



Una revisión de la neuroanatomía y neurofisiología del lenguaje

A review of the neuroanatomy and neurophysiology of language

Nizar El Imrani^{1,2,a}

RESUMEN

Este artículo de revisión intenta examinar las diferentes estructuras del sistema nervioso, tanto central como periférico, involucradas en el proceso del lenguaje. Tras cuestionar el modelo clásico que atribuye las funciones del lenguaje exclusivamente a las áreas de Broca y Wernicke, se presenta la hipótesis de que el lenguaje se basa en redes neuronales complejas interconectadas con áreas cognitivas. A punto de partida de la premisa de que todo estímulo es categorizable, es decir transformable y codificable en forma de lenguaje, se estipula que para una correcta interacción con el entorno y una comunicación lingüística fructífera, la coordinación, funcionamiento y comunicación entre diferentes estructuras neuroanatómicas son factores necesarios cuya descripción y explicación se presentan de manera sistemática.

PALABRAS CLAVE: Cerebro, lenguaje, percepción, memoria, áreas de Broca y Wernicke.

SUMMARY

The aim of this paper is to review the different structures of the nervous system, both central and peripheral, involved in the language process. The classical model in which language functions are attributed to and localized in the areas of Broca and Wernicke is questioned, and the hypothesis that language is based on interconnections of complex neural networks and cognitive areas, is presented. On the basis of the premise that every stimulus is categorizable, that is, transformable and codifiable in the form of language, it is stipulated that in order to reach a correct interaction with the surroundings and an effective linguistic communication, the coordination, functioning and communication between different neuroanatomical structures whose description and explanation are systematically presented, are much needed factors.

KEYWORDS: Language, brain, perception, memory, Broca's area, Wernicke's area.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo creemos pertinente revisar las estructuras neurológicas clásicas que históricamente se han relacionado con el lenguaje, es decir, las áreas de Broca y Wernicke. Con el auge de las técnicas en neuroimagen, se hace cada vez más evidente además de una revisión de dichas estructura, la introducción de otras e incluso del sistema nervioso periférico

como elemento a tener en cuenta en los procesos lingüísticos.

La lingüística cognitiva poco a poco se está consolidando como disciplina que se embebe de los últimos avances en neuroimagen revisando conceptos y dirigiéndose posiblemente hacia una visión más holística en el procesamiento del lenguaje.

¹ Institute of Roman Philology and Translation (IJRiT), University Of Silesia. Sosnowiec, Polonia.

² Departamento de Traducción e Interpretación, Universidad de Málaga. Malaga, España.

^a B.Sc. Physical Therapy Neurology. M.A. Translation. PhD Studies Cognitive Linguistics.

Escrutaremos estructuras neuroanatómicas como el sistema somatosensorial, la percepción (sus bases neurológicas), el sistema límbico, la memoria y procesos complejos como la ubicación espacial y temporal, y factual-contrafactual además de la polaridad. Todos estos elementos tienen una relación más o menos directa con el procesamiento lingüístico.

Visión clásica: Broca & Wernicke

Stowe et al., desmienten el modelo neurológico clásico de procesamiento del lenguaje en su trabajo con métodos de neuroimagen. Concretamente los siguientes conceptos:

- Existen solamente dos áreas primarias involucradas en el lenguaje: Broca y Wernicke,
- Las cuales están localizadas en el hemisferio izquierdo,
- Y están dedicadas a distintos aspectos del procesamiento del lenguaje y son específicas de éste.

Presentaremos evidencias provenientes de estudios recientes en neuroimagen y de la afasiología los cuales sugieren que cada una de las premisas anteriores es incorrecta. (1).

Como vemos propone una visión alternativa según la cual el lenguaje se basa en redes neuronales conectadas con áreas cognitivas. El procesamiento del lenguaje tiene componentes neurofisiológicos no específicamente lingüísticos los cuales son importantes y resultan indispensables para una correcta interacción y producción lingüística.

También hace un repaso de los estudios en neurología sobre las dos áreas: Broca y Wernicke basada en diferentes niveles lingüísticos.

Los estudios los dividiremos en dos: en los que no se activa el área de Broca y en los que no se activa el área de Wernicke a partir de Stowe et al., (1).

- Sin activación del área de Broca (2-5)
- Sin activación del área de Wernicke (5-16)

Nosotros manejaremos la hipótesis de que cada estímulo perceptible es categorizable y por lo tanto tiene una dimensión lingüística.

Las clasificaciones neuroanatomías y funcionales nos servirán de base para posteriores taxonomías. En otras palabras, la naturaleza del estímulo y cómo es este percibido, procesado, manipulado y comprendido son

los elementos clave hacia una representación a nivel neural susceptible de ser transformada en lenguaje. Creemos pertinente el escrutinio y análisis de todas las estructuras tanto recolectoras de información, transductoras relacionadas con la percepción, la cognición (categorización) y manipulativas (relacionadas con la memoria y el aprendizaje).

Fuentes de la información

Distinguiremos entre la información interna y la externa:

Externa

Sistema Somatosensorial

El sistema somatosensorial conecta el cerebro al entorno, con el exterior. Permite recibir, enviar e interpretar la información que nos viene del exterior (17).

Receptores sensoriales

Son estructuras del sistema nervioso capaces de transformar el estímulo (mecánico, luminoso, químico) en señales nerviosas (17).

Sin embargo hay que tener en cuenta que no toda la información que llega al cerebro proviene del exterior, sino que en parte nos viene del interior, del mismo cerebro e incluso del cuerpo.

Información Interna

Cuyas fuentes las dividiremos en sistema límbico y memoria. Veremos también que el sistema límbico tiene relación con la memoria.

Sistema límbico

Es un grupo de estructuras cerebrales que comprenden la amígdala, el hipocampo e hipotálamo entre otros, regula y procesa las emociones y la respuesta al estrés. Está íntimamente conectado al sistema endocrino y el sistema nervioso autónomo. (18-20).

López Mejía señala que la comunicación entre el hipocampo y la corteza cerebral (neocorteza) se lleva a cabo de manera recíproca. De esta forma, la neocorteza y el hipotálamo están en comunicación constante, y una estructura influye en la otra por medio del giro cingulado. Así, la comunicación se llevaría en el siguiente orden: la formación hipocampal procesa la

información que proviene del giro cingulado y la lleva hasta los cuerpos mamilares del hipotálamo vía fórnix (fibras que en parte sacan información del hipocampo). Al mismo tiempo, el hipotálamo envía información al giro cingulado por la vía cuerpos mamilares-núcleo talámico anterior (tracto mamilario talámico) y de aquí a la corteza frontal (21).

Memoria

En este punto escrutaremos algunas de las estructuras neuroanatómicas relacionadas con la memoria, muchas de estas estructuras están relacionadas directamente con el lenguaje:

- Corteza entorrinal

Esta estructura juega un papel importante en la formación de la memoria, en estudios neurogenéticos se ha establecido la relación del tamaño de dicha estructura con el Alzheimer (22) y utilizado el tamaño como indicador de estadios iniciales en el desarrollo del Alzheimer (23). Está relacionada con la memoria declarativa y la memoria especial.

Howard Eichenbaum resalta el papel de varias estructuras corticales implicadas en la memoria y la implicación del hipocampo (24).

- Lóbulos temporales

Se han relacionado con el aprendizaje y el lenguaje (25), recordemos que el área de Wernicke se sitúa en el lóbulo temporal izquierdo. Anomalías en el surco medial del l. temporal han sido relacionadas con las fases tempranas del Alzheimer (26). El surco superior temporal ha sido relacionado con disfunciones en el habla y disfunción social en el autismo (27).

- Subiculum (28).
- Cortex prefrontal dorsolateral: con funciones como planificación, atención y memoria de trabajo (22).
- Hipocampo (29,30).
- Sistema límbico: formación y almacenamiento memoria (31,32).
- Striatum: Estructura procesadora de la información y procesamiento de la memoria (33).

Percepción

La percepción es un fenómeno complejo integrado por varias estructuras cerebrales y atañe a estructuras

como la corteza somatosensorial (34, 35, 36), el lóbulo occipital y temporal, el tronco encefálico, el tálamo (37) y el cerebelo (38).

Estipularemos que dichas regiones además de su papel en la percepción, están relacionadas con el lenguaje, algunas de ellas de forma más directa.

Estudios han relacionado algunas de dichas partes con el lenguaje como en un caso clínico de déficit en el lenguaje en caso de lesión talámica (39). Al igual que el cerebelo y los ganglios basales en el procesamiento del lenguaje, además del control motor (40).

Ubicación espaciotemporal

Una vez percibida la información es ubicada en el espacio-tiempo y en el modo real-irreal. Es interesante resaltar que el cerebro ubica la información proveniente del exterior en el espacio y en el tiempo. Este proceso es inherente al cerebro. La literatura al respecto es muy amplia. Desde Levy (41) quien postuló que el hemisferio izquierdo analiza el tiempo y el derecho sintetiza el espacio hasta los trabajos a partir del 2000 en neurolingüística. El artículo de Lewis & Miall, empieza de la siguiente forma: *“Every action we take and every stimulus we perceive has a temporal dimension”* el artículo sigue haciendo referencia a los más de 20 trabajos al respecto publicados desde el 2000 (42). Warren et al., partiendo de la premisa de que cada estímulo es categorizable y definible desde el punto de vista lingüístico lanzan la hipótesis de que dichas estructuras están directamente relacionadas con el lenguaje (43).

La representación del espacio intrínsecamente al concepto de tiempo a nivel neural, como vemos desde los trabajos de Pellionisz y Llináz (44). El cerebro ubica la información con la que lidia en el espacio-tiempo, en un hiperespacio (45,46).

The concept of space-time representation in the brain is redefined using tensor network theory. We make the following suggestions. (a) In order to deal with the external world, the brain embeds the external space-time continuum into a high dimensional internal space. External space-time events are represented within the CNS in overcomplete, inherently oblique, reference frames where space and time information is detected as a continuum over each coordinate axis. (b) The central nervous system may be seen as imposing a geometry on this internal hyperspace in such

manner that neuronal networks transform inputs in a metric tensor-like manner (Pellionisz & Llináz, 1985).

Además, desde el punto de vista neuroanatómico cabe resaltar que las estructuras relacionadas con la ubicación espacial son el lóbulo parietal (47,48), el hipocampo (30) y el subíulum (33).

Las estructuras relacionadas con la ubicación temporal son las siguientes:

El tálamo, el circuito frontoestriar para estímulos tanto auditivos como visuales y el cerebelo (49, 50, 51).

Ubicación factual-contrafactual (real-irreal)

En un trabajo de Ferozee et al., (52) donde se monitoreó la actividad cerebral durante el proceso de mentir y decir la verdad se obtuvieron los siguientes resultados: actividad durante la verdad del lóbulo frontal (giro subcalloso izquierdo y núcleo lentiforme) y el temporal (giro inferior izquierdo) mientras que en la mentira se activaron la parte medial e inferior izquierda del lóbulo frontal, el lóbulo temporal (hipocampo derecho y giro temporal medio, lóbulo occipital (giro lingual izquierdo), cingulato anterior, giro fusiforme derecho y la ísula derecha sublobar (52).

Otro estudio pertinente relacionado con el procesamiento del binomio verdad-mentira es el de Zhao (53) compara el método clásico de detección de mentiras (polígrafo) basado en la respuesta neurovegetativa con métodos en neuroimagen.

Procesamiento

Numerismo: comparación y cálculo

Muchos estudios han determinado que la habilidad de comprender y producir números puede ser diferente a la del cálculo (54-58).

Cabe resaltar también la disociación entre comparación y cálculo. Pacientes con acalculia y afasia severa con lesiones en el hemisferio izquierdo incluso si no pueden nombrar, sumar, restar, multiplicar o dividir pueden diferenciar qué número es mayor, con la hipótesis de los autores de que el hemisferio derecho está involucrado en la comparación entre dos números (59).

Polaridad

Numerosos estudios han analizado las bases de la negación, elemento peculiar del lenguaje humano, entre los cuales se encuentran los trabajos de Carpenter (60-62).

Existe, al parecer una disociación entre las proposiciones negativas u afirmativas. Estipulando el autor que la negación es un operador, una operación adicional efectuada por el cerebro.

Según Kustowski et al., hay un incremento en la activación del cortex premotor izquierdo (área de Brodman) en la negación y en el giro supramarginal derecho para la afirmación. Finalmente se ha mostrado durante la afirmación cierta activación basal (default mode) del cortex cingulado (63).

Predicción

Otro elemento a tener en cuenta es la predicción. Bar, en su trabajo en neuroimagen ha determinado que una región, el cingulado posterior y el precúneo adyacente, la cual ha denominado región medial parietal misteriosa (MMPA, por sus siglas en inglés) (64). Está involucrada en lo que llamamos predicción. Nótese que el cingulado pertenece al sistema límbico, por lo que existen indicios de la existencia de la relación del sistema límbico con las predicciones.

El autor propone que el cerebro está continuamente generando predicciones que se aproximan a eventos futuros en vez de esperar pasivamente una activación por parte de las sensaciones. Dichas predicciones, concluye el autor, facilitan la percepción y la cognición.

CONCLUSIONES

En los últimos avances cada vez vemos que más estructuras neuroanatómicas están involucradas en el lenguaje. El procesamiento del lenguaje es una tarea muy compleja que no se ha de limitar, como ya ha quedado demostrado, a las áreas clásicas: Broca y Wernicke. La hipótesis más plausible para nosotros, es que el lenguaje se basa en redes neuronales complejas conectadas con áreas cognitivas, relacionadas con la memoria, la percepción entre otros fenómenos cognitivos que hemos descrito en el presente trabajo. Dichas redes, como hemos podido ver, son muy heterogéneas desde el punto de vista tanto anatómico como funcional. Finalmente cabe resaltar que a nuestro juicio urge el establecimiento de modelos

neurocognitivos basados en el tipo de estructuras neuroanatómicas involucradas que nos acerquen a una mejor comprensión del lenguaje en todos sus aspectos.

Conflictos de intereses: Ninguno.

Correspondencia:

Nizar El Imrani
 Spanish Department, University of Silesia
 Katowice, Bankowa 12, 40-007
 Katowice, Polonia.
 Correo electrónico: nizarimrani@hotmail.fr /
 nizarelimrani@uma.es

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Stowe L. Rethinking the neurological basis of language. *Lingua*. 2005; 115: 997-1042.
2. Paus T, Perry D, Zatorre R, Worsley K, Evans AG. Modulation of cerebral blood flow in the human auditory cortex during speech: role of motor-to-sensory discharges. *European Journal of Neuroscience*. 1996; 8: 2236–2246.
3. Friederici A, Opitz B, von Cramon Y. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: an fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex*. 2000; 10: 698-705.
4. Meyer M, Friederici A., von Cramon D. Neurocognition of auditory sentence comprehension: event-related fMRI reveals sensitivity to syntactic violations and task demands. *Cognitive Brain Research*. 2000; 9 (1): 19-33.
5. Suzuki K, Sakai KL. An event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anomalous sentences in contrast to implicit syntactic processing. *Cerebral Cortex*. 2003; 13 (5): 517-526.
6. Fiez J, Raife E, Balota D, Schwarz J, Raichle M. A positron emission tomography study of the short-term maintenance of verbal information. *Journal of Neuroscience*. 1996; 16: 808-822.
7. Schubotz RI, von Cramon DY. (2002). Predicting perceptual events activates corresponding motor schemes in lateral premotor cortex: an fMRI study. *Neuroimage*. 2002; 15 (4): 787-796.
8. Zatorre R., Meyer E, Gjedde A, Evans, A. PET studies of phonetic processing of speech: review, replication, and reanalysis. *Cerebral Cortex*. 1996; 6 (1): 21-30.
9. Paulesu E, Goldacre B, Scifo P, Cappa, S.F., Gilardi, M.C., Castiglioni, I., et al. (1997). Functional heterogeneity of left inferior frontal cortex as revealed by fMRI. *Neuroreport*. 1997; 8 (8): 2011-2017.
10. Gelfand J, Bookheimer S. Dissociating neural mechanisms of temporal sequencing and processing phonemes. *Neuron*. 2003; 38 (5): 831-842.
11. Petersen S, Fox P, Posner M, Mintun M, Raichle M. (1989). Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1989; 1: 153-170.
12. Cooke A, Zurif E, DeVita C, Alsop D, Koenig P, Detre J, et al. Neural basis for sentence comprehension: grammatical and short-term memory components. *Human Brain Mapping*. 2002; 15 (2): 80-94.
13. Inui T, Otsu Y, Tanaka S, Okada T, Nishizawa S, Konishi J. A functional MRI analysis of comprehension processes of Japanese sentences. *Neuroreport*. 1998; 9(14): 3325-3328.
14. Moro A, Tettamanti M, Perani D, Donati C, Cappa S, Fazio F. (2001). Syntax and the brain: disentangling grammar by selective anomalies. *Neuroimage*. 2001; 13 (1): 110-118.
15. Indefrey P, Brown C, Hellwig F, Amunts, K, Herzog H, Seitz R, et al. A neural correlate of syntactic encoding during speech production. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2001; 98: 5933–5936.
16. Stebbins G, Carrillo M, Dorfma J, Dirksen C, Desmond J, Turner A, et al. Aging effects on memory encoding in the frontal lobes. *Psychology and Aging*. 2002; 17 (1): 44–55.
17. Gleveckas-Martens N. *Somatosensory System Anatomy*. New York: Medscape; 2016. (Citado el 12 de Julio del 2017) Disponible en: <http://emedicine.medscape.com/article/1948621-overview>
18. Herman JP, Ostrander MM, Mueller NK, Figueiredo H. Limbic system mechanisms of stress regulation: hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis. *Int J Clin Pract*. 2007; 61(12):2030-40.
19. Maletic V, Robinson M, Oakes T, Iyengar S, Ball SG, Russell J. Neurobiology of depression: an integrated view of key findings. *Neurochem Res*. 2003; 28(11):1735-42.
20. Sapolsky RM. Stress and plasticity in the limbic system. *Acta Neurochir Suppl*. 2007; 97(Pt 2): 575-86.
21. López D, Valdovinos A, Méndez-Díaz M, Mendoza V. El sistema límbico y las emociones: Empatía en humanos y primates. *Psicología Iberoamericana*. 2009 17(2): 60-69.
22. Shaw LM, Vanderstichele H, Knapik-Czajka M, Clark CM, Aisen PS, Petersen RC, et al. Cerebrospinal fluid biomarker signature in Alzheimer’s disease neuroimaging initiative subjects. *Annals Neurology*. 2009; 65:403-413.
23. Bobinski M, de Leon MJ, Wegiel J, Desanti S, Convit A, Saint Louis LA, et al. The histological validation of post mortem magnetic resonance imaging-determined hippocampal volume in Alzheimer’s disease. *Neuroscience*. 2000; 95(3):721-5.
24. Eichenbaum H. Memory on time. *Trends Cognitive*

- Sciences. 2013;17: 81-88.
25. DeFelipe J, Alonso-Nanclares L, Arellano JI. Microstructure of the neocortex: comparative aspects. *J Neurocytol.* 2002;31(3-5):299-316.
 26. Lowndes G, Savage G. Early detection of memory impairment in Alzheimer's disease: a neurocognitive perspective on assessment. *Neuropsychology Rev.* 2007;17(3):193-202.
 27. Redcay E. The superior temporal sulcus performs a common function for social and speech perception: implications for the emergence of autism. *Neurosci Biobehav Rev.* 2008; 32(1):123-42.
 28. O'Mara SM, Sanchez-Vives MV, Brotons-Mas JR, O'Hare E. Roles for the subiculum in spatial information processing, memory, motivation and the temporal control of behaviour. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2009;33(5):782-90. doi:10.1016/j.pnpbp.2009.03.040
 29. Scheff SW, Price DA. (2006) Alzheimer's disease-related alterations in synaptic density: neocortex and hippocampus. *J Alzheimers Dis.* 2006;9(3 Suppl):101-15.
 30. Bird CM, Burgess, N. The hippocampus and memory: insights from spatial processing. *Nat Rev Neurosci.* 2008;9(3):182-94. doi: 10.1038/nrn2335.
 31. Izquierdo I, Medina JH, Bianchin M, Walz R, Zanatta MS, Da Silva RC, et al. Memory processing by the limbic system: role of specific neurotransmitter systems. *Behav Brain Res.* 1993;58(1-2):91-8.
 32. Catani M, Dell'acqua F, Thiebaut de Schotten M. A revised limbic system model for memory, emotion and behaviour. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37(8):1724-37. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.07.001.
 33. O'Mara S. The subiculum: What it does, what it might do, and what neuroanatomy has yet to tell us. *J Anat.* 2005;207(3):271-82.
 34. Flor H. Remapping somatosensory cortex after injury. *Adv Neurol.* 2003;93:195-204.
 35. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. 1 Touching the phantom limb. *Nature.* 1995; 377(6549): 489-90.
 36. Hodgetts S, Hodgetts W. Somatosensory stimulation interventions for children with autism: literature review and clinical considerations. *Can J Occup Ther.* 2007;74(5):393-400.
 37. Ro T1, Farnè A, Johnson RM, Wedeen V, Chu Z, Wang ZJ, et al. (2007) Feeling sounds after a thalamic lesion. *Ann Neurol.* 2007;62(5):433-41.
 38. Glickstein M. What does the cerebellum really do? *Curr Biol.* 2007;17(19):R824-7.
 39. Coscia DM1, Narr KL, Robinson DG, Hamilton LS, Sevy S, Burdick KE, et al. (2009). Volumetric and shape analysis of the thalamus in first-episode schizophrenia. *Hum Brain Mapp.* 2009; 30(4):1236-45. doi: 10.1002/hbm.20595
 40. Booth JR. The role of the basal ganglia and cerebellum in language processing. *Brain Research.* 2007;1133(1):136-44.
 41. Levy J, Sperry R. Differential perceptual capacities in major and minor hemispheres. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1968; 61:1161.
 42. Lewis, P. Miall, RC. Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging. *Curr Opin Neurobiol.* 2003;13(2):250-5.
 43. Meck WH, Benson AM. Dissecting the brain's internal clock: how frontal-striatal circuitry keeps time and shifts attention. *Brain Cogn.* 2002;48(1):195-211.
 44. Pellionisz A, Llinás R. Space-time representation in the brain. the cerebellum as a predictive space-time metric tensor. *Neuroscience.* 1982;7(12):2949-70.
 45. El Imrani N, Mendecki M. Representation in a space, a la Hilbert's space, of the Spanish past tenses P. P. S. & P. P. C. based on neurology and its application for Spanish foreign students. Madrid: Sociedad Española de Didáctica de la Lengua y la Literatura; 2012. p. 601-610.
 46. El Imrani N, Mendecki MJ. Expresión Matemática del P. P. S. y el P. P. C. en Base a la Neurolingüística. Varsovia: Estudios sobre el corpus PRESEEA; 2012.p. 13-23.
 47. Bisiach E, Luzzatti C, Perani D. Unilateral neglect, representational schema and consciousness. *Brain.* 1979;102(3):609-18.
 48. Trimble M. Body image and the parietal lobes. *CNS Spectr.* 2007;12(7):540-4.
 49. Meck WH. Neuropharmacology of timing and time perception. *Brain Res Cogn Brain Res.* 1996;3(3-4):227-42.
 50. Rakitin BC. Scalar expectancy theory and peak-interval timing in humans. *J Exp Psychol Anim Behav Process.* 1998; 24(1):15-33.
 51. Matell MS, Meck WH. Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2004;21(2):139-70.
 52. Mohamed FB, Faro SH, Gordon NJ, Platek SM, Ahmad H, Williams JM. Brain mapping of deception and truth telling about an ecologically valid situation: functional MR imaging and polygraph investigation-initial experience. *Radiology.* 2006;238(2):679-88.
 53. Langleben DD. Telling truth from lie in individual subjects with fast event-related fMRI. *Hum Brain Mapp.* 2005; 26(4): 262-72.
 54. Cohn R. Dyscalculia. *Arch Neurol.* 1961;4:301-7.
 55. Grewel F. Acalculia. *Brain.* 1952; 75: 397-407.
 56. Grewel F. The acalculias. In: Vinken P, Bruyn GW (Eds.). *Handbook of clinical neurology.* New York: Wiley; 1969.
 57. Henschen S E. *Über Sprach, Musik, und Rechenmechanismen und ihre Lokalisationen in*

- Grosshim. *Zietschrift fur die gesamte. Neurologie und Psychiatric.* 1919; 52: 273-298.
58. Hecaen H, Angelergues R, Houillier, S. Les varieties cliniques des acalculies au tours des lesions retrorolandiques: Approche statistique du probleme. *Revue Neurologique.* 1961;105: 85-103.
59. Dehaene S. Symbols and quantities in parietal cortex: Elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. *Attention & Performance.* 2007; 22: 527-574.
60. Carpenter PA, Just MA, Keller TA, Eddy WF, Thulborn KR. Time course of Fmri-activation in language and spatial networks during sentence comprehension. *Neuroimage.* 1999; 10: 216–224.
61. Hasegawa M, Carpenter PA, Just MA. An fMRI study of bilingual sentence comprehension and workload. *Neuroimage.* 2002; 15: 647-660.
62. Tettamanti M, Buccino G, Saccuman MC, Gallese V, Danna M, Scifo P, et al. Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *J Cogn Neurosci.* 2005;17(2):273-81.
63. Kuskowski MA, Malone SM, Kim SW, Dysken MW, Okaya AJ, Christensen KJ. Quantitative EEG in obsessive-compulsive disorder. *Biol Psychiatry.* 1993;33(6):423-30.
64. Bar M. The proactive brain: using analogies and associations to generate predictions. *Trends Cogn Sci.* 2007;11(7):280-9.

Recibido: 11/12/2017 Aceptado: 11/08/2018
--