

Modelos actuales de procesamiento del número y el cálculo

Silvia Jacobovich

Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires
Sección de Neuropsicología, Hospital Eva Perón

Resumen

Las alteraciones del cálculo y la utilización de números en general constituyen un desorden altamente discapacitante, se incluyen en el concepto de "acalculia" que involucra dificultades de distinto tipo: alteraciones semánticas que refieren a la magnitud que implica una cantidad expresada, déficits en la comprensión y expresión de números, ya sea en forma verbal como arábiga, y disturbios en la ejecución de cálculos matemáticos. Este tipo de alteración se constituye, por tanto, en un tópico de interés clínico y teórico.

Para poder comprender esta función, es necesario desagregar los procesos involucrados y estudiarlos uno a uno. Desde el primer caso publicado en 1908 por Lewandowsky y Stadelman a la actualidad, se han producido importantes avances, en particular con el impacto de la neuropsicología cognitiva, en el delineamiento de modelos de procesamiento más refinados, en especial el modelo cognitivo de McCloskey y cols. (1985) y el neuro-funcional publicado por Dehaene & Cohen (1995). Los aportes actuales de las neurociencias a través de las investigaciones con imágenes funcionales y los de la neuropsicología cognitiva con los estudios clínicos de sujetos acalculicos permiten corroborar los modelos propuestos y abrir nuevos interrogantes en un área que, hasta hace muy poco tiempo, se hallaba supeditada al estudio de otras funciones.

Palabras clave: acalculia - transcodificación numérica - algoritmo de cálculo.

Abstract

The impairment of calculation and the use of numbers in general constitute a highly disabling condition. They are included in the concept of "acalculia" which involves different type of difficulties: semantic alterations that refer to the magnitudes, deficits in the understanding and expression of numbers, and disturbances in the execution of mathematical calculations. Therefore, this kind of alteration is a topic of clinical and theoretical interest.

In order to understand this function, it is necessary to analyse the involved processes and to study them individually. Important advances have been achieved since the first case published in 1908 by Lewandowsky and Stadelman, particularly due to cognitive neuropsychology, in the delineation of refined processing models, specially the cognitive model published by McCloskey et al (1985) and the neuro-functional one published by Dehaene & Cohen (1995). Current contributions from neurosciences with functional images and those of the cognitive neuropsychology with clinical studies of acalculic patients allow to confirm the proposed models and to open new questions in an area until recently supeditated to the study of other functions.

Key Words: acalculia; numerical transcodification, algorithm of calculation

1. Introducción

Generalmente supeditado al interés generado por el dominio del código escrito, el estudio de las perturbaciones de las facultades matemáticas ha quedado relegado a planos secundarios. Sin embargo, existe una gran cantidad de personas que, aun analfabetas, es decir carentes del dominio del código escrito, utilizan algún sistema de conteo, suma, sustracción y hasta de algún tipo de representación simbólica para manejarse con cantidades. El número, como categoría de conocimiento biológicamente determinada, ha sido estudiado en primates, ratas y delfines, los que demuestran poseer cierta capacidad para extraer y manipular “cantidades”, ya que son sensibles al efecto de distancia y magnitud (Dehaene, 1992; Dehaene-Lamberts y Cohen, 1998). Esto lleva a reflexionar acerca de algún tipo de relación filogenética con los seres humanos que mostramos, desde muy temprano, una capacidad similar.

Más allá de su interés teórico para distintas áreas, la alteración de estas facultades constituye un desorden muy frecuente y discapacitante, ya que interfiere con gran parte de las actividades de la vida diaria, como comprender el precio de un artículo, dar un vuelta, buscar una dirección en la calle, emitir un cheque, marcar un número telefónico o leer la hora.

El primer caso publicado en el cual la capacidad de cálculo estaba afectada, con conservación de la inteligencia, fue descrito en 1908 por Lewandowsky y Stadelman. Pero fue Henschen quien acuñó el término “akalkulia” en el año 1919, para describir trastornos en las computaciones numéricas asociadas con daños cerebrales. Si bien es común hallar este tipo de alteración asociado con desórdenes del lenguaje (afasias), en su relevamiento de 305 casos hallados en la bibliografía y el estudio personal de 67 pacientes que evaluó él mismo, identificó un subgrupo de sujetos no afásicos o afásicos leves, cuyo déficit predominante consistía en un desorden del cálculo. Por ello infirió la existencia de un sustrato cerebral para las operaciones aritméticas, el giro angular, anatómicamente próximo aunque diferenciado del de la organización neural del lenguaje y la música.

En 1926, H. Berger, creador del electroencefalograma, presentó la primera clasificación de las acalculias, diferenciándolas entre “primarias o puras”, es decir, no subsidiarias de otras afecciones, y “secundarias” si resultaban de la desintegración de otras capacidades. En una serie de estudios publicados entre 1924 y 1957, Josef Gerstmann describió un síndrome - que actualmente lleva su nombre- constituido por cuatro alteraciones características: acalculia, desorientación izquierda-derecha, agrafia y agnosia digital. Él consideró que esta asociación de déficits reflejaba un mecanismo subyacente común: alguna forma de alteración del esquema corporal que afecta particularmente a manos y dedos. Así, especuló acerca del vínculo entre los números y el esquema corporal, destacando el rol de cada uno de los dedos y su lateralidad en la adquisición de funciones como la escritura y el cálculo.

En 1961, la publicación de dos trabajos provoca un vuelco cuali y cuantitativo en el estudio de la acalculia. En uno de ellos, Cohn estudia 40 pacientes, con los que consigue hacer una extensiva caracterización del cuadro clínico y una aproximación al modo de estudiarlo. En el otro, Hécaen, Anguerlergues y Houillier publican una

casuística de 183 casos de acalculia y proponen una nueva clasificación, estableciendo correlaciones lesionales.

Con el advenimiento de la Neuropsicología Cognitiva, especialmente en los años '80, el estudio de las acalculias ha hecho considerables progresos, particularmente el delineamiento de modelos cognitivos de procesamiento más refinados (Dehaene, 1992; Deloche y Seron, 1982 y Mc Closkey y cols., 1986).

Actualmente, se incluyen en el concepto de "acalculia" dificultades de distinto tipo: alteraciones semánticas que refieren a la magnitud que implica una cantidad expresada, déficits en la comprensión y expresión de números ya sea en forma verbal como arábigo y disturbios en la ejecución de cálculos matemáticos. Cada uno de estos componentes tiene un rol destacado en las neurociencias cognitivas de las habilidades numéricas y su estudio se vincula con la metodología utilizada y con las teorías resultantes de los estudios de cognición numérica realizados en animales, que incluyen mediciones conductuales, imágenes anatómicas y funcionales y técnicas electrofisiológicas (Butterworth, 1999; Dehaene y Cohen, 1995; Dehaene y cols., 2004).

2. Representación del número y procesos de transcodificación

El conocimiento del número comprende diferentes formatos bajo los cuales está representado en nuestro cerebro, y estas informaciones se almacenan en memorias de largo plazo. El formato representacional puede ser de tipo arábigo (45), verbal oral (/kuarentaisinko/) o verbal escrito (cuarenta y cinco) y un modo más abstracto ligado a la magnitud representada, independiente de los símbolos convencionales. Además de su función específica para referir cantidades, algunos numerales tienen una función nominal para referirse a conocimientos enciclopédicos como una fecha patria (25 de Mayo de 1810) o una línea de colectivos (Línea 60).

Los dos primeros tipos, arábigo y verbal, son específicos de los humanos adultos alfabetizados en una lengua dada y en un sistema numérico culturalmente definido. En contraste, la representación abstracta de la cantidad, crucial para todas las manipulaciones semánticas con números, puede ser compartida por niños (Feigenson y cols., 2004), adultos no alfabetizados (Pica y cols., 2004) y animales (Hauser y cols., 2003).

Aunque el conjunto de números es infinito, las memorias que contienen los sistemas de notación (arábigo/ alfabético) son finitas. La memoria de dígitos posee sólo diez signos (0 a 9), la de nombres de números también es reducida. Esta incluye un conjunto de 29 elementos en el caso del español, al que deben agregársele las llamadas ambigüedades sintácticas (mil, cientos) y la conjunción "y", ya que la gramática del sistema involucra un conjunto de reglas combinatorias que guían la concatenación de unidades para la conformación de cifras, cuya disposición de dígitos se organiza en función de dos variables: la *columna* y la *posición* dentro de la columna. Una columna constituye una forma de disponer elementos serialmente ordenados, en la que cada uno de ellos se identifica por su pertenencia a un tipo de

cantidad/espacio determinado (unidades, decenas, centenas) y su posición dentro de la columna.

Los tres códigos a los que nos referimos inicialmente (representación de la cantidad, representación nominal y representación arábica) están relacionados con los objetos externos a través de diferentes procesos de entrada y salida de información.

- La representación de las magnitudes o cantidades puede ser activada a partir de los otros dos tipos de representación y también extractando la magnitud de un conjunto de objetos o a través de la interpretación de una cantidad de *dedos*. Del mismo modo, podemos expresar cantidad sin apelar a formas verbales o arábicas, sino a través de gestos con las manos.
- La representación de los numerales arábigos en sí mismos se activa siempre desde un ingreso visual y la salida sólo puede ser escrita.
- Los nombres se activan entre sí y desde los otros dos códigos mencionados.

Esta información acerca de los números y cantidades, así como sus nombres, puede traducirse o transcodificarse de un formato representacional a otro. Así, podemos identificar los nombres de los números en forma auditiva o a través de la lectura, o producirlos en forma oral o escrita. Por ejemplo, para leer en voz alta el número arábigo 45 se requiere la identificación de cada dígito, junto con la posición que ocupa en la cadena, para luego recuperar del léxico la cuarta palabra de entre las que expresan decenas (cuarenta) y la quinta palabra entre aquellas que expresan unidades (cinco). Otros procesos de transcodificación están involucrados, por ejemplo, en la escritura en arábigos o numerales verbales al dictado o en la denominación de la cantidad de unidades presentes en conjuntos de objetos.

Si bien es común que se presenten alteraciones en la transcodificación de números asociadas a cuadros de afasia, alexia o agrafia, que dificultan diferenciar un cuadro de acalculia como alteración de una función específica, se han hallado disociaciones entre números y lenguaje en todos los niveles de procesamiento. Así, pacientes aléxicos puros conservan lectura y procesamiento de dígitos (Cohen y Dehaene, 1995) y otros que presentan alteraciones en la lectura de números conservan la lectura de palabras (Cipolotti, Warrington y Butterworth, 1995). Se han estudiado también sujetos agráficos y aléxicos que escriben y leen numerales arábigos (Anderson, Damasio y Damasio, 1990) y pacientes afásicos con jergafasia fonológica que producen nombres de números correctamente (Cohen, Verstichel y Dehaene, 1998)

3. El cálculo

Los dígitos se ordenan en diferentes cifras que luego se combinan entre sí por medio de cálculos matemáticos, dando lugar, a su vez, a nuevas cifras. Operaciones como la suma, resta, multiplicación y división conforman algoritmos básicos para la resolución de problemas de un amplio rango de complejidad. Parte o partes de estas operaciones involucran en diferente medida los códigos descriptos, por ejemplo, la recuperación de factores (tablas de multiplicar) resulta de un sobreaprendizaje escolar como una asociación verbal. Así, un problema tal como 5×9 , primero se traduce a

una representación verbal (cinco veces nueve) que permite la recuperación del resultado en una forma verbal (cinco veces nueve es cuarenta y cinco). Para la realización de cálculos más complejos como 987×345 , tiene ventaja la representación arábica de los números que es esencial para la aplicación de los algoritmos de cálculo multidígito.

Naturalmente, para coordinar estas habilidades elementales para la resolución de problemas, se requiere de una adecuada función ejecutiva, recursos atencionales suficientes y conservación de la memoria de trabajo.

4. Bases anatómicas

A través de estudios realizados en pacientes lesionados cerebrales y en sujetos normales, se han delimitado tres áreas corticales comprometidas con el procesamiento de los números en sus diferentes formatos.

La comprensión y expresión de números en formato verbal, así como la recuperación de factores aritméticos que resulta de una asociación verbal, se asientan en el área del lenguaje, ubicada en el hemisferio dominante - habitualmente el izquierdo-, en particular en el área de la arteria cerebral media, más precisamente el giro angular.

Los numerales arábigos son procesados en la corteza occipito-temporal ventral media. Estudios recientes muestran que el giro fusiforme es una estructura particularmente activa en este tipo de procesamiento (Cohen, 2000). Esta misma zona está implicada también en la categorización de objetos o palabras escritas, sólo que para los dígitos la activación es más bilateral que para las letras (Cohen y Dehaene, 1995; Pinel y cols.; 2001).

La representación abstracta de las cantidades, que permite la manipulación semántica de los números, involucra los segmentos horizontales de los surcos intraparietales de ambos hemisferios cerebrales. En la Figura 1 se representan esquemáticamente las bases cerebrales de los tres códigos de procesamiento numérico.

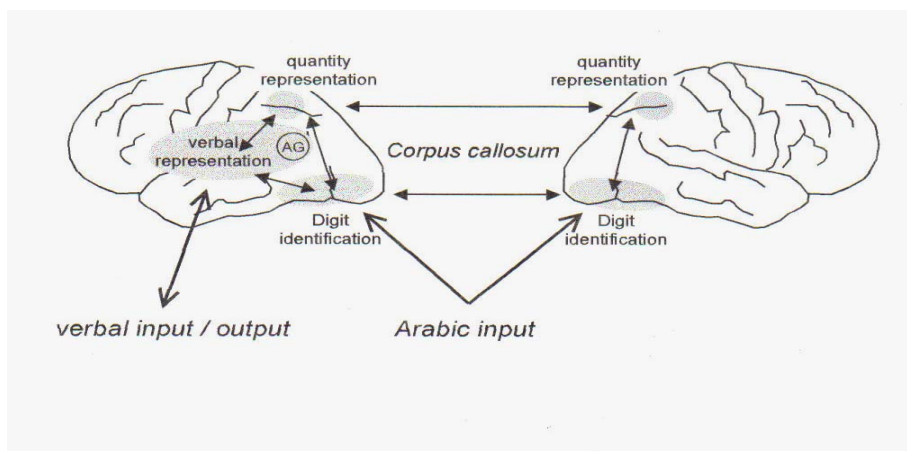


Figura 1. Representación esquemática de las bases cerebrales de los tres códigos de procesamiento numérico.

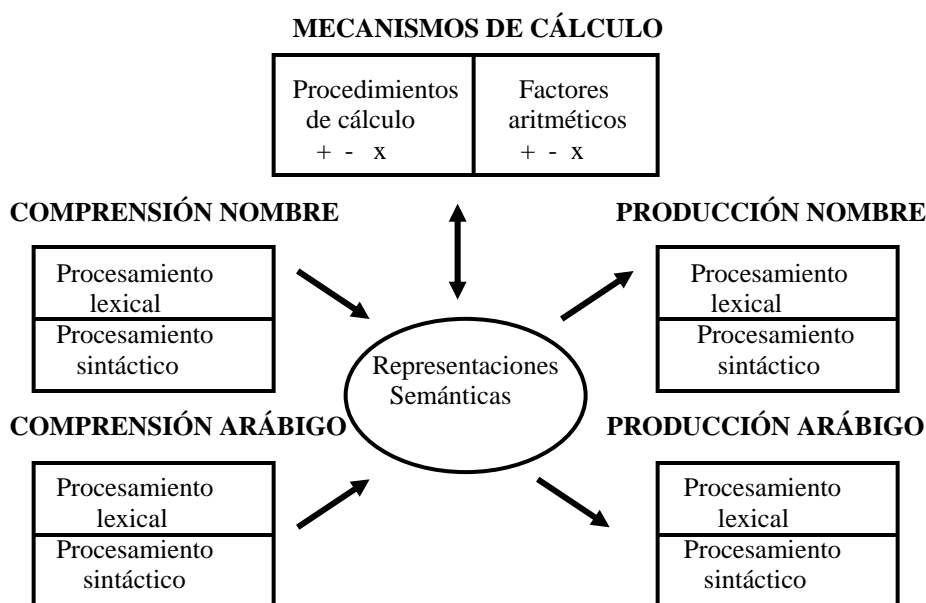
5. Modelos cognitivos de procesamiento del número y el cálculo

Actualmente, las investigaciones en el área toman como referencia principalmente dos modelos teóricos: uno de tipo funcional, desarrollado por McCloskey y cols. (1985) y otro que además de funcional aborda el sustrato neural de los componentes, propuesto por Dehaene y Cohen (1995).

5.1. Modelo cognitivo de McCloskey y cols. (1985)

McCloskey y cols. (1985) proponen un modelo cognitivo de funcionamiento normal para explicar los errores que producen los pacientes con acalculia (ver Gráfico 1). Basados en este modelo, Macaruso y cols. (1992) desarrollaron una metodología de estudio de los trastornos de las facultades matemáticas que ha permitido hallar múltiples confirmaciones empíricas. Temple (1997) utilizó el modelo para estudiar también las discalculias del desarrollo, y advirtió su utilidad para explicar y predecir las perturbaciones de los mismos procesos de adquisición de las facultades matemáticas básicas. El modelo es modular, y sus diferentes subcomponentes pueden ser alterados selectivamente como consecuencia de una lesión cerebral. En un sentido evolutivo, Temple toma dicho modelo de manera “no serial” o “no piagetiana”, es decir, que la adquisición de un subcomponente no solamente es disociable del resto sino que además no constituye un prerrequisito para las adquisiciones de los demás. En otras palabras, no es necesario completar toda una etapa para acceder a la siguiente.

Gráfico 1. Modelo de Procesamiento del Número de McCloskey, Caramazza y Basili (1985).



En el modelo se distinguen los siguientes componentes:

1. *Sistema de procesamiento del número.*

Dividido a su vez en:

- a. Un subsistema de *comprensión* que admite diferenciaciones entre el procesamiento del código arábigo en sus dimensiones léxica (dígito) y sintáctica (ubicación del dígito en la cadena de la cifra) y el procesamiento del código verbal, en sus modalidades oral (fonológica) y escrita (ortográfica), con un sistema sintáctico común.
- b. Un subsistema de *producción* con igual diferenciación.

2. *Un sistema de cálculo*

Dividido a su vez en:

- a. Un subsistema para el cálculo mental
- b. Un subsistema para el cálculo escrito.

Ambos incluyen la facultad de comprender los signos matemáticos, el acceso a los datos aritméticos básicos (tablas, sumas elementales) y el dominio de algoritmos para las operaciones básicas (mecanismos como “llevarse”, “pedir prestado”, “alinearse” y otros)

Una dificultad que presenta este modelo es el escaso desarrollo del sistema de comprensión, ya que aquí el significado es puramente el aspecto abstracto/cuantitativo y la forma de explorar esta instancia se reduce a la comparación de magnitudes entre numerales.

Los autores brindan como evidencia o corroboración de su propuesta teórica, dos estudios de caso aislado: los de los sujetos H.Y. y P.S., ambos lesionados cerebrales. (McCloskey, Sokol y Goodman, 1986).

El paciente H.Y presentaba un daño específico que afectaba a un solo componente del procesamiento: la *conversión arábigo - nombre oral*, y conservaba la capacidad para identificar dígitos y el acceso a la cantidad que éstos representan. Así, ante la pregunta “¿Cuántos huevos hay en una docena?” H.Y respondía escribiendo “12” y diciendo /dieciseis/. Los errores fueron consistentes mostrando siempre sustituciones de nombres con conservación de la sintaxis.

El paciente P.S presentaba alteraciones en la recuperación de factores aritméticos (tablas de multiplicar) aunque podía comprender y producir números en todas sus modalidades. Además, no presentaba alteraciones en la habilidad para llevar a cabo los procedimientos de cálculo, dado que sus fallas ante las operaciones eran producto de la mala recuperación de los resultados de las multiplicaciones básicas.

5.2. *Modelo de triple código de Dehaene y Cohen (1995)*

Este modelo, llamado por sus autores “neuro-funcional”, fue desarrollado inicialmente como un modelo cognitivo conformado por tres instancias representacionales o formatos de información numérica pasibles de ser manipulados mentalmente (Figura 2), al que más tarde agregaron evidencias acerca de los sustratos cerebrales de las representaciones.

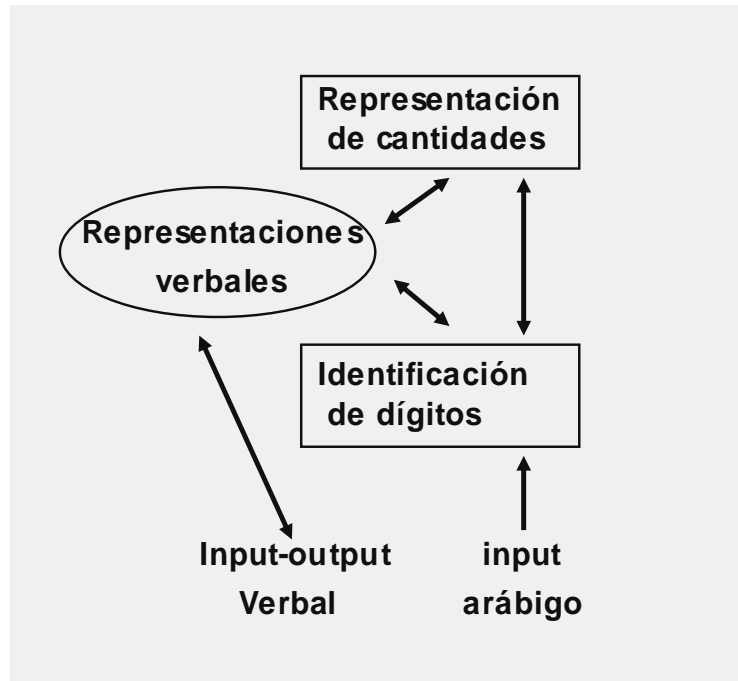


Figura 2. Esquema del Modelo de triple código (Dehaene y Cohen 1995)

Dehaene y Cohen (1995) proponen tres hipótesis funcionales:

1. Existencia de tres formatos de manipulación mental:

- a. *Representación analógica de cantidades*: números representados como distribución de activación en una línea de números (analógica), ligada a las áreas parietales inferiores derecha e izquierda. De aquí el modelo predice que estas áreas se activan en tareas de procesamiento cuantitativo, dependiendo de la magnitud y la distancia numérica, pero no de la modalidad de entrada y salida ni del tipo de notación utilizado.
- b. *Representación de números en formato Verbal*: números representados como conjuntos de palabras, como resultado de la activación de áreas perisilvianas del hemisferio izquierdo.
- c. *Representación de números en formato Árabe*: representación de la forma visual árabe que implica procesos de identificación visual ligados a los sectores occipito-temporales inferiores de ambos hemisferios cerebrales

2. Procedimientos diferentes de transcodificación:

Transcodificaciones asemánticas: (a diferencia de otros modelos modulares, estos autores se alinean con los modelos de rutas múltiples). El soporte a esta propuesta lo da el estudio de pacientes con alteración de lectura en voz alta de números arábigos pero con conservación de las representaciones semánticas subyacentes

3. Procesamientos como recorridos específicos entre códigos fijos de entrada y salida
 - a. *Comparación de magnitudes*: relevo sobre números codificados como cantidades en una línea de números.
 - b. *Multipliación y suma sencillas (tablas)*: memoria de asociaciones verbales entre números.
 - c. *Sustracción*: operación que utiliza la representación de la cantidad.
 - d. *Operaciones multidígito*: resolución mental a través del uso del código arábigo visual y la representación visual de dígitos alineados.

Este modelo es sustentado por los autores con estudios de caso aislado, como el del paciente MAR. (Dehaene y Cohen, 1997), quien mostraba dificultades en la comparación de números ante requerimientos tales como “¿Qué número esta entre el 2 y el 4?” Sin embargo podía responder sin dificultad a la pregunta “¿Qué letra está entre B y D?” o “¿Qué mes esta entre febrero y abril?” Se trataba aquí de un déficit de categoría específica y no de una dificultad para con un tipo de tarea. Al mismo tiempo, por ejemplo, la multiplicación simple estaba relativamente conservada.

Como puede observarse en el esbozo general de dos de los modelos teóricos más destacados sobre el tema, la capacidad para utilizar números en diferentes modalidades y los algoritmos combinatorios de los mismos que permiten la resolución de problemas de diferente complejidad conforman un campo de estudio particular. Los aportes actuales de las neurociencias a través de las investigaciones con imágenes funcionales y los de la neuropsicología cognitiva con los estudios clínicos de pacientes acalculicos, permiten corroborar los modelos propuestos y abrir nuevos interrogantes que dan lugar a la profundización del conocimiento en un área que, hasta hace muy poco tiempo, se hallaba supeditada al estudio de otras funciones.

Bibliografía

- Berger, H. (1926) Ueber Rechenstorungen bei Herderkrankungen des Grosshirns. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*: 78; 238-263.
- Butterworth, B. (1999) *The mathematical brain*. London: Macmillan
- Butterworth, B.; Cappelletti, M. y Kopelman, M. (2001) Category specificity in reading and writing: the case of number words. *Nature Neuroscience*; 4: 784-6.
- Caramazza, A. y McCloskey, M. (1987) Dissociations of calculation processes. En: G.D. and X. S. Editors. *Mathematical Disabilities: A cognitive neuropsychological perspective*. Hillsdale New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 221-234.
- Cipolotti, L.; Butterworth, B. y Denes, G. (1991) A specific deficit for numbers in a case of dense dyscalculia. *Brain* 114: 2619-2637.

- Cohen, L. y Dehaene, S. (2000) Calculating without reading: Unsuspected residual abilities in pure alexia. *Cognitive Neuropsychology*; 17: 563-583.
- Cohen, L. ; Dehaene, S.; Chochon, F.; Lehéricy, S. y Naccache L. (2000a) Language and calculation within the parietal lobe: A combined cognitive, anatomical and fMRI study. *Neuropsychologia*; 138: 1426-1440.
- Cohn, R. (1961) Dyscalculia. *Archives of Neurology*: 4; 301-307.
- Dansilio, S. (2001) Trastornos de las Facultades Matemáticas: Las acalculias y las discalculias. Publicación del Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia. Instituto de Filosofía Montevideo, Uruguay.
- Dansilio, S. (2001) Trastornos de las Facultades Matemáticas: Principios básicos del tratamiento. Publicación del Laboratorio de Neuropsicología. Inst. Neurología del Htal de Clínicas y F. de Medicina Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Dehaene S. (1992) Varieties of numerical abilities. *Cognition*; 44: 1-42.
- Dehaene, S. y Cohen, L. (1991) Two mental calculation systems: A case study of severe acalculia with preserved approximation. *Neuropsychologia*; 29:1045-1074.
- Dehaene, S. y Cohen, L. (1995) Towards an anatomical and functional model of Number Processing. *Mathematical Cognition*; 1: 83-120.
- Dehaene, S.; Dehaene-Lamberts, G y Cohen, L. (1998) Abstracts representations of numbers in the animal and human brain. *Trends of Neuroscience*; 21; 355-361.
- Dehaene, S.; Piazza, M.; Pinel, P. y Cohen, L. (2003) Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*; 20: 487-506.
- Delazer, M.; Lochy, A.; Jenner, C.; Domahs, F. y Benke, T. (2002) When writing 0(zero) is easier than writing O (o): a neuropsychological case study of agraphia. *Neuropsychologia*: 40: 2167-77.
- Deloche, G. y Seron, X. (1982) From one to 1: An analysis of a transcoding process by means of neuropsychological data. *Cognition*: 12: 119-149.
- Deloche, G. y Seron, X. (1984) Semantic errors reconsidered in the procedural light of stack concepts. *Brain and Language*: 21: 59-71.
- García-Orza, J.; León-Carrion, J. y Vega, O. (2003) Dissociating arabic numeral. Reading and basic calculation: a case study. *Neurocase*; 9: 129-139.
- Gerstmann, J. (1930) Symptomatologie der Hirnläsionen im Übergangsbereich der unteren Parietal und mittleren Occipitalwindung. *Nervenarzt*: 3; 691-695.
- Grafman, J. y Boller, F. ((1987) Cross Cultural approaches to the study of calculation. En: G. Deloche y X. Serón (Eds) *Mathematical disabilities: A Cognitive Neuropsychological Perspective*. Erlbaum: Hillsdale. Pp. 257-271.
- Hécaen, H.; Angerlergues, R.; Houillier, S. (1961) Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions retrorolandiques approche statistique du problème. *Revue Neurologique* : 105 ; 86-103.
- Henschen, S. E. (1919) Über Sprach-Musik-und Rechenmechanismen und ihre Lokalisationen im Grosshirn. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie*; 52; 273-298.

- Hittmair-Delazer, M.; Sailer, U. y Benke T. (1995) Impaired arithmetic facts but intact conceptual knowledge - a single case study of dyscalculia. *Cortex*, 31: 139-147.
- Langdon, D. W. y Warrington, E. K. (1997) The abstraction of numerical relations: a role for the right hemisphere in arithmetic? *Journal of the International Neuropsychological Society*, 3: 260-268.
- Lemer, C.; Dehaene, S.; Spelke, E. y Cohen, L. (2003) Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems. *Neuropsychologia*, 41: 1942-1958.
- Lewandowsky, M y Stadelman, E. (1908). Ueber einen bemerkenswerten. Fall von Hirnblutung und über Rechenstörungen bei Herderkrankung des Gehirns. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie*, 2; 249-265
- Macaruso P.; Harley, W. y McCloskey M. (1992) Assesment of aquired dyscalculia. En: D. I. Margolin (Ed) *Cognitive Neuropsychology in Clinical Practice*. Oxford University Press: New York pp.: 405-434.
- Macaruso, P.; McCloskey, M. y Alimososa, D. (1993) The functional architecture of the cognitive numerical-processing system: Evidence from a patient with multiple impairments. *Cognitive Neuropsychology*, 10: 341-376.
- McCloskey, M.; Sokol, S. M. y Goodman, R. A. (1986) Cognitive processes in verbal-number production: Inferences from the performance of brain-damaged subjects. *Journal of Experimental Psychology*, 115: 307-330.
- McCloskey, M.; Sokol, S. M.; Goodman, R. A.; Schulman, R. A. y Caramazza, A. (1990) Cognitive representations and processes in number production: Evidence from cases of acquired dyscalculia. En A. Caramazza (Ed) *Cognitive Neuropsychology and Neurolinguistics: Advances in Models of cognitive function and impairment*. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale. Pp 1-32.
- Noël, M. P. (2001). Numerical cognition. En: Rapp, B. Ed. *The handbook of cognitive neuropsychology*. Philadelphia: Psychology Press.
- Rosselli, M. y Ardila, A. (1989) Calculation deficits in patients with right and left hemisphere damage. *Neuropsychologia*; 27: 607-617.
- Seron, X. y Noël, M. P. (1995) Transcoding numbers from the arabic code to the verbal one or viceversa : How many routes ? *Mathematical Cognition* 1: 215-243.
- Shallice T. 1979. Case study approach in neuropsychological research. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 1; 183-211.
- Temple, C. (1992) Developmental dyscalculia. En: S.J. Segalowitz y I. Rapin (Eds.) *Handbook of Neuropsychology*, Vol.7 Elsevier: Holland. Pp. 211-222
- Temple, C. (1997) *Developmental cognitive neuropsychology*. Psychology Press: Hove.