Findings of a two-year longitudinal study. *Journal of educational psychology*, *94*(3), 586.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Nabors Olah, L., & 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. (2008). Development of number combination skill in the early school years: When do fingers help?. *Developmental Science*, *11*(5), 662-668.
- Jordan, N. C., Levine, S. C., & Huttenlocher, J. (1994). Development of calculation abilities in middle- and low-income children after formal instruction in school. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *15*, 223-240.

- Kaufmann, L., Koppelstaetter, F., Delazer, M., Siedentopf, C., Rhomberg, P., Golaszewski, S., ... & Ischebeck, A. (2005). Neural correlates of distance and congruity effects in a numerical Stroop task: an event-related fMRI study. *Neuroimage*, 25(3), 888-898.
- Klein, E., Moeller, K., Willmes, K., Nuerk, H. C., & Domahs, F. (2011). The influence of implicit hand-based representations on mental arithmetic. *Frontiers in psychology*, 2, 197.
- Knudsen, B., Fischer, M. H., Henning, A., & Aschersleben, G. (2015). The Development of Arabic Digit Knowledge in 4- to 7-Year-Old Children. *Journal of numerical cognition*, 1(1), 21–37.
- Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C., & Fayol, M. (2013). The role of fingers in number processing in young children. *Frontiers in psychology*, 4, 488.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic Books
- Landy, D., Allen, C., & Zednik, C. (2014). A perceptual account of symbolic reasoning. *Frontiers in psychology*, 5, 275.
- 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.
- Leibovich, T., & Ansari, D. (2016). The symbol-grounding problem in numerical cognition: A review of theory, evidence, and outstanding questions. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 70(1), 12.
- Leibovich, T., Ashkenazi, S., Rubinsten, O., & Henik, A. (2013a). Comparative judgments of symbolic and non-symbolic stimuli yield different patterns of reaction times. *Acta psychologica*, 144(2), 308-315.
- Leibovich, T., Diesendruck, L., Rubinsten, O., & Henik, A. (2013b). The importance of being relevant: Modulation of magnitude representations. *Frontiers in Psychology*, 4, 369.
- Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Developmental science*, 14(6), 1292-1300.
- Libertus, M. E., Feigenson, L., & Halberda, J. (2013). Is approximate number precision a stable predictor of math ability? *Learning and individual differences*, 25, 126-133.

- Libertus, M. E., Odic, D., & Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta psychologica*, *141*(3), 373-379.
- Lindemann, O., Alipour, A., & Fischer, M. H. (2011). Finger counting habits in middle eastern and western individuals: an online survey. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *42*(4), 566-578.
- Liutsko, L., Veraksa, A. N., & Yakupova, V. A. (2017). Embodied finger counting in children with different cultural backgrounds and hand dominance. *Psychology in Russia: State of the Art*, *10*(4), 86–92.
- Long, I., Malone, S. A., Tolan, A., Burgoyne, K., Heron-Delaney, M., Witteveen, K., & Hulme, C. (2016). The cognitive foundations of early arithmetic skills: It is counting and number judgment, but not finger gnosis, that count. *Journal of Experimental Child Psychology*, *152*, 327-334.
- Lourenco, S. F., Bonny, J. W., Fernandez, E. P., & 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.
- Lucidi, A., & Thevenot, C. (2014). Do not count on me to imagine how I act: behavior contradicts questionnaire responses in the assessment of finger counting habits. *Behavior research methods*, *46*(4), 1079-1087.
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2011). Numerical ordering ability mediates the relation between number-sense and arithmetic competence. *Cognition*, *121*(2), 256-261.
- Lyons, I. M., Ansari, D., & Beilock, S. L. (2012). Symbolic estrangement: Evidence against a strong association between numerical symbols and the quantities they represent. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(4), 635.
- Lyons, I. M., Ansari, D., & Beilock, S. L. (2015). Qualitatively different coding of symbolic and nonsymbolic numbers in the human brain. *Human Brain Mapping*, *36*(2), 475-488.
- Marcus, G. F. (2004). What's in a U? The shapes of cognitive development. *Journal of Cognition and Development*, *5*(1), 119-122.
- Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011a). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child development*, *82*(4), 1224-1237.

- Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011b). Preschoolers' precision of the approximate number system predicts later school mathematics performance. *PLoS one*, 6(9), e23749.
- Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9(3), 320.
- Menninger, K. (1958). *Theory of psychoanalytic technique*. New York: John Wiley.
- Menninger, K. (1969). *Number words and number symbols: A cultural history of numbers*. Cambridge, MA: MIT Press
- Meteyard, L., Cuadrado, S. R., Bahrami, B., & Vigliocco, G. (2012). Coming of age: A review of embodiment and the neuroscience of semantics. *Cortex*, 48(7), 788-804.
- Michaux, N., Pesenti, M., Badets, A., Di Luca, S., & Andres, M. (2010). Let us redeploy attention to sensorimotor experience. *Behavioral and Brain Sciences*, 33(4), 283-284.
- Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H. C. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive processing*, 13(1), 271-274.
- Moeller, K., Martignon, L., Wesselowski, S., Engel, J., & Nuerk, H. C. (2011). Effects of finger counting on numerical development—the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in psychology*, 2, 328.
- Morrissey, K. R., Liu, M., Kang, J., Hallett, D., & Wang, Q. (2016). Cross-cultural and intra-cultural differences in finger-counting habits and number magnitude processing: embodied numerosity in Canadian and Chinese university students. *Journal of numerical cognition*, 2(1), 1-19.
- Morrissey, K., Hallett, D., Wynes, R., Kang, J., & Han, M. (2018). Finger-counting habits, not finger movements, predict simple arithmetic problem solving. *Psychological research*, 1-12.
- Newman, S. D. (2016). Does finger sense predict addition performance?. *Cognitive processing*, 17(2), 139-146.
- Newman, S. D., & Soyulu, F. (2014). The impact of finger counting habits on arithmetic in adults and children. *Psychological research*, 78(4), 549-556.
- Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitive Development*, 25, 247–261.

- Nieder, A. (2005). Counting on neurons: the neurobiology of numerical competence. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(3), 177.
- Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual review of neuroscience*, 32, 185-208.
- Noël, M. P. (2005). Finger gnosis: A predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology*, 11, 413–430.
- Odic, D., Le Corre, M., & Halberda, J. (2015). Children's mappings between number words and the approximate number system. *Cognition*, 138, 102-121.
- Ostad, S. A. (1997). Developmental differences in addition strategies: A comparison of mathematically disabled and mathematically normal children. *British Journal of Educational Psychology*, 67(3), 345-357.
- Ostad, S. A. (1999). Developmental progression of subtraction strategies: A comparison of mathematically normal and mathematically disabled children. *European Journal of Special Needs Education*, 14(1), 21-36.
- Patro, K., Nuerk, H. C., & Cress, U. (2015). Does your body count? Embodied influences on the preferred counting direction of preschoolers. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(4), 413-425.
- Penner-Wilger, M., & Anderson, M. (2008). An alternative view of the relation between finger gnosis and math ability: Redeployment of finger representations for the representation of number. In B. C. Love, K. McRae, & V. M. Sloutsky (Eds.), *Proceedings of the 30th annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1647–1652). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Penner-Wilger, M., & Anderson, M. L. (2013). The relation between finger gnosis and mathematical ability: Why redeployment of neural circuits best explains the finding. *Frontiers in psychology*, 4, 877.
- Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J. A., Smith-Chant, B., Skwarchuk, S. L., Kamawar, D., et al (2007). The foundations of numeracy: Subitizing, finger gnosis, and fine motor ability. In D. McNamara & G. Trafton (Eds.), *Proceedings of the 29th annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1385–1390). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J. A., Smith-Chant, B., Skwarchuk, S. L., Kamawar, D., et al (2009). Subitizing, finger gnosis, and the representation of number. In N. Taatgen, H. van Rijn, L. Schomaker, & J. Nerbonne (Eds.), *Proceedings of the 31st annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 520–525). Austin, TX: Cognitive Science Society.

- Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Science, 14*, 542–551.
- Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., ... & Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition, 116*(1), 33-41.
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron, 53*(2), 293-305.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306*(5695), 499-503.
- Pika, S., Nicoladis, E., & Marentette, P. (2009). How to order a beer: cultural differences in the use of conventional gestures for numbers. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 40*(1), 70-80.
- Poltz, N., Wyschkon, A., Höse, A., von Aster, M., & Esser, G. (2015). Vom Fingergefühl zum Rechnen. *Lernen und Lernstörungen, 4*, 177–193.
- Reeve, R., & Humberstone, J. (2011). Five- to 7-year-olds' finger gnosis and calculation abilities. *Frontiers in Psychology, 2*, 359.
- Reynvoet, B., & Sasanguie, D. (2016). The symbol grounding problem revisited: A thorough evaluation of the ANS mapping account and the proposal of an alternative account based on symbol–symbol associations. *Frontiers in psychology, 7*, 1581.
- Riello, M., & Rusconi, E. (2011). Unimanual SNARC effect: hand matters. *Frontiers in Psychology, 2*, 372.
- Roggeman, C., Verguts, T., & Fias, W. (2007). Priming reveals differential coding of symbolic and non-symbolic quantities. *Cognition, 105*(2), 380-394.
- Rourke, B. P., & Strang, J. D. (1978). Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Motor, psychomotor, and tactile-perceptual abilities. *Journal of pediatric psychology, 3*(2), 62-66.
- Sarnecka, B. W., & Lee, M. D. (2009). Levels of number knowledge during early childhood. *Journal of experimental child psychology, 103*(3), 325-337.
- Sasanguie, D., Defever, E., Maertens, B., & Reynvoet, B. (2014). The approximate number system is not predictive for symbolic number processing in kindergarteners. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(2), 271-280.

- 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*(3), 418-431.
- 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*(3), 418-431.
- Sato, M., & Lalain, M. (2008). On the relationship between handedness and hand-digit mapping in finger counting. *Cortex*, *44*, 393-399.
- Sato, M., Cattaneo, L., Rizzolatti, G., & Gallese, V. (2007). Numbers within our hands: modulation of corticospinal excitability of hand muscles during numerical judgment. *Journal of cognitive neuroscience*, *19*(4), 684-693.
- Scholl, B. J. (2001). Objects and attention: The state of the art. *Cognition*, *80*(1-2), 1-46.
- Shaki, S., & Fischer, M. H. (2008). Reading space into numbers—a cross-linguistic comparison of the SNARC effect. *Cognition*, *108*(2), 590-599.
- Simon, M. (1997). Developing new models of mathematics teaching: An imperative for research on mathematics teacher development. In *Mathematics teachers in transition*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Sixtus, E. (2018). *Subtle fingers – tangible numbers: The influence of finger counting experience on mental number representations* (thesis). University of Postdam, Postdam, Alemania.
- Sixtus, E., Lindemann, O., & Fischer, M. H. (2018a). Stimulating numbers: signatures of finger counting in numerosity processing. *Psychological research*, 1-16.
- Sixtus, E., Lindemann, O., & Fischer, M. H. (2018b). Incidental Counting: Speeded Number Naming Through Finger Movements. *Journal of Cognition*, *1*(1).
- Slusser, E., Ditta, A., & Sarnecka, B. (2013). Connecting numbers to discrete quantification: A step in the child’s construction of integer concepts. *Cognition*, *129*(1), 31-41.
- Smets, K., Sasanguie, D., Szűcs, D., & Reynvoet, B. (2015). The effect of different methods to construct non-symbolic stimuli in numerosity estimation and comparison. *Journal of Cognitive Psychology*, *27*(3), 310-325.
- Soltész, F., Szűcs, D., & Szűcs, L. (2010). Relationships between magnitude representation, counting and memory in 4-to 7-year-old children: A developmental study. *Behavioral and Brain Functions*, *6*(1), 13.

- Stoianov, I. P. (2014). Generative processing underlies the mutual enhancement of arithmetic fluency and math-grounding number sense. *Frontiers in psychology*, *5*, 1326.
- Svenson, O., Hedenborg, M. L., & Lingman, L. (1976). On children's heuristics for solving simple additions. *Scandinavian Journal of Educational Research*, *20*(1), 161-173.
- Thevenot, C., Castel, C., Danjon, J., Renaud, O., Ballaz, C., Baggioni, L., & Fluss, J. (2014). Numerical abilities in children with congenital hemiplegia: An investigation of the role of finger use in number processing. *Developmental neuropsychology*, *39*(2), 88-100.
- Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological review*, *101*(1), 80.
- Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(1), 166.
- Uller, C., Carey, S., Huntley-Fenner, G., & Klatt, L. (1999). What representations might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive development*, *14*(1), 1-36.
- Van Opstal, F., & Verguts, T. (2011). The origins of the numerical distance effect: the same-different task. *Journal of Cognitive Psychology*, *23*(1), 112-120.
- Van Opstal, F., Gevers, W., De Moor, W., & Verguts, T. (2008). Dissecting the symbolic distance effect: Comparison and priming effects in numerical and nonnumerical orders. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*(2), 419-425.
- Verguts, T., Fias, W., & Stevens, M. (2005). A model of exact small-number representation. *Psychonomic bulletin & review*, *12*(1), 66-80.
- Viarouge, A., Hubbard, E. M., & Dehaene, S. (2014). The organization of spatial reference frames involved in the SNARC effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(8), 1484-1499.
- Wasner, M., Moeller, K., Fischer, M. H., & Nuerk, H. C. (2015). Related but not the same: ordinality, cardinality and 1-to-1 correspondence in finger-based numerical representations. *Journal of Cognitive Psychology*, *27*(4), 426-441.
- Wasner, M., Nuerk, H. C., Martignon, L., Roesch, S., & Moeller, K. (2016). Finger gnosis predicts a unique but small part of variance in initial arithmetic performance. *Journal of experimental child psychology*, *146*, 1-16.

- Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Nonverbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science, 10*(2), 130-137.
- Wiese, H. (2001). Did language give us numbers? Symbolic thinking and the emergence of systematic numerical cognition. In J. D. Moore, & K. Stenning (Eds.), *Proceedings of the 23rd annual conference of the cognitive science society*, Edinburgh, August 1–4, 2001 (pp. 1118–1123). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wiese, H. (2003). *Numbers, language, and the human mind*. New York: Cambridge University Press.
- Wiese, H. (2007). The co-evolution of number concepts and counting words. *Lingua, 117*,
- Willems, G., Feeters-Erenay, M. C., & Depuydt-Berte, R. (1980). L'intérêt de la discrimination digitale dans les troubles d'apprentissage. *La psychomotricite, 4*, 135-140.
- Woods, S. S., Resnick, L. B., & Groen, G. J. (1975). An Experimental Test of Five Process Models for Subtraction. *Journal of Educational Psychology, 67*(1), 17.
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology, 24*, 220–251.
- Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition, 89*(1), B15-B25.
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition, 74*(1), B1-B11.
- Zago, L., & Badets, A. (2016). What is the role of manual preference in hand-digit mapping during finger counting? A study in a large sample of right-and left-handers. *Perception, 45*(1-2), 125-135.