

PREDICTIBILIDAD DE LOS COMPONENTES DE LA MEMORIA DE TRABAJO EN EL CÁLCULO MENTAL: UN ESTUDIO LONGITUDINAL EN NIÑOS ESCOLARIZADOS

PREDICTABILITY OF WORKING-MEMORY COMPONENTS IN MENTAL CALCULATION: A LONGITUDINAL STUDY OF SCHOOL CHILDREN

MAGDALENA LÓPEZ

CIIPME - CONICET y Universidad Católica Argentina, Entre Ríos, Argentina
magdalenalopez@gmail.com

Recibido: 11-04-2014. **Aceptado:** 26-07-2014.

Resumen: El presente estudio tuvo por objetivo profundizar en el conocimiento que se posee sobre la incidencia de los componentes de la memoria de trabajo (MT) en actividades de cálculo aritmético mental en niños. Para ello, se realizó un estudio longitudinal con una muestra de 90 niños escolarizados, a los que se evaluó durante tres años consecutivos (i.e., primero, segundo y tercer año de escuela primaria) respecto al desempeño en cada componente de la MT (i.e., (i) bucle fonológico, (ii) agenda viso espacial y (iii) ejecutivo central) y a su conocimiento en cálculo aritmético. El análisis de medidas repetidas demostró que los componentes de MT se desarrollan progresivamente. Además, el análisis de regresión múltiple indica que de los componentes de MT, el ejecutivo central es el principal predictor del cálculo durante los tres años consecutivos

Palabras clave: Aritmética, desarrollo, componentes de la memoria de trabajo, ejecutivo central.

Abstract: This study aimed to broaden knowledge about the role of Working Memory (WM) components in Arithmetic performance in children. To this end, we conducted a 3-year longitudinal study of a sample of 90 school-aged children, that was followed during the first, second and third year of primary school. All children were tested on measures of WM components (i. e., (i) phonological loop, (ii) visuospatial sketchpad and (iii) central executive) and arithmetic. Repeated Measures Analysis of Variance showed that WM components develop progressively. Besides, Multiple Regression

Analysis indicates that of the three WM components, the central executive is the main predictor of arithmetical performance during the three consecutive years.

Keywords: Arithmetic, Central executive, Development, Working Memory components.

1. Introducción

LA MEMORIA DE TRABAJO representa a la capacidad de mantener y manipular información *on line* para alcanzar un objetivo, reconociéndose su importancia para la comprensión del lenguaje, el razonamiento y el aprendizaje (Baddeley, 1992). Según Unsworth y Engle (2007), la memoria de trabajo es necesaria para (i) el control de respuestas automáticas e inhibir las interferencias y (ii) el mantenimiento y la recuperación de información de la memoria a largo plazo.

Actualmente, el modelo propuesto por Baddeley y Hitch (1974) representa la aproximación conceptual más aceptada para explicar el constructo de memoria de trabajo. En 1974, Baddeley y Hitch formularon un modelo multicomponente de memoria de trabajo integrado inicialmente por tres componentes: (i) el *ejecutivo central*, considerado un controlador atencional que actúa supervisando dos sistemas esclavos, (ii) el *bucle fonológico* y (iii) la *agenda viso espacial*. El *ejecutivo central* es el responsable del control atencional de la memoria de trabajo. Entre sus principales funciones se han destacado: la capacidad de coordinar el desempeño entre dos tareas separadas, el cambio o alternancia entre tareas, la capacidad para atender selectivamente a un estímulo e inhibir el efecto de información irrelevante y activar temporariamente representaciones de la memoria a largo plazo (Baddeley, 2006). El *bucle fonológico* permite mantener información acústica o verbal e incluye dos subcomponentes: el almacén fonológico y el repaso articulatorio. La *agenda viso espacial* mantiene y almacena información visual y espacial y se ha señalado que cumple un rol importante en la resolución de problemas viso espaciales.

El desarrollo de la memoria de trabajo sigue un curso postnatal que comienza en la temprana infancia y continúa durante la adolescencia (Luciana, Conklin, Hooper, y Yarger, 2005; Zald y Iacono, 1998). Específicamente, se ha demostrado que la estructura modular básica de la memoria de trabajo (según el modelo de Baddeley y Hitch, 1974) está presente desde los 6 años de edad y cada componente del modelo aumenta su capacidad hasta la adolescencia (Gathercole, Pickering, Ambridge, y Wearing, 2004).

2. Memoria de trabajo y aritmética

Algunos estudios han demostrado que existe una relación entre el funcionamiento ejecutivo y el desempeño aritmético (ver e.g., Bull, Epsy & Wiebe, 2008; Van der Sluis, de Jong & Van der Leij, 2007). En particular, de los diferentes componentes que integran el constructo de funciones ejecutivas, se ha destacado el rol central de la memoria de trabajo en el progreso académico (Gathercole & Pickering, 2000) y en el rendimiento aritmético. Además, los estudios que analizan esta relación han hallado consistentemente que los diferentes componentes del constructo de MT no actuarían con el mismo peso sobre las habilidades matemáticas. Entre éstos, se encuentran los siguientes:

(1) Holmes y Adams (2006) evaluaron una muestra de 148 niños y hallaron que de los componentes de MT, la agenda viso espacial y el ejecutivo central predicen las habilidades matemáticas.

(2) Bull, Epsy y Wiebe (2008) evaluaron una muestra de niños con una batería de tareas cognitivas durante el preescolar y, nuevamente, al ingresar a la escuela primaria, al finalizar el primer año y durante el tercer año de escolaridad primaria. Los autores hallaron que la memoria visual-espacial a corto plazo, y la memoria de trabajo predicen el rendimiento en matemáticas.

(3) Andersson (2008) evaluó una muestra de 141 niños de 9 y 10 años de edad y halló que la memoria de trabajo, y en particular, el componente ejecutivo central, predice el desempeño aritmético en niños, aún después de controlar la inteligencia, la edad y las habilidades lectoras de los mismos. Según el autor, la supervisión y coordinación de múltiples procesos, y el acceso al conocimiento aritmético desde la memoria a largo plazo, son funciones importantes del ejecutivo central que se ponen en juego durante el desempeño aritmético.

(4) De Smedt *et al.* (2009) evaluaron el desempeño en matemática, mediante un estudio longitudinal, a una muestra de niños al inicio del primer grado con tareas de MT, y en dos momentos posteriores, a los 4 meses y al inicio del segundo grado. Los autores hallaron diferencias según el componente del MT, siendo el central ejecutivo el único predictor del desempeño en matemáticas en el primero y en el segundo año.

(5) Finalmente, Van der Ven, Kroesbergen, Boom y Leseman (2012) evaluaron una muestra de niños en el primer y segundo año de primaria en cuatro

oportunidades diferentes y hallaron que la habilidad de “actualización” se relaciona fuertemente con el desarrollo matemático. Según los autores, la capacidad para almacenar y manipular información es un proceso vital en el aprendizaje de matemáticas, ya que para resolver problemas aritméticos se deben recordar las operaciones necesarias y los resultados parciales deben ser almacenados.

Si bien son diversos los estudios que han analizado la relación entre la memoria de trabajo y el conocimiento aritmético, en la actualidad persiste la escasez de estudios que analicen esta relación mediante diseños longitudinales. La ventaja de este diseño es que ofrece una mayor comprensión sobre la relación entre estos procesos, en tanto permite analizar la relación progresiva a lo largo del tiempo, es decir, permite conocer si esta relación es estática o evoluciona a lo largo de los años. Por otra parte, si bien se evidencian estudios que analizan la relación entre la MT y el cálculo aritmético en niños de habla inglesa (Bull, Epsy & Wiebe, 2008), sueco (Andersson, 2008) y de habla holandesa (Van der Ven, Kroesbergen, Boom & Leseman, 2012), a nuestro entender, no hay estudios longitudinales que analicen esta relación en niños de habla española.

3. El presente estudio

En función de lo expuesto, los objetivos del presente estudio fueron: (i) analizar el desarrollo de los componentes de MT; (ii) estudiar la relación entre los componentes de la MT y el desempeño en cálculo aritmético. En base a los resultados hallados en estudios previos se formularon las siguientes hipótesis:

1. Dado que diferentes estudios previos han demostrado que los componentes de la MT siguen un curso de desarrollo postnatal (Luciana, Conklin, Hooper & Yarger, 2005; Zald & Iacono, 1998) paralelo a la maduración del córtex prefrontal, se espera encontrar un incremento en el desempeño de MT con la edad, evidenciado por puntuaciones superiores a lo largo de las sucesivas evaluaciones.
2. Dada la evidencia provista por estudios previos respecto al papel primordial del componente ejecutivo central en el desempeño aritmético (Andersson, 2008; Smedt *et al.*, 2009), se hipotetiza que de los tres componentes de la MT analizados en el presente estudio, es el ejecutivo central el principal predictor, y que esta relación está presente durante los años de estudio.

3.1. Método

3.1.1. Participantes

Se trabajó con una muestra intencional de 90 niños (54 varones y 36 niñas) escolarizados pertenecientes a escuelas urbanas de gestión pública (46 sujetos) y privada (44 sujetos) de la provincia de Entre Ríos, Argentina. Los niños fueron evaluados en el ámbito escolar durante tres años consecutivos: (i) a los 6 años en el primer año, (ii) a los 7 años en el segundo año y (iii) a los 8 años de edad en el tercer año de escolaridad primaria. A partir de la información obtenida en el establecimiento escolar y por parte de los padres o tutores legales, los criterios de inclusión fueron los siguientes: 1. Niños que no presenten antecedentes clínicos, neurológicos ni psiquiátricos; 2. Que cursen sus estudios escolares con regularidad; 3. Sin repitencia escolar y sin necesidad de estudios pedagógicos correctivos.

3.1.2. Instrumentos

La administración de las pruebas estuvo sujeta a la propuesta por el manual de administración de cada test.

Bucle Fonológico: La prueba elegida para evaluar este componente fue el subtest Retención de Dígitos de la escala de Inteligencia WISC III (Wechsler, 1991). Esta prueba requiere principalmente del almacenamiento de información auditiva a corto plazo en la memoria de trabajo.

Ejecutivo Central: Se evaluó mediante el subtest Retención de Dígitos Inversos de la Escala de Inteligencia WISC III (Wechsler, 1991). Esta prueba evalúa la habilidad para mantener una cifra en la memoria, al mismo tiempo que se la reordena. Implica la manipulación activa de la información almacenada, requiriendo el funcionamiento del control ejecutivo de la memoria de trabajo.

Para Baddeley (1986) los dígitos directos requieren del bucle fonológico mientras que la tarea dígitos inversos demanda además el funcionamiento del ejecutivo central, ya que es una condición relativamente más exigente y que para conservar los dígitos en la mente es necesario manipular activamente. En este sentido, diversos autores han sugerido que ambas pruebas "Dígitos en orden Directo y Dígitos en orden Inverso" deben analizarse separadamente (Reynolds, 1997; Rosenthal, Riccio, Gsanger & Pizzitola Jarratt, 2006) puesto que parecen implicar diferentes componentes de la memoria de trabajo.

Agenda viso espacial: Para evaluar este componente se utilizó el Test de Copia y Reproducción de Memoria de Figuras Geométricas Complejas de Rey en su versión española (Rey, 1987). Este test consiste en la copia y reproducción memorística de un dibujo geométrico complejo. Una vez que se le presenta el modelo al sujeto se le solicitan dos tipos de actividades: primero debe copiar la figura con el modelo presente (fase de copia), después de transcurrido un período de tiempo se le pide al sujeto que reproduzca lo que recuerde sin tener el modelo a la vista y sin ningún tipo de ayuda verbal (fase de reproducción de memoria). Esta técnica evalúa habilidades viso motoras, percepción y memoria visual, y habilidades de planificación y organización. Además, el uso de la memoria de trabajo no verbal se involucra en la organización y reproducción de diseños complejos como la figura compleja de Rey-Osterrieth.

Cálculo: Para evaluar el desempeño en cálculo se utilizó el subtest Aritmética de la Escala de Inteligencia WISC III, que evalúa la resolución de problemas aritméticos (Wechsler, 1991). En este sub test el niño resuelve una serie de problemas aritméticos. Para cada ítem resuelve el problema mentalmente, sin usar lápiz y papel y responde oralmente dentro del tiempo límite.

3.1.3. Procedimientos

El presente trabajo es un estudio longitudinal en el que se realizaron tres evaluaciones anuales en el mismo período, a la mitad del año escolar. Una vez obtenido el consentimiento de los padres o cuidadores legales de los niños se procedió con la administración de las pruebas en forma individual. En todo momento se otorgó libertad a los niños para participar o interrumpir la evaluación cuando ellos lo desearan.

3.1.3.1. Procedimientos estadísticos

Para analizar el desarrollo de los componentes de MT según la edad se realizó un Análisis de Varianza de medidas repetidas. Para conocer qué componentes de la MT predicen el desempeño en cálculo aritmético y si existen diferencias a lo largo de los años se llevaron a cabo Análisis de Regresión Múltiple por pasos sucesivos. El procesamiento y análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versión 19.0.

4. Resultados

4.1. Desarrollo de los componentes de la memoria de trabajo

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los componentes de la MT a las diferentes edades.

Edades	6 años		7 años		8 años		n=
	Media	Desv.	Media	Desv.	Media	Desv.	
Bucle Fonológico	6,97	2,19	6,69	1,64	7,34	1,59	90
Agenda Viso espacial.	16,12	4,27	19,18	5,59	24,21	6,63	90
Ejecutivo Central	2,67	1,17	3,59	1,14	4,44	1,08	90

Se encontró un efecto significativo de la edad en el desempeño de MT (F de Hotelling (6, 84) = 108, 057, $p < .001$). Específicamente, este efecto se halló para el componente bucle fonológico $F(2, 178) = 9,234$, $p < .001$), el componente agenda viso espacial $F(2, 178) = 194,399$, $p < .001$), y el componente ejecutivo central $F(2, 178) = 126,610$, $p < .001$). A mayor edad, mayor puntuación en los componentes de la memoria de trabajo. Tal como se evidencia en la Figura 1, 2 y 3, se halló un efecto lineal a través del tiempo en cuanto al componente agenda viso espacial ($p < .001$) y al componente ejecutivo central ($p < .001$). Sin embargo, el componente bucle fonológico parecería ajustarse mejor a un componente cuadrático ($p < .001$), sin diferencias significativas entre los 6 y los 7 años.

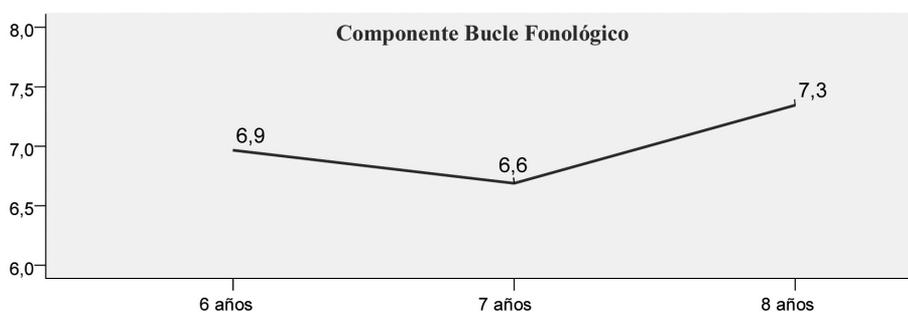


Figura 1. Desarrollo del componente de MT bucle fonológico.

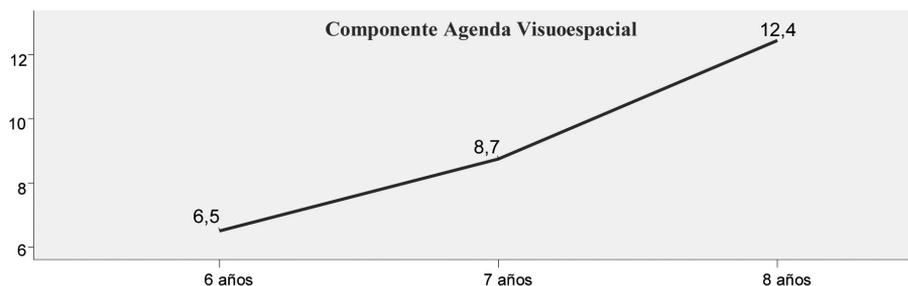


Figura 2. Desarrollo del componente de MT Agenda Viso espacial.

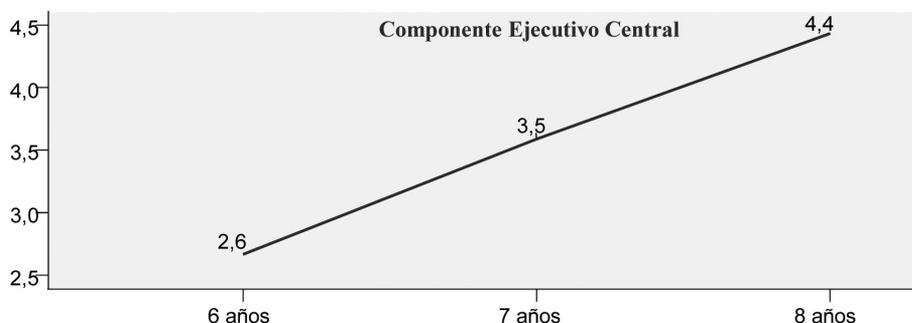


Figura 3. Desarrollo del componente de MT Ejecutivo Central.

4.2. Relación entre los componentes de MT y el cálculo aritmético

Se analizó la relación entre los componentes de MT y el desempeño en aritmética en las tres edades. Los resultados indican que el componente ejecutivo central es el principal predictor del cálculo verbal, comportamiento que se observó durante los tres años de estudio; el primer grado ($\beta = .53$, $p < .001$), el segundo grado ($\beta = .59$, $p < .001$) y el tercer grado ($\beta = .44$, $p < .001$) como presentamos en las siguientes tablas.

Tabla 2. Coeficientes de regresión y significación del componente ejecutivo central a los 6 años.

	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>Cambio R</i> ²	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
6 años						
Modelo 1 Ejecutivo Central	.528	.279	.272	.528	6, 25	.000

Tabla 3. Coeficientes de regresión y significación del componente ejecutivo central a los 7 años.

	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>Cambio R</i> ²	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
7 años						
Modelo 1 Ejecutivo Central	.596	.356	.356	.596	7,12	.000

Tabla 4. Coeficientes de regresión y significación del componente ejecutivo central a los 8 años.

	<i>R</i>	<i>R</i> ²	<i>Cambio R</i> ²	<i>Beta</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
8 años						
Modelo 1 Ejecutivo Central	.442	.196	.196	.442	4,62	.000

5. Discusión

El objetivo del presente trabajo fue analizar la relación entre la MT y la aritmética mental en niños escolarizados. Dada la naturaleza multicomponente de la MT, específicamente se buscó estudiar qué componente de MT predice el rendimiento en una tarea de cálculo aritmético y si existen diferencias en cuanto a esta relación según el transcurso de los años.

En relación al primer objetivo, sobre el desarrollo de la MT, se halló un incremento lineal en función de la edad principalmente en cuanto a los componentes agenda viso espacial y central ejecutivo.

Los datos ya existentes sobre el desarrollo de la memoria de trabajo plantean que la misma mejora sustancialmente durante la infancia (Gathercole, 1998, Luciana & Nelson, 1998; Zald & Iacono, 1998), y que cada componente del modelo aumenta su capacidad hasta la adolescencia (Gathercole *et al.*, 2004). Este incremento en el desempeño de tareas de MT en función de la edad estaría asociado a los diferentes procesos de maduración cerebral que acontecen durante el período postnatal. Entre éstos se han registrado cambios en la sustancia blanca (Giedd *et al.*, 1999; Paus *et al.*, 1999) y sustancia gris cortical (Giedd *et al.*, 1999; Gogtay *et al.*, 2004), en los procesos de mielinización cerebral (Sowell, Thompson, Tessner & Toga, 2001; Sowell *et al.*, 2004), en los procesos sinápticos (Huttenlocher & Dabholkar, 1997), en las conexiones interhemisféricas (Thompson *et al.*, 2000) y en el metabolismo cerebral (Chugani, 1999). Según Klingberg, Forsberg, y Westerberg

(2002), el desarrollo funcional de las regiones frontales y parietales cumple un rol importante para el desarrollo de la memoria de trabajo viso espacial durante la infancia.

Respecto al segundo objetivo, encontramos que el componente ejecutivo central es el principal predictor del cálculo durante los tres años de estudio. Estos resultados son consistentes con los resultados informados en estudios previos (ver e.g., Andersson, 2008; De Smedt *et al.*, 2009; Lemaire, Abdi & Fayol, 1996) y dan cuenta de la importancia de la MT y en particular, del ejecutivo central para la resolución de cálculos aritméticos, en este caso mentales. Según la bibliografía la recuperación rápida de hechos numéricos y las habilidades para resolver problemas complejos, que implican operaciones básicas, diferencian a los niños con buen y mal rendimiento en matemáticas, siendo éstas funciones del componente ejecutivo central de la memoria de trabajo (López, 2013).

A manera de conclusión podemos decir que, en consistencia con estudios previos, nuestros datos indican que la MT se desarrolla progresivamente durante la niñez y apoyan la hipótesis que propone al componente *ejecutivo central* como el principal predictor del rendimiento en cálculo aritmético en niños.

Referencias bibliográficas

- Andersson, U. (2008). Working memory as a predictor of written arithmetical skills in children: The importance of central executive functions. *British Journal of Educational Psychology*, 78, 181-203.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working memory. En G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (vol. 8, pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D. (2006). Working memory: an overview. En S. Pickering (Ed.), *Working Memory and Education* (pp. 1-31). New York: Academic Press
- Bull, R., Espy, K., & Wiebe, S. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33, 205-228.
- Chugani, H. T. (1999). Metabolic imaging: A window on brain development and plasticity. *The Neuroscientist*, 5, 29-40.
- De Smedt, B., Janssen, R., Bouwens, K. & Verschaffel, L. (2009). Working memory and individual differences in mathematics achievement: A longitudinal study

- from first grade to second grade. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 186-201.
- Gathercole, S. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 3-27.
- Gathercole, S. & Pickering, S. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70, 177-194.
- Gathercole, S., Pickering, S., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177-190.
- Giedd, J., Blumenthal, J., Jeffries, N., Castellanos, F., Liu, H., Zijdenbos, A., et al. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863.
- Gogtay, N., Giedd, J., Lusk, L., Hayashi, K., Greenstein, D., Vaituzis A., et al. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 8174-8179.
- Holmes, J & Adams, J. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology*, 26, 339-366.
- Huttenlocher, P. & Dabholkar, A. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *J Comp Neurol*, 387, 167-78.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuo-spatial working memory capacity during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 1-10.
- Lemaire, P., Abdi, H. & Fayol, M. (1996). The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 8, 73-103.
- López, M. (2013). Rendimiento académico: su relación con la memoria de trabajo. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 13 (3), 1-19.
- Luciana, M., Conklin, H., Hooper, C., & Yarger, R. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712.
- Rey, A. (1987). *Test de copia de una figura compleja*. Madrid: TEA.
- Reynolds, C. (1997). Forward and backward memory span should not be combined for clinical analysis. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 12, 29-40.
- Rosenthal, E., Riccio, C., Gsanger, K. & Pizzitola Jarratt, K. (2006). Digit Span components as predictors of attention problems and executive functioning in children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21, 131-139.
- Sowell, E., Thompson, P., Leonard, C., Welcome, S., Kan, E. & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *The Journal of Neuroscience*, 24, 8223-8231.
- Sowell, E., Thompson, P., Tessner, K., & Toga, A. (2001). Mapping continued brain growth and gray matter density reduction in dorsal frontal cortex: Inverse

- relationships during postadolescent brain maturation. *The Journal of Neuroscience*, 21, 8819-8829.
- Thompson, P., Giedd, J., Woods, P., MacDonald, D., Evans, A. & Toga, A. (2000). Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps. *Nature*, 404, 190-193.
- Unsworth, N. & Engle, R. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114, 104-132.
- Van der Sluis, S., de Jong, P. & Van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427-449.
- Van der Ven, S., Kroesbergen, E., Boom, J. & Leseman, P. (2012). The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 82, 100-119.
- Wechsler, D. (1991). *Wechsler Intelligence Scale for Children-Third Edition*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
- Zald, D. & Iacono, W. (1998). The development of spatial working memory abilities. *Developmental Neuropsychology*, 14, 563-578.