

## Matemáticas y neurociencias: una aproximación al desarrollo del pensamiento matemático desde una perspectiva biológica

Rafael Antonio Vargas Vargas

Fecha de recepción: 22/10/2012

Fecha de aceptación: 10/06/2013

<p><b>Resumen</b></p>	<p>En el presente artículo se realiza una revisión sobre la investigación que desde las neurociencias se realiza para entender cómo se desarrolla el pensamiento matemático. Se muestra las dos formas de pensamiento matemático: uno antiguo y común a muchas especies animales: la estimación y otro propio de la especie humana y relacionado con el lenguaje: el pensamiento matemático formal. Ambas son fundamentales para un adecuado pensamiento matemático. Para su desarrollo se requiere de la educación, pero alteraciones en el desarrollo cerebral presentes en autismo y síndrome de Turner producen incapacidad para desarrollar un pensamiento matemático adecuado.  <b>Palabras clave:</b> pensamiento matemático, cerebro, neurociencias</p>
<p><b>Abstract</b></p>	<p>In this article the author review about neurosciences research oriented to understand the developing of mathematical thinking. It shows two forms of mathematical thinking: the first one, ancient and present in many animal species: the ability to estimate and the second one, characteristic of the human being and linked to language: formal mathematical thinking. Both are essential for proper mathematical thinking and for this, is essential a normal development of brain structures and education. Alterations in brain development as in autism and Turner syndrome lead to an inability to develop mathematical thinking.  <b>Keywords:</b> mathematical thinking, brain, neurosciences</p>
<p><b>Resumo</b></p>	<p>Este artigo é um comentário sobre a pesquisa da neurociência é feito para compreender como desenvolver o pensamento matemático. Ele mostra as duas formas de pensamento matemático: um velho comum para muitas espécies de animais: estimação e uma outra característica da espécie humana e relacionada com a linguagem: o pensamento matemático formal. Ambos são essenciais para o pensamento matemático adequado. É necessária para o desenvolvimento da educação, mas alterações no desenvolvimento cerebral presente no autismo e síndrome de Turner produzir incapacidade de desenvolver um raciocínio matemático adequado.  <b>Palavras-chave:</b> pensamento matemático, cérebro, neurociências</p>

### 1. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad el hombre ha empleado las matemáticas en su vida diaria. Múltiples hallazgos arqueológicos así lo confirman: murales babilónicos, papiros egipcios, textos griegos, latinos y árabes brindan información acerca del pensamiento matemático propio de cada cultura. Sin embargo, las matemáticas que empleamos hoy no son las mismas que las matemáticas de hace 2000 o 3000 años, pues han evolucionado y el uso de ellas se

ha ampliado. Las matemáticas pasaron de ser un pasatiempo de unos cuantos privilegiados para ser una necesidad, que hace obligatorio su aprendizaje por parte de todos los miembros de la sociedad (Collette, 1993; Vegas José Manuel & Moreno Ricardo, 2006).

Desde el nacimiento de la sociedad los seres humanos han creado símbolos, reglas, procedimientos matemáticos, que fueron aumentando en complejidad y abstracción, y al aumentar en complejidad se han desarrollado subdisciplinas o áreas matemáticas especiales: álgebra, cálculo, trigonometría, topología, etnomatemáticas, etc. Todo este desarrollo ha significado el trabajo de muchas mentes que en conjunto han logrado aumentar el bagaje en matemáticas por parte de la humanidad. El aprender matemáticas requiere un esfuerzo mental que probablemente se ha traducido en cambios cerebrales en la especie humana. Y esos cambios estructurales cerebrales los ha heredado el individuo actual (Tzanakis et al., 2002, pp. 201-240). Aprender matemáticas implica un esfuerzo continuo que incluye procesos cerebrales simples como atención, memoria, o procesos mentales más complejos como la organización de ideas, la comparación, el análisis, el razonamiento, seguir pasos, cumplir reglas y realizar toma de decisiones (Sfard, 1991, pp. 1-36). Todos estos procesos son necesarios y fundamentales en el trabajo matemático y con ese esfuerzo se presentan cambios en la estructura y la función cerebral, que inducen la aparición y modificación de circuitos cerebrales (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu, & Tsivkin, 1999, pp. 970-974; Park, Park, & Polk, 2012). Esto implica que con la evolución de las matemáticas el cerebro también ha evolucionado solo que todavía no es claro como (Frank, Everett, Fedorenko, & Gibson, 2008, pp. 819-824; Gordon, 2004, pp. 496-499; Otte, 2003, pp. 203-228).

Dado que hoy en día las matemáticas son tan comunes que forman parte de nuestro día a día, surgen muchas preguntas alrededor de las matemáticas y la función cerebral. Una pregunta frecuente es ¿los conceptos matemáticos son innatos o se aprenden? Si se aprenden, ¿cuando se aprenden?. ¿Qué zonas del cerebro están encargadas de la tarea matemática?. Estas son algunas preguntas que diversos investigadores del área de las neurociencias intentan resolver hoy en día y actualmente algunos investigadores han planteado algunas posibles respuestas. Esta información es útil en educación pues puede ser empleada para mejorar el interés y el desempeño de los individuos en estas áreas.

## 2. Matemáticas y evolución.

Algunos etólogos han mostrado como ciertas especies animales que incluyen aves y mamíferos pueden mostrar capacidades matemáticas básicas, especialmente en lo relacionado con estimaciones (Bongard & Nieder, 2010, 2277-2282; Cantlon, 2012, pp. 10725-10732; Gallistel & Gelman, 1992, pp. 43-74). Estos planteamientos indican que la capacidad de pensamiento matemático elemental tiene bases biológicas relacionadas con el desarrollo de sistemas somato-sensoriales complejos como la visión, la audición y el tacto. Estos procesos no son exclusivos de los seres humanos, pues están presentes en invertebrados y vertebrados. Experimentos en insectos, aves, y mamíferos han puesto en evidencia la capacidad de estos animales de realizar procedimientos matemáticos sencillos (Pahl, Si, & Zhang, 2013; Agrillo, Piffer, & Bisazza, 2010; Hunt, Low, & Burns, 2008, pp. 2373-2379).

### 3. Matemáticas y neurodesarrollo

En los niños de corta edad, lactantes, preescolares, hay evidencia de que tienen conceptos sobre estimaciones y operaciones matemáticas básicas (Wood & Spelke, 2005, pp. 23-39). Los niños que todavía no hablan pueden distinguir numéricamente entre unos pocos objetos, en forma similar a como lo hacen algunos animales como los chimpancés (Bongard & Nieder, 2010, pp. 2277-2282; Vallentin, Bongard, & Nieder, 2012, pp. 6621-6630). Esto hace pensar que el sentido de la cantidad es una característica innata que compartimos con los primates, mientras que el pensamiento matemático simbólico y verbalizado, es una característica adquirida, que aparece con el aprendizaje y es exclusivo del ser humano.

En niños de menos de un año se han realizado algunos estudios en donde se les muestra un objeto, usualmente un juguete, y luego se oculta tras una pantalla. Después se les muestra otro objeto y nuevamente se oculta detrás de la misma pantalla. Si al retirar la pantalla solo aparece un objeto, el niño permanece con la mirada sobre el objeto durante mucho más tiempo, como si estuviera sorprendido de un resultado no lógico, esperaría dos objetos y no uno. Esto se interpreta como una capacidad innata de pensamiento matemático.

Otro ejercicio muestra la relación entre razonamiento viso-espacial y matemático. Al niño se le presentan dos filas de objetos que tienen la misma cantidad de elementos, pero una es más larga porque hay más espacio entre los objetos. Cuando al niño se le pregunta en cual fila hay más objetos siempre responde que en la más larga. Esto se interpreta como una capacidad de estimación, el niño relaciona tamaño con cantidad (Lourenco & Longo, 2010, pp. 873-881). En ambos tipos de estudio la capacidad viso-espacial del niño es determinante, esta función está relacionada con actividad en la corteza occipital, área visual, y la corteza parietal.

En niños mayores, y en la medida que aprende la matemática simbólica, es importante el uso del cuerpo para realizar cálculos, especialmente el uso de los dedos para contar y realizar operaciones básicas como sumas y restas (Fischer & Brugger, 2011). En este caso las cortezas motora y sensorial son importantes: De igual forma las áreas de audición y lenguaje son fundamentales (Cantlon, 2012, pp. 10725-10732; Moeller, Martignon, Wessolowski, Engel, & Nuerk, 2011).

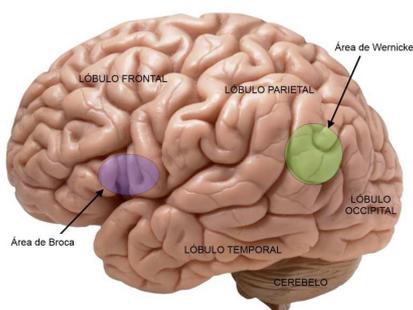
Aparentemente el cerebro emplea inicialmente el sentido viso-espacial de la cantidad, y luego lo combina con los símbolos matemáticos que aprende y que están relacionados con el lenguaje (De Smedt, Holloway, & Ansari, 2011, pp. 771-781). Cuando se realiza un cálculo, ambos sistemas comienzan a trabajar. Estos procesos se pueden realizar conjuntamente o en forma independiente. Los cálculos exactos dependen del lóbulo frontal izquierdo, lóbulo encargado del lenguaje y la asociación entre palabras. Las aproximaciones o estimaciones matemáticas emplean el hemisferio derecho, aunque también puede participar el hemisferio izquierdo.

### 4. Matemáticas y áreas cerebrales. ¿En dónde se realiza el procesamiento matemático?

Desde el siglo XIX se intentó relacionar el cerebro con el carácter y la personalidad de los individuos; en esta época surgió una disciplina que se denominó

frenología, promovida por el médico alemán Franz Joseph Gall. Esta teoría plantea que las funciones cerebrales determinan la personalidad del individuo y se reflejarán en características craneofaciales: nariz, mentón, pómulos, forma del cráneo, etc. A pesar del impacto que tuvo en un primer momento pronto decayó pues no contaba con bases científicas que la soportaran, sin embargo esta teoría sirvió de base para plantear más adelante el estudio de las funciones cerebrales.

La comprensión de la función cerebral, especialmente de la corteza cerebral, se inició a finales del siglo XIX. Fue en 1861 cuando el médico francés Paul Pierre Broca presentó a la Sociedad Francesa de Antropología el caso de un paciente quien padecía un trastorno del lenguaje desde los 31 años de edad, el paciente falleció a los 50 años. Al realizar la autopsia el Dr Broca encontró una lesión en la circunvolución prefrontal inferior del hemisferio cerebral izquierdo. Este caso, más otros similares, permitieron que el Dr Broca llegara a la conclusión que existía una relación entre lenguaje y función cerebral, y que lesiones en el área prefrontal izquierda causaban una alteración del lenguaje. Con este trabajo se inicia la neurología moderna y en su honor se denominó a esta zona el área de Broca y a la patología desarrollada por el daño de esta zona en donde el paciente no podía producir un lenguaje claro, se le denominó afasia motora, de expresión, no fluente o de Broca. Más tarde empiezan a aparecer nuevos trabajos uno de ellos el del médico Alemán Karl Wernicke quien reporta casos en donde había un trastorno del lenguaje, más no en su producción, sino en su comprensión. El paciente podía hablar, y de hecho hablaba en forma fluida, más no comprendía lo que escuchaba. Se identificó el área comprometida como la zona superior del lóbulo temporo-parietal, por lo que a esta zona se le denominó área de Wernicke y al trastorno generado por lesión de esta zona se le denominó afasia sensorial, de comprensión, fluente o de Wernicke (figura 1). Con estos trabajos se identifican funciones cerebrales específicas de algunas zonas y se establecen las bases para el estudio del lenguaje desde el punto de vista de las neurociencias (Ardila, 2006, pp. 690-698).



**Figura 1. Cerebro humano y áreas corticales principales. Están identificados los lóbulos frontal, parietal, occipital y temporal, así como el cerebelo. El área de Broca está ubicada en el lóbulo frontal y el área de Wernicke en zonas del lóbulo parietal y temporal**

En cuanto a las matemáticas y las zonas cerebrales encargadas de su procesamiento, los estudios científicos inician un poco más tarde, dado que en muchas ocasiones es difícil encontrar casos en donde el trastorno involucre solamente funciones matemáticas, sin que se mezcle funciones del lenguaje. Los primeros casos de trastornos en el procesamiento matemático se publican hacia 1908 y son Max Lewandowsky (1876-1916) y Ernst Stadelmann (1835-1921)

quienes reportan el primer caso de alteración en la capacidad de cálculo. Sin embargo, el término acalculia fue acuñado en 1919 por el neurólogo sueco Salomon Henschen (1847-1930). A partir de este momento se inicia formalmente el estudio de alteraciones del procesamiento matemático y su comprensión (Kaufmann & von Aster, 2012, pp. 163-175). Trabajos posteriores aumentan el conocimiento acerca de este tipo de procesamiento. Piaget y sus trabajos en el desarrollo del niño permiten ir aclarando como es el proceso de aprendizaje en el niño, sin que se aclare que regiones participan. Con el avance de la tecnología y la incorporación de nuevos métodos diagnósticos que van desde el electroencefalograma, la tomografía axial computarizada y estudios radiológicos funcionales (TEP, fRMN) se han logrado acumular más y más datos que han permitido conocer más en detalle que regiones cerebrales están activas en el momento del procesamiento matemático tanto innato, como adquirido.

#### 4.1 Cada hemisferio cerebral tiene funciones particulares

Las regiones cerebrales involucradas en el procesamiento matemático son:

- El lóbulo frontal en el cuál se destacan la corteza prefrontal, la corteza premotora y el área motora primaria.
- El lóbulo parietal, en él participan el área somatosensorial primaria y la corteza de asociación del lóbulo parietal.
- El lóbulo occipital en el cual están involucradas la corteza visual primaria y la corteza de asociación del lóbulo occipital.
- El lóbulo temporal que incluye la corteza auditiva primaria, la corteza superior temporal y la corteza de asociación del lóbulo temporal.

Estas áreas van madurando progresivamente, de tal manera que en el niño sólo algunas de estas áreas son activas y otras se irán activando con el desarrollo cerebral y con el estímulo que el individuo reciba del medio a través de la educación. Inicialmente maduran las áreas primarias, tanto motoras, como somatosensorial, visual y auditiva. El surco intraparietal superior es una de las áreas activas tanto en especies animales con capacidad matemática básica como en niños y adultos. Las áreas que siguen en maduración son las áreas secundarias motoras y sensoriales y finalmente las áreas de asociación. Algunas de las últimas zonas en madurar son la corteza prefrontal y la corteza temporal superior encargada de integrar información proveniente de diferentes modalidades sensoriales, y que terminan su maduración al final de la segunda década de la vida (figura 2) (Serra-Grabulosa, Adan, Pérez-Pàmies, Lachica, & Membrives, 2010, pp. 39-46).

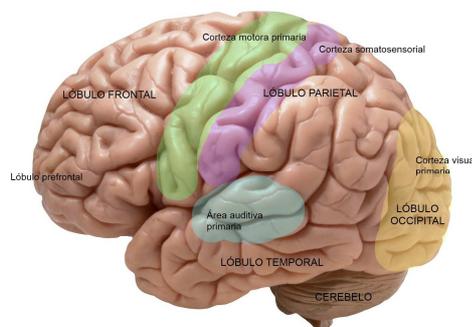


Figura 2. Áreas cerebrales y matemáticas. Algunas áreas implicadas en el procesamiento matemático incluyen las cortezas motoras, somatosensoriales, visuales y auditivas primarias

En el momento se plantea que el cerebro derecho tiene la capacidad para reconocer los símbolos numéricos y realizar aproximaciones o estimaciones matemáticas. El cerebro izquierdo tiene la capacidad de reconocer la escritura alfabética matemática, esto probablemente está relacionado con su función lingüística (Zarnhofer et al., 2012); desde el punto de vista de procedimientos tiene la capacidad de realizar cálculos exactos como la multiplicación (Price, Mazzocco, & Ansari, 2013, pp. 156-163).

Una lesión en una de estas áreas o trastornos en el desarrollo cerebral normal, pueden afectar la capacidad del individuo para aprender conceptos y procedimientos matemáticos. Este tipo de trastorno es difícil de detectar dada la complejidad del lenguaje y los procedimientos matemáticos, pero que de presentarse pueden afectar el desarrollo y el desempeño tanto individual, como social del individuo. En resumen, el procesamiento matemático depende de un desarrollo armónico de todas las áreas corticales que a su vez depende de un desarrollo psicomotor adecuado. Familia, ambiente, educación, recreación, son claves para garantizar el desarrollo y plasticidad cerebral necesarios para apropiarse de conceptos matemáticos.

### **5. Trastornos del pensamiento matemático: Acalculia y discalculia.**

La acalculia y la discalculia son trastornos en los que el individuo tiene incapacidad total o parcial para realizar procesos matemáticos, esto puede estar relacionado con daños cerebrales. Acalculia y discalculia pueden ser incapacitantes pues muchas actividades cotidianas dependen de tener capacidades y habilidades matemáticas mínimas: por ejemplo para contar dinero, para entender los precios de los artículos y compararlos, para marcar números telefónicos, para leer y decir la hora, para pagar un artículo y revisar el cambio recibido, para tramitar cheques y consignaciones bancarias, para retirar dinero de cajeros electrónicos, para recordar fechas, para programar citas, etc.

Estos trastornos pueden clasificarse en primarios o secundarios. En los trastornos de tipo primario existe un trastorno en el pensamiento matemático, pero no está relacionado con una patología específica. En los trastornos secundarios la acalculia o discalculia es secundaria a una patología específica que lesiona áreas cerebrales y que pueden estar relacionadas con hemorragias cerebrales, tumores primarios o metastásicos en cerebro o infecciones cerebrales. Se ha observado que los pacientes con este tipo de problemas también presentan alteraciones en otras tres esferas: 1) La orientación en el espacio: dificultad para identificar derecha – izquierda, norte – sur. 2) Dificultad para el control de sus propias acciones y 3) problemas con la representación de su cuerpo, especialmente de manos y dedos. Se observa, por ejemplo, dificultad para nombrar los dedos, lo cual es clave para aprender a contar y otros autores además reportan dificultades adicionales en las áreas visuales, táctiles y psicomotrices (Castro-Cañizares, Estévez-Pérez, & Reigosa-Crespo, 2009, pp. 143-148 ; Butterworth, Varma, & Laurillard, 2011, pp. 1049-1053).

Durante el desarrollo la habilidad de conteo en niños depende de un desarrollo adecuado de estas tres esferas: orientación, representación corporal y autocontrol (Kaufmann, 2008, pp. 163-175). Una vez se logra esto se pasa a desarrollar habilidades más complejas y abstractas que se desarrollan en paralelo al desarrollo

de otras regiones cerebrales: áreas de asociación, lóbulo frontal. Si este desarrollo es causa o consecuencia del aprendizaje matemático no es claro hasta el momento. Sin embargo, algunos estudios reportan trastornos de discalculia en pacientes con problemas al nacimiento, por ejemplo en recién nacidos prematuros se observa menor densidad de la sustancia gris en el lóbulo parietal izquierda, la cual es clave para la representación espacial. También pacientes con síndrome de Turner (Bruandet, Molko, Cohen, & Dehaene, 2004, pp. 288-298) y trisomía del cromosoma X presentan problemas al hacer estimaciones o aproximaciones y cálculo aritmético, aunque la lectura y la escritura de números, así como la lectura de tablas de multiplicar están preservadas. Estudios de RNM en estos pacientes evidencian menor densidad de sustancia gris en el surco interparietal izquierdo. Resultados similares se han reportado en pacientes con el síndrome de X frágil (síndrome relacionado con retraso mental y/o autismo) (Owen, Baumgartner, & Rivera, 2013).

El surco parietal está relacionado con procesamiento espacial y esto es clave en matemáticas pues la organización en columnas de los números para crear conceptos abstractos como unidades, decenas, centenas está relacionada con la posición del número en el espacio: de izquierda a derecha. Algunos pacientes muestran dificultad para leer cifras de más de un dígito, como sucede en la representación de números decimales (submúltiplos) o unidades mayores a un dígito (múltiplos).

En otras patologías también se han evidenciado trastornos en el procesamiento numérico, pero involucran la participación de otras áreas cerebrales. Pacientes con lesiones en ganglios basales (núcleo estriado) presentan pésimo rendimiento en problemas aritméticos de más de un paso. El núcleo caudado aparentemente se activa cuando un problema matemático es novedoso. Finalmente la ínsula anterior izquierda y la corteza cerebelosa aparentemente participan en el aprendizaje donde participan los dedos (contar) y en donde se manipulan objetos en tres dimensiones, lo cual habla de la posible existencia de una red motora digital en donde control de movimiento, relaciones espaciales y actividad matemática se mezclan. Muchas de estas funciones se han logrado identificar estudiando pacientes con lesiones cerebrales específicas. En el libro *The Mathematical brain* el Dr Brian Butterworth describe aspectos normales y alteraciones en el procesamiento matemático (Butterworth, 2000), el cual es fundamental para desempeñarnos en nuestras labores cotidianas.

### 5.1 Sinestesia y supercomputadoras humanas. Genios o enfermos.

Mientras que algunas personas tienen una capacidad matemática limitada para realizar procedimientos matemáticos, como sucede en la acalculia o la discalculia, otros por el contrario muestran habilidades excepcionales para realizar procedimientos matemáticos. En este grupo con habilidades excepcionales existe una gran variedad de personas, desde algunos con alteraciones neurológicas específicas como en el caso del autismo, hasta otros con características normales que con ejercicios y algoritmos han logrado capacidades de cómputo elevadas. En los casos de trastornos neurológicos, en el autismo por ejemplo, ciertos individuos tienen una capacidad de memorizar fechas, números, listas, sin que ello les represente un alto cociente intelectual. Otros casos en los que el individuo puede mostrar habilidades de cálculo sobresaliente es el de los individuos con sinestesia.

En estos pacientes existe una alteración sensorial en la cual un estímulo genera una percepción distinta a la habitual, así un estímulo auditivo puede generar sensaciones visuales (ruido = blanco; silencio = azul), o sensaciones táctiles pueden generar sensaciones auditivas u olfatorias. Estos trastornos tienen que ver con alteraciones en el desarrollo neuronal en épocas tempranas de la vida que impiden el desarrollo de una arquitectura cerebral normal, por lo tanto señales sensoriales se mezclan y pueden generar distorsiones. Aunque los pacientes tienen una capacidad memorística sobresaliente, otros procedimientos que implican análisis, pensamiento inductivo, pensamiento deductivo, que dependen de un desarrollo cortical adecuado no son posibles (Cohen Kadosh et al., 2005, pp. 1766-1773; Hubbard & Ramachandran, 2005, pp. 509-520).

Pero en condiciones normales algunos individuos han desarrollado capacidades memorísticas y de cálculo sobresalientes, con trabajo y esfuerzo, por lo que se les ha denominado computadoras humanas. Muchos de ellos adjudican esa capacidad a trabajo y ejercicios constantes asociado a desarrollo de algoritmos. Algunos relacionan números con objetos y personas, los visualizan y crean historias que les permite por ejemplo recordar cifras.

Algunos investigadores han realizado estudios funcionales de pacientes con alta capacidad de cálculo, los resultados muestran que estas personas tienen un aumento notable del flujo sanguíneo cerebral en áreas relacionadas con el procesamiento matemático, lo cual implica que se puede modular la actividad del cerebro con la práctica diaria. Actividades recreativas sensorio-motrices como el ejercicio, las actividades artísticas y el sueño podrían favorecer estos procesos.

## 6. Conclusión

Es necesario realizar más estudios para profundizar en los mecanismos que favorecen el desarrollo de capacidades matemáticas sin sacrificar otras funciones cerebrales. No obstante, la evidencia científica acumulada hasta el momento parece confirmar la máxima greco-latina del balance cuerpo-mente: **mente sana en cuerpo sano** (*mens sana in corpore sano*) y para ello la orientación de los educadores y la práctica de actividades físicas (práctica deportiva, danza), artísticas (música, pintura, escultura) e intelectuales desde épocas tempranas de la vida son fundamentales para garantizar el desarrollo adecuado de un pensamiento matemático.

## Bibliografía

- Agrillo, C., Piffer, L., & Bisazza, A. (2010). *Large number discrimination by mosquitofish*. *PloS one*, 5(12), e15232. doi:10.1371/journal.pone.0015232
- Ardila, A. (2006). *[The origins of language: an analysis from the aphasia perspective]*. *Revista de neurología*, 43(11), 690-698.
- Bongard, S., & Nieder, A. (2010). *Basic mathematical rules are encoded by primate prefrontal cortex neurons*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 2277-2282. doi:10.1073/pnas.0909180107
- Bruandet, M., Molko, N., Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). *A cognitive characterization of dyscalculia in Turner syndrome*. *Neuropsychologia*, 42(3), 288-298.
- Butterworth, B. (2000). *The Mathematical Brain* (New Ed.). Papermac.
- Butterworth, B., Varma, S., & Laurillard, D. (2011). *Dyscalculia: from brain to education*. *Science (New York, N.Y.)*, 332(6033), 1049-1053. doi:10.1126/science.1201536

- Cantlon, J. F. (2012). *Math, monkeys, and the developing brain*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109 (Supplement\_1), 10725-10732. doi: 10.1073/pnas.1201893109
- Castro-Cañizares, D., Estévez-Pérez, N., & Reigosa-Crespo, V. (2009). [Contemporary cognitive theories about developmental dyscalculia]. *Revista de neurología*, 49(3), 143-148.
- Cohen Kadosh, R., Sagiv, N., Linden, D. E. J., Robertson, L. C., Elinger, G., & Henik, A. (2005). *When blue is larger than red: colors influence numerical cognition in synesthesia*. Journal of cognitive neuroscience, 17(11), 1766-1773. doi:10.1162/089892905774589181
- Collette, J.-P. (1993). *Historia de las matemáticas*. Siglo XXI de España Editores.
- De Smedt, B., Holloway, I. D., & Ansari, D. (2011). *Effects of problem size and arithmetic operation on brain activation during calculation in children with varying levels of arithmetical fluency*. NeuroImage, 57(3), 771-781. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.12.037
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). *Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence*. Science, 284(5416), 970-974. doi:10.1126/science.284.5416.970
- 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. doi:10.3389/fpsyg.2011.00260
- Frank, M. C., Everett, D. L., Fedorenko, E., & Gibson, E. (2008). *Number as a cognitive technology: evidence from Pirahã language and cognition*. Cognition, 108(3), 819-824. doi:10.1016/j.cognition.2008.04.007
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). *Preverbal and verbal counting and computation*. Cognition, 44(1-2), 43-74. doi:10.1016/0010-0277(92)90050-R
- Gordon, P. (2004). *Numerical cognition without words: evidence from Amazonia*. Science (New York, N.Y.), 306(5695), 496-499. doi:10.1126/science.1094492
- Hubbard, E. M., & Ramachandran, V. S. (2005). *Neurocognitive mechanisms of synesthesia*. Neuron, 48(3), 509-520. doi:10.1016/j.neuron.2005.10.012
- Hunt, S., Low, J., & Burns, K. C. (2008). *Adaptive numerical competency in a food-hoarding songbird*. Proceedings Biological sciences / The Royal Society, 275(1649), 2373-2379. doi:10.1098/rspb.2008.0702
- Kaufmann, L. (2008). *Dyscalculia: neuroscience and education*. Educational research; a review for teachers and all concerned with progress in education, 50(2), 163-175. doi:10.1080/00131880802082658
- Kaufmann, L., & von Aster, M. (2012). *The Diagnosis and Management of Dyscalculia*. Deutsches Ärzteblatt International, 109(45), 767-778. doi:10.3238/arztebl.2012.0767
- Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2010). *General Magnitude Representation in Human Infants*. Psychological Science, 21(6), 873-881. doi:10.1177/0956797610370158
- 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. doi:10.3389/fpsyg.2011.00328
- Otte, M. (2003). *Complementarity, sets and numbers*. Educational Studies in Mathematics, 53(3), 203-228. doi:10.1023/A:1026001332585
- Owen, E. R., Baumgartner, H. A., & Rivera, S. M. (2013). *Using infrared eye-tracking to explore ordinal numerical processing in toddlers with Fragile X Syndrome*. Journal of neurodevelopmental disorders, 5(1), 1. doi:10.1186/1866-1955-5-1
- Pahl, M., Si, A., & Zhang, S. (2013). *Numerical cognition in bees and other insects*. Frontiers in psychology, 4, 162. doi:10.3389/fpsyg.2013.00162
- Park, J., Park, D. C., & Polk, T. A. (2012). *Parietal Functional Connectivity in Numerical Cognition*. Cerebral Cortex. doi:10.1093/cercor/bhs193
- Price, G. R., Mazzocco, M. M. M., & Ansari, D. (2013). *Why mental arithmetic counts: brain activation during single digit arithmetic predicts high school math scores*. The Journal of neuroscience, 33(1), 156-163. doi:10.1523/JNEUROSCI.2936-12.2013

- Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). *Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia*. *Neuropsychologia*, 47(13), 2859-2865. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
- Serra-Grabulosa, J. M., Adan, A., Pérez-Pàmies, M., Lachica, J., & Membrives, S. (2010). *[Neural bases of numerical processing and calculation]*. *Revista de neurologia*, 50(1), 39-46.
- Sfard, A. (1991). *On the dual nature of mathematical conceptions: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin*. *Educational Studies in Mathematics*, 22(1), 1-36. doi:10.1007/BF00302715
- Tzanakis, C., Arcavi, A., Sa, C. C. de, Isoda, M., Lit, C.-K., Niss, M., ... Siu, M.-K. (2002). *Integrating history of mathematics in the classroom: an analytic survey*. En J. Fauvel & J. V. Maanen (Eds.), *History in Mathematics Education* (pp. 201-240). Springer Netherlands. Recuperado a partir de [http://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-47220-1\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-47220-1_7)
- Vallentin, D., Bongard, S., & Nieder, A. (2012). *Numerical Rule Coding in the Prefrontal, Premotor, and Posterior Parietal Cortices of Macaques*. *The Journal of Neuroscience*, 32(19), 6621-6630. doi:10.1523/JNEUROSCI.5071-11.2012
- Vegas José Manuel, & Moreno Ricardo. (2006). *Una historia de las matemáticas para jóvenes. Desde la Antigüedad al Renacimiento*. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=327023>
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). *Number development and developmental dyscalculia*. *Developmental medicine and child neurology*, 49(11), 868-873. doi:10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x
- Wood, J. N., & Spelke, E. S. (2005). *Chronometric studies of numerical cognition in five-month-old infants*. *Cognition*, 97(1), 23-39. doi:10.1016/j.cognition.2004.06.007
- Zarnhofer, S., Braunstein, V., Ebner, F., Koschutnig, K., Neuper, C., Reishofer, G., & Ischebeck, A. (2012). *The Influence of verbalization on the pattern of cortical activation during mental arithmetic*. *Behavioral and brain functions: BBF*, 8, 13. doi:10.1186/1744-9081-8-13

**Rafael Antonio Vargas Vargas** Médico-cirujano e Ingeniero Electrónico. Magister en Fisiología y Doctor en Ciencias Biomédicas. Actualmente profesor asistente del Departamento de Ciencias Fisiológicas de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Realiza actividades académicas y de investigación relacionadas con la fisiología y la farmacología.

**Contacto:** [rvargas3200@hotmail.com](mailto:rvargas3200@hotmail.com); [rafael.vargas@javeriana.edu.co](mailto:rafael.vargas@javeriana.edu.co)