

La importancia de la estimulación de las áreas implicadas en el procesamiento matemático y sus efectos en el neurodesarrollo

Emilio Arch-Tirado,* Ana Luisa Lino-González,* Alfonso Alfaro-Rodríguez**

Resumen

El presente trabajo tiene como *objetivo* discutir y analizar el papel que juegan las matemáticas en el neurodesarrollo, para lo cual se discuten los antecedentes históricos, las bases ontogenéticas y fisiológicas involucradas.

La metodología del presente artículo es un análisis deductivo, describiendo desde el uso de las matemáticas en las antiguas culturas hasta la especialización de las regiones cerebrales.

Las sensopercepciones son útiles para la adquisición y desarrollo de funciones corticales, de esta manera la estimulación sensorial es fundamental para la maduración de funciones neurológicas especializadas.

Palabras clave: matemáticas, neurodesarrollo, funciones neurológicas.

Abstract

This paper *aims* to discuss and analyze the role of mathematics in neurodevelopment, for which discusses the historical, ontogenetic and physiological bases involved.

The methodology of this paper is a deductive analysis, describing from the use of mathematics in ancient cultures to the specialization of brain regions.

Sensory perceptions are useful for the acquisition and development of cortical functions thus sensory stimulations is essential for the maturation of specialized neurologic functions.

Key words: mathematics, neurodevelopment, neurologic functions.

Introducción

Las matemáticas se encuentran presentes de manera significativa en la vida cotidiana de cada ser humano, a veces de una forma casi imperceptible y otras de manera más práctica en el lenguaje interno, oral o escrito.

En las antiguas comunidades la noción de cantidad era fundamental por lo que se tuvieron que diseñar sistemas numéricos sencillos para determinar, conocer, medir, catalogar o ubicar cuantitativamente sus pertenencias.

Los antepasados del *Homo sapiens sapiens* eran capaces de realizar construcciones de correspondencia en algunas

actividades sociales (actualmente la base de la teoría de los conjuntos), así como al momento de compartir sus alimentos. Se ha descrito que el *Homo habilis* ancestro del *Homo erectus*, también utilizaba estas construcciones al cazar animales grandes; ya que la distribución de piezas de un todo dividido en partes iguales que requiere de la capacidad de este tipo de construcción. Probablemente el hombre del paleolítico fue capaz de igualar el número de objetos de grupos distintos, al realizar una correspondencia biunívoca con dos conjuntos diferentes (animales-objetos).¹

Al evolucionar las sociedades en función a los intercambios socioculturales, se generaron comunidades económicamente activas, dando paso a los intercambios y transacciones comerciales entre personas y pueblos, lo que obligó al diseño de estrategias más objetivas, derivándose la creación de las diferentes bases numéricas, agrupando elementos en función a sus unidades comerciales, por ejemplo un borrego equivalía a diez pieles curtidas, de ahí surgieron los sistemas de numeración, en este caso la decimal.

Menninger (1992), discute la posibilidad de que los dedos fueran el primer instrumento contable, hace alusión a una tribu india denominada "Dinje" quienes contaban flexionando cada uno de los dedos de la mano en correspondencia a un número específico.²

Existe evidencia de que la escritura numérica apareció en la historia antes que el lenguaje escrito. Al parecer algunas

* Laboratorio de Bioacústica

** Departamento de Neurorehabilitación
Instituto Nacional de Rehabilitación.

Correspondencia:

Acad. Dr. Emilio Arch Tirado
Calzada México-Xochimilco 289, Col. Arenal de Guadalupe,
C.P. 14389. Del. Tlalpan, D.F. México.
Tel.: 5999-1000, ext. 19312
Correo electrónico: earch@inr.gob.mx / arch@terra.com.mx,

Recibido para publicación: 08-10-2012

Aceptado para publicación: 27-11-2012

culturas como los Incas desarrollaron un sistema de representación numérica, pero no un sistema de representación del lenguaje. El primer sistema numérico escrito se encontró alrededor del 3,000 antes de Cristo (a. C.), al parecer, ante la necesidad de mantener el registro de la información, realizando para esto marcas en el piso, en ramas de árboles, tablas u otros objetos. En Egipto, India y más tarde en Creta, un sistema similar fue desarrollado, las unidades fueron representadas por símbolos convencionales, repetidos varias veces para definir un dígito entre uno y nueve, usando trazos diferentes para representar el 10 y los múltiplos de 10. Alrededor del año 1000 a. C. se introdujo el cero en la cultura Maya. Existe certidumbre de que egipcios y babilonios empleaban fracciones. Interesantemente los diferentes sistemas de notación numérica siempre representan el uno, dos y tres con trazos, puntos o cualquier marca específica de manera repetida, es decir, se escriben haciendo uno, dos y tres trazos iguales. En nuestro sistema de notación arábiga “uno” es una línea vertical mientras que dos y tres fueron originalmente líneas horizontales. El sistema numérico junto con las unidades de medida se desarrolló a partir de las dimensiones del cuerpo humano (dedos, manos, brazos, pies, etc.). El cuerpo humano ha sido empleado no solo para contar, sino también, como unidades de medida contemporáneas, es el caso del “pie” y la “pulgada” como medidas de longitud.¹

Los números arábigos fueron diseñados por la civilización india de los Gupta alrededor del año 500 a. C. y se introduce en el este de Europa por Fibonacci en su libro “*Liber abaci*” alrededor del 1200, los números arábigos se empezaron a utilizar con regularidad después del renacimiento.

Suma, resta, multiplicación y división fueron posibles en el sistema egipcio, se empleaban procedimientos muy distintos a los usados actualmente.³

Ontogenia

La ontogenia se refiere a la maduración acompañada de continuos cambios propiciados por interacciones o estímulos de elementos internos o ambientales a la par de la cronología.⁴

Se ha evidenciado que la comprensión de cantidades, la discriminación numérica y sus interrelaciones son universales y compartidos por los seres humanos adultos, animales y niños preverbales.⁵⁻⁸ Investigaciones serias dan crédito a la hipótesis de que el sentido numérico preverbal provee los cimientos necesarios para desarrollar las matemáticas formales.⁹

Entre los 6 y 7 meses de edad, los bebés son capaces de discriminar cantidades diferentes de estímulos visoespacia-

les y secuencias auditivas que difieren en proporción.^{5,10-14} Pruebas no verbales han indicado que los niños entre uno y medio y cuatro años de edad han dominado ya la conservación del número.⁶ Se ha reportado que el conteo verbal aparece aproximadamente a los 2 años de edad,^{5,10} y que nacemos con circuitos cerebrales especializados en la identificación de números pequeños.¹¹

Los hallazgos mencionados han llevado a sugerir que el sentido numérico es una habilidad determinada biológicamente con una larga historia evolutiva y un sustrato cerebral específico.^{6,7}

Una creciente cantidad de evidencia sugiere que la habilidad para decidir el valor numérico de manera no verbal fue un importante precursor evolutivo para las habilidades numéricas simbólicas en el adulto humano y que esto es una capacidad cognitiva independiente del lenguaje. Cantlon et al., sugieren que el surco intraparietal es el origen ontogénico y filogenético del procesamiento numérico no simbólico, el cual sirve como base sobre la que se construye el procesamiento simbólico del número.⁸

Investigaciones dan crédito a la hipótesis de que el sentido numérico prelingüístico provee de bases para las matemáticas formales, los autores citan a McCloskey quien habla de una funcionalidad independiente de módulos de escritura para la comprensión de números arábigos y sus nombres, así mismo, afirman que Dehaene sugiere la existencia de una ruta directa ligada a estos códigos.⁹

Estudios realizados en relación a la ontogenia del procesamiento numérico sugieren la existencia de un patrón madurativo que inicia en la región frontal y que progresivamente se especializa en la parietal,^{1,15} observándose también un cambio en la activación en el lóbulo parietal que pasa del surco intraparietal al giro angular izquierdo.¹

Independencia entre el lenguaje y el número

Se ha discutido ampliamente si el lenguaje y el conocimiento del número son dependientes, esto es, si el concepto numérico es consecuencia de la adquisición y desarrollo del lenguaje.

Bloom menciona que el conocimiento numérico puede ser derivado del conocimiento gramatical combinado con la habilidad para procesar tanto objetos como colecciones de objetos.^{16,17}

Huford argumenta que la habilidad numérica emerge a través de la interacción de los rasgos centrales de la facultad lingüística junto con otras capacidades cognitivas, relacionando el reconocimiento y la manipulación de colecciones de objetos concretos.^{18,19}

Salguero et al., proponen que el procesamiento numérico se asocia a la manipulación de símbolos y palabras que re-

presentan cantidades, que favorece el acceso a la comprensión y aplicación en el cálculo. También sugieren que los números son símbolos y por tanto, al igual que las palabras, cuentan con significado y significante, formando parte del conocimiento léxico de cada persona.²⁰

Bloom estudió a sujetos con pérdida auditiva que no desarrollaron el lenguaje verbal, pero que eran capaces de realizar operaciones básicas, demostrando de esta manera la independencia entre el lenguaje y el número.¹⁷

Curtiss reportó un paciente con retraso mental severo secundario a hipoxia neonatal, que empleaba correctamente la gramática, pero no podía realizar repeticiones numéricas de más de 20 dígitos, además de que le era imposible realizar operaciones aritméticas, leer la hora y saber su edad.²¹

Cohen y Dehaene, describieron el caso de una paciente con daño selectivo de memoria, la cual no presentaba alteraciones del lenguaje, pero sí una severa dificultad para realizar cálculos aritméticos básicos; reportando también los hallazgos de dos pacientes con alexia, que podían leer correctamente los números arábigos.^{22,23}

Se puede concluir por casos similares a los descritos, que el concepto numérico puede desarrollarse independientemente de la gramática.

Bases fisiológicas

Se considera que el cálculo se ubica generalmente en el hemisferio izquierdo, al considerarse como el más especializado para realizar cálculos más exactos. Cohen y Dehaene en 1996 sugieren que el hemisferio derecho es capaz de identificar dígitos arábigos, representar y comparar cantidades.²⁴

A través de evidencias neuropsicológicas y actualmente con estudios de neuroimagen, se sugiere que el procesamiento numérico o cálculo mental, está asociado con una red cerebral específica ubicada en el área inferior intraparietal de ambos hemisferios;^{5,6,25-30} sin embargo, se incluyen otras regiones cerebrales.

Investigaciones realizadas en sujetos sanos mediante técnicas de neuroimagen, señalan que los circuitos neurales del procesamiento numérico se localizan principalmente en el lóbulo parietal,⁶ la activación se concentra a lo largo del surco intraparietal, y el giro postcentral.^{8,31}

El surco intraparietal es un área especializada en el cálculo, está involucrado en el procesamiento numérico, manipulación de cantidades numéricas, aritmética mental,^{8,31} representación mental de cantidades, percepción de numerosidad. Se ha documentado que el surco intraparietal izquierdo está relacionado con el procesamiento espacial, por lo que se ha sugerido la existencia de una red neural común para el procesamiento numérico y espacial.

También participan el sistema parietal posterior superior, involucrado en procesos de atención necesarios para la resolución de cálculos, y una importante participación de tareas visoespaciales y de memoria de trabajo espacial.^{3,6}

En el lóbulo frontal las áreas activas están distribuidas en la región dorsolateral, el giro frontal superior, el área suplementaria motora y el cortex premotor. Anatómicamente estas áreas constituyen una red bien descrita, que se activa en diferentes tareas cognitivas involucrando memoria de trabajo y atención visoespacial, se considera que la memoria de trabajo en este caso participa en el mantenimiento provisional de resultados intermedios, planificación y ordenación temporal de los elementos de las tareas, así como, comprobación de resultados y corrección de errores.⁶

Se ha documentado que la región temporal basal posterior se encarga de la lectura de números arábigos.¹⁵

El giro angular, especialmente el izquierdo desempeña funciones relacionadas con el procesamiento numérico y el cálculo, principalmente con aquellas tareas que requieren un procesamiento verbal, ya que algunas tareas requieren para su resolución un importante componente verbal, se ha reportado que su activación es mayor en tareas de cálculo exacto.

La ínsula izquierda y la corteza cerebelosa se han relacionado con la recuperación de hechos numéricos, observándose en el núcleo caudado una importante activación cuando los problemas son novedosos.⁶

La diversidad de áreas cerebrales involucradas en los procesos aritméticos apoya la suposición de que las destrezas del cálculo, representan habilidades multifactoriales incluyendo habilidades verbales, espaciales, de memoria, de conocimiento del cuerpo y funciones ejecutivas.¹

Las matemáticas como un lenguaje

Para poder analizar la importancia y el alcance del lenguaje matemático es importante conceptualizar que sus elementos son definidos para su uso. Esto es, primero se tuvo que tener una abstracción del número asociado a una cantidad determinada y posteriormente se le asignó un símbolo determinado llamado grafismo.

Retomando lo anteriormente descrito, podemos sugerir que los símbolos matemáticos en primera instancia provienen del lenguaje natural y se pueden expresar por medio de él.

La simbolización permite expresar operaciones que pueden ser ejecutadas a través de los símbolos en la manipulación del proceso, mediante la construcción y creación de nuevas expresiones.

Es importante mencionar que a diferencia del lenguaje verbal, para que la palabra tenga sentido no sólo se deben

agrupar las letras, ya que el agregado de letras no siempre tiene un significado, en el caso de los números, cualquier combinación o permutación tiene diferente valor, es de mencionar que se sabía desde hace mucho tiempo que las progresiones numéricas son infinitas, pero la pregunta era si estas podrían ser utilizadas en forma práctica por el hombre. Al evolucionar los instrumentos de medición el ser humano fue utilizando cada vez números más pequeños o más grandes, por ejemplo: a mediados del siglo pasado (1950), quién imaginaría que dentro del lenguaje común de un niño el prefijo Giga fuera tan común en sus expresiones diarias, nos referimos en particular a los Gigabytes.

La aproximación al conocimiento matemático es única porque de algún modo permite aislar, analizar, interpretar y transmitir información a través de algoritmos, que son los métodos utilizados para resolver un problema dentro del proceso matemático.

A diferencia del lenguaje verbal en el que se necesitan muchos elementos gramaticales para transmitir un mensaje en forma adecuada, las matemáticas pueden transmitir gran cantidad de información con pocos elementos, de ahí la riqueza de su aplicación. Una expresión matemática cumple con los elementos fundamentales de la comunicación, la transmisión de un mensaje (codificación) y la recepción (decodificación) de un mensaje determinado, sin embargo, el conocer una serie de números no es garantía de que se entienda el mensaje, por esta razón algunos mencionan que las matemáticas no son accesibles a todos. Al tener acceso a las matemáticas se pueden compartir conocimientos sin hablar el mismo idioma, ya que el concepto matemático es universal, los signos y símbolos son comprendidos sin importar el idioma y las fronteras.

Conclusiones

Brailowsky et al., en su libro “el cerebro averiado” demuestra la importancia que tiene el medio ambiente en la maduración neuronal, de ahí los programas de intervención temprana para niños con la finalidad de evitar desconexiones neuronales o promover los enlaces sinápticos en etapas tempranas del desarrollo.³² Partiendo de lo anterior, se sugiere: que es fundamental generar un enriquecimiento ambiental con la finalidad de promover y estimular las vías sensoriales que empleamos en los procesamientos numéricos, potenciando así, las áreas cerebrales que en muchas personas se deterioran por el uso indiscriminado de herramientas tecnológicas obstaculizando o inhibiendo habilidades y destrezas, como podría ser el caso de la resolución de operaciones básicas, a través de calculadoras.

Es importante mencionar que “área cerebral que no es estimulada tiende a atrofiarse”, por ejemplo: se sabe que

las personas que se jubilan empiezan a perder conexiones neuronales por la falta de actividad, tales como el olvido de números telefónicos que en su momento fueron indispensables para su desempeño social o profesional; en la actualidad la mayoría de las personas tienen acceso a los números telefónicos de familiares y/o conocidos a través de la memoria de los teléfonos celulares, situación que ha originado que estos números no puedan ser recordados, ya que con el simple hecho de presionar un botón aparecen en pantalla, cosa que en el pasado no ocurría y las personas sabían de memoria más de 10 números telefónicos.

El presente trabajo, no pretende que dejen de usarse los elementos tecnológicos; en ocasiones, se recurre a ellos, buscando favorecer la rapidez en la ejecución de alguna operación matemática, sin embargo, vale la pena destacar que es importante que los alumnos de todos los niveles sean estimulados para realizar ocasionalmente operaciones matemáticas sin el uso de calculadoras, con la finalidad de mantener activas las áreas que participan durante la ejecución de estos procesos, por ejemplo: un alto porcentaje de las personas que han egresado de la primaria no recuerdan como hacer una raíz cuadrada, por lo que el objetivo del artículo, es concientizar la importancia que tiene el desarrollo de las operaciones sin el uso de tecnología cuando esto sea posible.

Cabe destacar que el empleo de herramientas tecnológicas no necesariamente tiene repercusiones negativas, ya que, existen diversos instrumentos cuya finalidad es la estimulación cerebral, favoreciendo el desarrollo de habilidades y destrezas que en ocasiones se ven deterioradas por la edad o por la falta de uso por mencionar algunos motivos.

Finalmente, la estimulación neurosensorial de las áreas cerebrales durante el procesamiento numérico, aumenta las redes y circuitos neuronales de ambos hemisferios cerebrales. Es decir, que la estimulación y enfoque adecuados en el proceso de enseñanza-aprendizaje, así como el enriquecimiento de las diversas formas de afrontar el conocimiento de las matemáticas y su aplicación a través de la implementación de experiencias reales, cotidianas y creativas que motiven y modifiquen la percepción de las matemáticas como una ciencia confusa y aburrida, propiciaría una transformación de esta percepción dando paso a una conexión y activación de las diferentes áreas cerebrales proporcionando herramientas y habilidades óptimas para un exitoso desempeño en el quehacer individual, social y laboral.

Referencias

1. Ardila A. On the Evolution of Calculation Abilities. *Front Evol Neurosci* 2010;2:1-7. doi: 10.3389/fnevo.2010.00007
2. Menninger K. *Number Words and Number Symbols: A Cultural History of Numbers*, N.Y: Dover Publications, 1992 p. 36.

3. Roux FE, Lubrano V, Lauwers-Cances V, Giussani C, Démonet JF. Cortical areas involved in Arabic number reading. *Neurology* 2008;70(3):210-217.
4. Muñoz-Yunta JA, Palau-Baduell M. Ontogenia de la autoconciencia. Cómo se construye el cerebro cognitivo. *Rev Neurol* 2004;38(Supl 1):S3-S8.
5. Dehaene S, Dehaene-Lambertz G, Cohen L. Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends Neurosci* 1998;21(8):355-361.
6. Chochon F, Cohen L, van de Moortele PF, Dehaene S. Differential Contributions of the Left and Right Inferior Parietal Lobules to Number Processing. *J Cognitive Neuroscience* 1999;11(6):617-630.
7. Dehaene S. Précis of The Number Sense. *Mind & Language* 2001;16(1):16-36.
8. Cantlon JF, Brannon EM, Carter EJ, Pelphrey KA. Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PLoS Biol* 2006;4(5):e125.
9. Barth H, La Mont K, Lipton J, Dehaene S, Kanwisher N, Spelke E. Non-symbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition* 2006;98(3):199-222.
10. Xu F, Arriaga RI. Number discrimination in 10-month-old infants. *British J Developmental Psychology* 2007;25(1):103-108.
11. Alonso D, Fuentes LJ. Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático. *Rev Neurol* 2001;33(6):568-576.
12. Dehaene S. Varieties of numerical abilities. *Cognition* 1992;44(1-2):1-42.
13. Nieder A, Miller EK. Coding of Cognitive Magnitude: Compressed Scaling of Numerical Information in the Primate Prefrontal Cortex. *Neuron* 2003;37:149-157.
14. Wynn K, Bloom P, Chiang WC. Enumeration of collective entities by 5-month-old infant. *Cognition* 2002;83(3):B55-B62.
15. Serra-Grabulosa JM, Adan A, Pérez-Pàmies M, Lachica J, Membrives S. Bases neurales del procesamiento numérico y del cálculo. *Rev Neurol* 2010;50(1):39-46.
16. Bloom P. Generativity within language and other cognitive domains. *Cognition* 1994;51(2):177-189.
17. Bloom P. Language and thought: Does grammar makes us smart? *Current Biology* 2000;10(14):R516-R517.
18. Huford JR. The significance of linguistic generalizations. *Language* 1977;53(3):574-620.
19. Huford JR. *Language and number: the emergence of a cognitive system*. Oxford: Basil Blackwell, 1987 p. 14.
20. Salguero-Alcañiz MP, Lorca-Marín JA, Alameda-Bailén JR. Procesamiento numérico y cálculo: evidencia de un caso desde la Neuropsicología cognitiva. *Rev Neurol* 2003;36(9):817-820.
21. Curtiss S. Dissociations Between Language and Cognition: Cases and Implications. *J Autism Developmental Disorders* 1981;11(1):15-30.
22. Cohen L, Dehaene S. Amnesia for Arithmetic Facts: A Single Case Study. *Brain and Language* 1994;47(2):214-232.
23. Cohen L, Dehaene S. Reading numbers in pure alexia: effects of the task and hemispheric specialization. *Revue Neurologique* 1995;151(8-9):480-485.
24. Cohen L, Dehaene S. Cerebral networks for number processing: Evidence from a case of posterior callosal lesion. *Neurocase* 1996;2(3):155-174.
25. Askenazi S, Henik A. Attentional networks in developmental dyscalculia. *Behav Brain Funct* 2010;6(2):1-12.
26. Rubinstein O, Tannock R. Mathematics anxiety in children with developmental dyscalculia. *Behav Brain Funct* 2010;6:1-13.
27. Stanescu-Cosson R, Pinel P, van de Moortele PF, Le Bihan D, Cohen L, Dehaene S. Understanding dissociation in dyscalculia. A brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain* 2000;123(11):2240-2255.
28. Izard V, Dehaene-Lambertz G, Dehaene S. Distinct Cerebral Pathways for Object Identity and Number in Human Infants. *PLoS Biol* 2008;6(2):275-285.
29. Cappelletti M, Lee HL, Freeman ED, Price CJ. The Role of Right and Left Parietal Lobes in the Conceptual Processing of Numbers. *J Cogn Neurosci* 2010;22(2):331-346.
30. Buckley PB, Gillman CB. Comparisons of digits and dot patterns. *J Experimental Psychology* 1974;103(6):1131-1136.
31. Caño A, Rapp B, Costa A, Juncadella M. Deafness for the meanings of number words. *Neuropsychologia* 2008;46(1):63-81.
32. Brailowsky S, Stein DG, Will B. El Cerebro averiado: plasticidad cerebral y recuperación funcional. México, Fondo de Cultura Económica 1992 p. 35.