

# M

## **Memoria de trabajo visoespacial evaluada a través de los Cubos de Corsi: cambios con relación a la edad**

**Correspondencia:** Dr. Miguel Ángel Guevara. Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta. Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo 180, Col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jal. MÉXICO. C.P. 44130 Fax: (52) (33) 37771150, ext. 33362. Correo electrónico: [mguevara@cencar.udg.mx](mailto:mguevara@cencar.udg.mx)

### **Agradecimientos:**

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas a los estudiantes de posgrado del Instituto de Neurociencias que participaron en la realización del presente trabajo.

### **Miguel Ángel Guevara**

Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta. Instituto de Neurociencias. CUCBA, Universidad de Guadalajara.

### **Marisela Hernández González**

Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva. Instituto de Neurociencias. CUCBA, Universidad de Guadalajara.

### **Jorge Carlos Hevia Orozco, Lucía Ester Rizo Martínez & Mayra Linné Almanza Sepúlveda**

Doctorado en Ciencia del Comportamiento, opción Neurociencia. Instituto de Neurociencias. CUCBA, Universidad de Guadalajara.

### **Resumen**

Se ha postulado que el desarrollo de la memoria de trabajo está en correspondencia directa con la maduración de la corteza prefrontal (CPF), la cual alcanza su madurez alrededor de la tercera década de la vida. El presente trabajo fue desarrollado con la finalidad de explorar la eficiencia de la memoria de trabajo en relación con algunos periodos de maduración de la CPF a través de la ejecución de los Cubos de Corsi en secuencia inversa. Participaron 36 varones divididos en 3 grupos (n=12), grupo 1 (G1): 11-13 años; grupo 2 (G2): 18 -20 años y grupo 3 (G3): 26 a 30 años de edad. Los grupos G2 y G3 presentaron un

mayor número de aciertos y un mayor número de elementos retenidos en la memoria con respecto al grupo G1. Sólo el grupo G3 mostró un menor tiempo total de ejecución con respecto al G1. Estos resultados otorgan nueva evidencia de que la correcta ejecución de los Cubos de Corsi se alcanza al inicio de la adultez (18 -20 años), mientras que la eficiencia en la memoria de trabajo visoespacial se obtiene hasta el final de la tercera década de la vida (26 a 30 años de edad). Estos hallazgos se suman a la propuesta de que la memoria de trabajo visoespacial presenta un desarrollo gradual conforme a la edad.

*Palabras clave:* memoria de trabajo, visoespacial, Cubos de Corsi, ontogenia, maduración.

### **Age-related changes in visuospatial working memory as assessed by the Corsi Block-Tapping Task**

#### **Abstract**

It has been proposed that the development of working memory proceeds in a direct correspondence with the maturation of the prefrontal cortex (PFC), an area of the brain that reaches maturity around the third decade of life. The present study was carried out in order to explore the efficiency of working memory in relation to certain periods

of the maturation of the PFC through implementation of the inverse sequence of the Corsi Block-Tapping task. Participants in this experiment were 36 men divided into 3 groups (n = 12): group 1 (G1), 11-13 years of age; group 2 (G2), 18-20 years; and group 3 (G3), 26-30 years. G2 and G3 had higher numbers of correct trials and more elements retained in memory compared to G1. However, only G3 showed a lower total runtime than G1. These results provide additional evidence that adequate performance of the Corsi Block-Tapping task is not attained until the stage of early adulthood (18-20 years), while the efficiency of visuospatial working memory is not achieved until the end of the third decade of life (26-30 years); findings that lend further support to the proposal that visuospatial working memory develops gradually with aging.

*Keywords:* working memory, visuospatial, Corsi Block-Tapping task, ontogeny, maturation.

#### **Introducción**

La memoria de trabajo es un proceso que permite retener y manipular la información en el corto plazo, con el propósito de guiar las respuestas y conductas futuras (Baddeley, 1998). Dado que este proceso se ha relacionado con el desarrollo de la inteligencia, la

adquisición de conocimientos y habilidades nuevas (Gathercole & Pickering, 2001), se ha convertido en uno de los constructos centrales en las teorías de la cognición (Daneman & Carpenter, 1980), por lo que es de interés para las neurociencias investigar su ontogenia.

Uno de los modelos de memoria de trabajo más influyentes es el desarrollado por Baddeley y Hitch (1974) el cual propone un sistema jerárquico de multicomponentes que incorpora de manera separada un sistema verbal y otro visoespacial que retroalimentan al ejecutivo central, el cual provee recursos atencionales a estos sistemas.

Este modelo teórico tiene sus bases en un circuito neural que involucra primordialmente a la corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL) y su asociación con la corteza parietal posterior, la corteza temporal, el cíngulo anterior, el hipocampo y los ganglios basales (Luciana & Nelson, 1998; Curtis, Zald & Pardo, 2000).

Es importante destacar que la CPF DL es una de las últimas áreas cerebrales en alcanzar su total madurez (Klingberg, Vaidya, Gabrieli, Moseley & Hedeus, 1999; Sowell, Thompson, Holmes, Jernigan & Toga, 1999; Sowell, Trauner, Garnst & Jernigan, 2002; Sowell, Thompson, Leonard, Welcome, Kan & Toga, 2004). Si

bien comienza a desarrollarse desde el útero, su maduración continúa hasta que está bien establecida la adultez. No obstante hay ciertos periodos de la vida que resultan críticos para su maduración. Se ha puesto especial interés al desarrollo estructural y funcional a través de la primera infancia (periodo prenatal hasta los 2 años), debido a la importante sinaptogénesis y el inicio de mielinización que se observa durante esta etapa (Sowell, Peterson, Thompson, Welcome, Henkenius & Toga, 2003). Estudios han reportado que alrededor de los 7 meses el infante es capaz de detectar los objetivos en determinados eventos, lo que se considera como las primeras señales del procesamiento de la memoria de trabajo (Bartsch & Wellman, 1989; Flavell, 1999).

Sin embargo, es el periodo de los 11 a los 13 años de edad cuando se marca un tiempo de cambios significativos en el desarrollo de materia gris cortical en el lóbulo frontal (De Luca & Leventer, 2008). Mientras tanto, la materia blanca continúa su desarrollo y mielinización de manera sostenida (Rapoport et al., 1999). De ese periodo en adelante el volumen de materia gris disminuye lentamente, en primer lugar como parte de un proceso de poda, que permite, durante la etapa adulta, optimizar la conexión sináptica en el circuito

frontal (Sowell et al., 2003). Es entre los 20 y 30 años cuando se observa una mielinización casi completa, proceso que ha sido considerado un índice de la maduración cortical. El cambio cerebral en la mielina postero-anterior se ha correlacionado con el desarrollo de las funciones cognitivas (Giedd, et al., 1999). Diversos estudios han sugerido que de entre los 24 a los 30 años se observa una maduración de la memoria de trabajo (De Luca, et al., 2003).

A partir de esta evidencia es que se ha propuesto que la ejecución de la memoria de trabajo está en correspondencia directa con la maduración de la CPF (Casey, Giedd & Thomas, 2000). Si bien diversos trabajos han estudiado el desarrollo de la memoria de trabajo a través de la edad (Pickering, Gathercole, Hall & Lloyd, 2001; Logie & Pearson, 1997; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989; Luciana, Conklin, Hooper & Yarger, 2005; Luna, Garber, Urban, Lazar & Sweeney, 2004) aún no se ha investigado a detalle la relación entre la ontogenia de la memoria de trabajo y algunos periodos de maduración de la CPF que, en base a los estudios anteriormente mencionados, se podrían dividir de la siguiente manera: entre los 11 y 13 años de edad la CPF aún presenta características de inmadurez (Braver, Cohen, Nystrom,

Jonides, Smith & Noll, 1997; Kwon, Reiss & Menon, 2002), hasta la tercera década de la vida, de los 26 a los 30 años de edad, la maduración cortical es casi completa (De Luca & Leventer, 2008), en tanto que la edad de entre 18 a 20 años se considera una edad intermedia entre estos dos periodos.

Para la evaluación de la memoria de trabajo de tipo visoespacial se han empleado diferentes tareas. Una de las más utilizadas es la tarea Cubos de Corsi, la cual fue desarrollada como una contraparte visoespacial de las tareas de memoria verbal inmediata, en orden progresivo (Corsi, 1972). A partir de entonces se han realizado varias modificaciones tanto en el diseño de la prueba como en el número, el tamaño y la colocación de los cubos, así como en el ritmo de administración, las secuencias, el orden de señalamiento de los cubos y los métodos de calificación (Berch, Huha & Krikorian, 1998).

Diversos estudios han reportado que ejecutar Cubos de Corsi en orden inverso permite evaluar la memoria de trabajo y además activa áreas cerebrales relacionadas con la manipulación de la información, tales como las cortezas prefrontal dorsolateral y parietal posterior, mientras que la secuencia directa activa zonas ventrolaterales de la corteza prefrontal (Crone,

Wendelken, Donohue, van Leijenhorst & Bunge, 2006). Asimismo se ha reportado que el proceso de manipulación y la carga atencional son procesos relacionados con la memoria de trabajo (Baddeley, 2010). Con respecto al orden inverso, se ha propuesto que, a diferencia del orden directo, el primero produce una manipulación de la información al asignar nuevas posiciones al orden de las objetos obtenidos del medio ambiente; esto es, una transformación mental de la representación de los estímulos lo cual requiere una mayor demanda de atención y aumenta la probabilidad de decaimiento de las representaciones al requerir más tiempo de evaluación (Rosen & Engle, 1997).

En la mayoría de estudios donde se aplica Cubos de Corsi para evaluar la memoria de trabajo visoespacial se consideran sobre todo los parámetros de *span* y número de aciertos (o errores), sin embargo, se desconoce la relación entre la eficiencia de ejecución (medida por la velocidad de procesamiento) y la edad de los individuos. Así, con el fin de determinar si la eficiencia de la memoria de trabajo visoespacial cambia en relación con la maduración de la CPF, en este trabajo se comparó la ejecución en los Cubos de Corsi (secuencia

inversa) en varones de tres diferentes edades.

## **Método**

### *Participantes*

En este estudio participaron 36 voluntarios varones divididos en tres grupos según su edad: grupo 1 (G1) 12 participantes entre 11 y 13 años, ( $X=11.83$ , D.E.  $\pm 0.965$ ), grupo 2 (G2) 12 participantes entre 18 y 20 años, ( $X=19.3$ , D.E.  $\pm 0.778$ ) y grupo 3 (G3, 12 participantes entre 26 y 30 años, ( $X=28$ , D.E.  $\pm 1.765$ ).

### *Criterios de inclusión*

Los participantes fueron reclutados en escuelas primarias o secundarias particulares o en centros universitarios de la Universidad de Guadalajara bajo los siguientes criterios: diestros, sin antecedentes de patologías psiquiátricas, neurológicas o enfermedades crónicas, sin tratamiento médico actual, con coeficiente intelectual (CI) con puntuación superior a 80, medido con la versión abreviada (diseño de cubos y vocabulario) del Wechsler Intelligence Scale for Children IV (WISC-IV) (Wechsler, 2003) para el grupo 1 y por el Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS) (Wechsler, 1997) para los grupos 2 y 3. Así como parámetros normales a normales altos en atención y memoria, valorados por la Evaluación Neuropsicológica Breve

en Español (NEUROPSI ATENCIÓN Y MEMORIA) sub pruebas detección visual (rango normal 4-24), detección de dígitos (rango normal 4-10), series sucesivas (rango normal 0-3), retención de dígitos (orden

progresivo [rango normal 4-9] y regresivo[rango normal 2-8]) (Ostrosky-Solis, Gómez, Matute, Roselli, Ardila & Pineda, 1997) (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Medias  $\pm$  2 D.E. de las puntuaciones de los criterios de inclusión que definen las características de los participantes que integraron los diferentes grupos de este estudio.

	G1		G2		G3	
	X	D.E.	X	D.E.	X	D.E.
Edad promedio	11.83	$\pm$ .965	19.3	$\pm$ .778	28	$\pm$ 1.765
CI (WISC-IV/WAIS)	96.16	+ 11.429	103.25	+ 8.335	103.75	+ 9.836
Detección visual	14	$\pm$ 2.906	18.5	$\pm$ 2.570	19.33	$\pm$ 3.525
Detección de dígitos	9.33	+ .739	9.5	+ .515	9.5	+ .515
Series sucesivas	2.1	$\pm$ 1.030	2.1	$\pm$ .905	2.8	$\pm$ 1.165
RET (progresivo)	5.41	+ .996	5.33	+ .985	5.83	+ 1.030
RET (regresivo)	3.91	$\pm$ 1.165	4.41	$\pm$ .669	3.75	$\pm$ .577

### Procedimiento

Las evaluaciones se realizaron en una sola sesión de 1 hr. 30 min. aproximadamente. Todos los participantes firmaron el formato de consentimiento informado y posteriormente se realizaron las evaluaciones de inclusión anteriormente mencionadas. Posterior a estas evaluaciones, dio inicio la evaluación de la tarea de Cubos de Corsi en orden inverso.

Todos los procedimientos involucrados en este experimento fueron aprobados por el Comité de Ética del Instituto de Neurociencias

de la Universidad de Guadalajara en concordancia con los estándares éticos establecidos en la Declaración del Helsinki de 1964 y todos los participantes dieron su consentimiento informado previo a su inclusión.

### Instrumentos

Para evaluar la ejecución de los Cubos de Corsi, en la presente investigación se utilizó una versión computarizada llamada CUBMEMPC, desarrollada en el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara

(Guevara, Hernández-González & Sanz, 2011) compatible con computadoras con monitores sensibles al tacto. La tarea está compuesta por una serie de 10 cubos de color azul, ordenados aleatoriamente, los cuales se encuentran sobre un rectángulo gris. La sesión de prueba comienza cuando los cubos cambian de color, comenzando con una serie de dos cubos, incrementando un cubo en cada secuencia hasta llegar a 7 cubos.

Al finalizar cada ensayo, el participante debe tocar en la pantalla cada uno de los cubos anteriormente iluminados siguiendo el orden inverso de la secuencia presentada, es decir del último cubo al primero. El total de ensayos de secuencias de cubos es de 24. El intervalo de activación entre cada cubo es de 1 segundo. Las secuencias van desde 2 elementos hasta 7 elementos.

Para su evaluación se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Número máximo de elementos retenidos en la memoria.
- Número de ensayos correctos.
- Tiempo de ejecución total de la tarea\*.
- Latencia de inicio\*.

\*El tiempo total de ejecución y la latencia de inicio se consideraron como parámetros indicadores de la eficiencia en la memoria de trabajo, entendida como la capacidad de reducir al mínimo la cantidad de recursos

utilizados (tiempo) para alcanzar una meta (Mokate, 1999; Hale, 1990; Merriam-Webster, 1986).

#### *Análisis estadístico*

Se realizó un análisis de varianza entre los tres grupos considerados para los parámetros: número máximo de elementos retenidos en la memoria, número de ensayos correctos, tiempo total de ejecución de la tarea y la latencia de inicio, seguido de una prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

### **Resultados**

Se encontraron diferencias significativas en el número máximo de elementos retenidos en la memoria [ $F_{(2,33)}=13.07$ ,  $p \leq 0.0001$ ], en G2 y G3 con respecto a G1. Los participantes de los dos primeros grupos retuvieron mayor cantidad de elementos dentro de cada secuencia, en comparación con los participantes de G1.

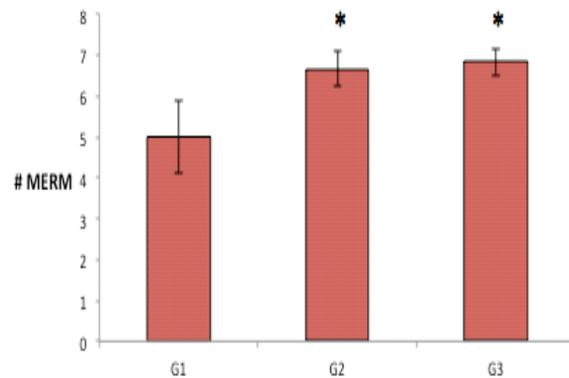


Figura 1. Media  $\pm$  2 E.S. del número máximo de elementos retenidos en la memoria (# MERM) de los participantes de los diferentes grupos.

\* $p \leq 0.05$  respecto al grupo 1.

Con respecto al parámetro número de ensayos correctos se encontraron diferencias significativas [ $F_{(2,33)}=13.92$ ,  $p \leq 0.0000$ ] entre G2 y G3 con respecto a G1, ya que los dos primeros tuvieron una mayor cantidad de ensayos correctos en comparación a G1.

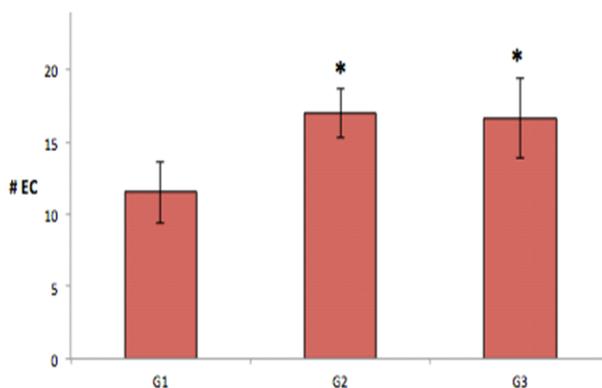


Figura 2. Media  $\pm$  2 E.S. del número de ensayos correctos (# EC) obtenidos por los participantes de los diferentes grupos. \* $p \leq 0.05$  respecto al grupo 1.

Con relación al parámetro de tiempo total de ejecución (en segundos) se encontró una diferencia significativa [ $F_{(2,33)}=5.13$ ,  $p \leq 0.01$ ] solamente entre G3 con respecto a G1 teniendo el primero un menor tiempo de ejecución de la tarea que G1 (Figura 3).

No se encontraron diferencias entre grupos en la latencia de inicio ya que los tres grupos presentaron resultados similares.

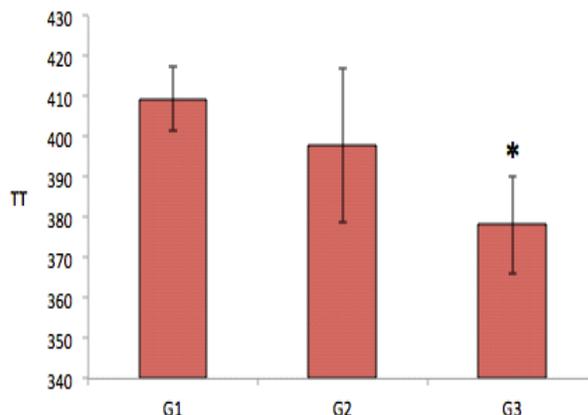


Figura 3. Media  $\pm$  2 E.S. del tiempo total de ejecución (TT, en segundos) de los participantes de los diferentes grupos. \* $p \leq 0.05$  respecto al grupo 1.

## Discusión

Los resultados de este trabajo muestran que la ejecución en la tarea de Cubos de Corsi se estabiliza al inicio de la adultez (18 - 20 años) en cuanto a la calidad en la ejecución (número máximo de elementos retenidos en la memoria y número de ensayos correctos), mientras que es hasta la edad de 26 a 30 años cuando se alcanza la mayor velocidad en la ejecución de la tarea. Estos datos aportan nueva evidencia de que la eficiencia en la memoria de trabajo visoespacial se alcanza hasta el final de la tercera década de la vida en hombres jóvenes (26 a 30 años de edad).

Los participantes de los grupos G2 y G3 lograron retener un mayor

número de elementos en la memoria con respecto a los participantes de G1; lo que podría sugerir que la mayor capacidad de retención de elementos se da posterior a los 13 años. En un estudio previo de nuestro laboratorio se encontró que los varones en la adultez temprana (26 a 30 años) presentan una mayor correlación EEG prefronto-parietal respecto a los participantes de 11 a 13 años (Hevia, 2013). Así, es probable que la pobre ejecución que presentaron los sujetos de G1 se deba a que las conexiones entre la corteza prefrontal y la corteza parietal no han alcanzado su máximo desarrollo, como ha sido propuesto por otros autores (Bava, Thayer, Jacobus, Ward, Jernigan & Tapert, 2010).

Si bien en la literatura existen numerosos estudios que han explorado la memoria de trabajo a través de la edad (Pickering et al., 2001; Logie & Pearson, 1997; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989; Luciana et al., 2005; Luna et al., 2004; Antunes, Zachi, Roque, Taub, & Fix, 2011), en varios de ellos se han clasificado las edades con base en la escolaridad, o bien se han agrupado en rangos de edad muy amplios que involucran periodos de desarrollo cerebral muy diferentes. En el presente trabajo se encontraron claras diferencias en la evaluación de la memoria de trabajo en periodos de edad que se ha reportado corresponden a inmadurez

(11 a 13 años), etapa intermedia (18 a 20 años) y maduración total (26 a 30 años) de la CPF

Pagulayan, Busch, Medina, Bartok y Krikorian (2006), mediante la aplicación de Cubos de Corsi reportaron un incremento gradual en la capacidad de retener elementos en la memoria presentando un período de meseta entre los 14 y los 21 años, en tanto que en nuestro estudio esta mayor capacidad fue observada a partir de los 18 años. Estas diferencias pueden resultar del orden en el que se aplicó la tarea; los autores mencionados lo realizaron en orden directo y en este trabajo se aplicó el orden inverso. Pareciera que en el orden directo, la correcta ejecución se alcanza a partir de los 14 años, mientras que en el orden inverso se observa a partir de los 18 años, por lo que es probable que la habilidad para manipular la información de manera correcta se adquiera al final de la segunda década de la vida (18 a 20 años), lo que va en concordancia con las teorías de la maduración cortical (De Luca & Leventer, 2008).

Al igual que en la retención de elementos en la memoria, los grupos G2 y G3 presentaron un mayor número de ensayos correctos respecto al grupo G1. Estas observaciones son consistentes con los hallazgos encontrados por Crone et al. (2006) quienes en una tarea de

manipulación de la información reportaron que niños de 8 a 12 años presentaron un menor número de respuestas correctas, comparados con un grupo de 18 a 25 años en el mantenimiento de la información (orden directo) y que estas diferencias se incrementaron dramáticamente en la manipulación de la misma información (orden inverso). Se ha descrito que el incremento de sustancia blanca, en las regiones frontales y parietales que se presenta en la tercera década de la vida se relaciona con una mejora en la ejecución de tareas cognoscitivas (Sowell, Thompson, Tessner & Toga, 2001; Nagy, Westerber & Klingberg, 2004), por tanto es probable que el dominio en la ejecución (calidad y velocidad) en la tarea de Cubos de Corsi se asocie con la maduración de regiones corticales indispensables para la adecuada ejecución de esta tarea, como lo es la CPF. Estos resultados son concordantes con lo encontrado por Guevara, Rizo-Martínez, Robles-Aguirre y Hernández-González (2012) quienes además de encontrar mayor eficiencia en tareas que evalúan funciones ejecutivas en participantes postadolescentes con respecto a edades más tempranas, también encontraron un aumento de la correlación EEG entre regiones fronto-parietales con relación a la edad.

Uno de los resultados más interesantes de este estudio es que sólo los participantes del grupo G3 presentaron una mayor eficiencia para ejecutar la tarea de Cubos de Corsi, ya que no solo la resolvieron adecuadamente sino que además la terminaron en un menor tiempo. Con respecto al tiempo total de ejecución se ha descrito que conforme avanza la edad se produce un aumento en la velocidad de procesamiento de la información (Chuah & Maybery, 1999) y que muy probablemente esta velocidad sea el factor más importante para la adquisición y el mantenimiento de la efectividad en la ejecución de las tareas de memoria de trabajo, al prevenir el decaimiento de las representaciones internas del medio ambiente (Salthouse, 1992).

De Luca y Leventer (2008) reportaron que la completa mielinización de los axones corticales ocurre alrededor de los 20 a los 29 años. Se ha propuesto que esta mayor mielinización produce un aumento en la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos lo cual se ha relacionado con una mejor ejecución de tareas cognoscitivas (Curtis et al., 2000). Por tanto, es probable que la mayor velocidad en el procesamiento de los adultos jóvenes obtenida en este estudio pudiera explicarse por la mayor mielinización anteriormente descrita.

En resumen, los resultados de este trabajo dan evidencia de que mientras la correcta ejecución en los Cubos de Corsi ocurre al inicio de la adultez (18 -20 años), la eficiencia en la memoria de trabajo visoespacial se alcanza hasta el final de la tercera década de la vida (26 a 30 años de edad). Estos hallazgos se suman a la propuesta de que la memoria de trabajo visoespacial presenta un desarrollo gradual conforme a la edad.

## Referencias

- Antunes, R., Zachi, E., Roque, D., Taub, A., & Fix, D. (2011). Memory span measured by the spatial span tests of the Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery in a group of Brazilian children and adolescents. *Dement Neuropsychology*, 5(2), 129-134.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. En G. Bower, *The psychology of learning and motivation* (pp. 47-89). New York: Academy Press.
- Baddeley, A. (1998). Recent development in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 234-238.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), 136-140.
- Bartsch, K., & Wellman, H. (1989). Young children's attribution of action to beliefs and desires. *Child Development*, 60(4), 946-964.
- Bava, S., Thayer, R., Jacobus, J., Ward, M., Jernigan, T., & Tapert, S. (2010). Longitudinal characterization of white matter maturation during adolescence. *Brain Research*, 23(1327), 38-46.
- Berch, D., Huha, E., & Krikorian, R. (1998). The Corsi Block-Tapping Task: Methodological and theoretical considerations. *Brain and Cognition*, 38, 317-338.
- Braver, T., Cohen, J., Nystrom, L., Jonides, J., Smith, E., & Noll, D. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, 5, 49-62.
- Casey, B., Giedd, J., & Thomas, K. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54, 241-257.
- Chuah, L., & Maybery, M. (1999). Verbal and spatial short-term memory: Common sources of developmental change?. *Journal of Experimental Child Psychology*, 73, 7-44.

Corsi, P. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. Montreal.

Crone, E., Wendelken, C., Donohue, S., van Leijenhorst, L., & Bunge, S. (2006). Neurocognitive development of the ability to manipulate information in working memory. *Proceedings of the National Academy Sciences, 103*(24), 9315–9320.

Curtis, C., Zald, D., & Pardo, J. (2000). Organization of working memory within the human prefrontal cortex: a PET study of self-ordered object working memory. *Neuropsychologia, 38*, 1503-1510.

Daneman, M., & Carpenter, P. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior, 19*, 450-466.

De Luca, C., Wood, S., Anderson, V., Buchanan, J. A., Proffitt, T., Mahoney, K., et al. (2003). Normative data from the cantab I: development of executive function over the lifespan. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 25* (2), 242-254.

De Luca, C., & Leventer, R. (2008). Developmental trajectories of executive functions across the lifespan. En V. Anderson, R. Jacobs, & P. Anderson, *Executive Functions and the Frontal Lobes: A Lifespan*

*Perspective* (pp. 23-56). New York: Taylor & Francis Group.

Flavell, J. (1999). Cognitive development: Children's knowledge about the mind. *Annual Review of Psychology, 50*, 21-45.

Gathercole, S., & Pickering, S. (2001). Working memory deficits in children with special educational needs. *British Journal of Special Education, 28*(2), 89-97.

Giedd, J., Blumenthal, J., Jeffries, N., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., et al. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature, 861-863*.

Guevara, M., Hernández-González, M., Sanz-Martín, A., & Amezcua-Gutierrez, C. (2011). Programas computacionales para evaluar funcionalidad cognoscitiva. En L. Chacón-Gutierrez, J. M. Roca-Chiapas, J. A. Barradas-Bribiesca, & A. E. Rivera-Cisneros, *Cómo tomamos decisiones: cuerpo, mente y estilos de vida* (pp. 129-170). Guanajuato, Guanajuato, México: Universidad de Guanajuato.

Guevara, M., Rizo-Martínez, L., Robles-Aguirre, F., & Hernández-González, M. (2012). Prefrontal-parietal correlation during performance of the towers of Hanoi task in male children, adolescents

- and young adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, 129-138.
- Hale, S. (1990). A global developmental trend in cognitive processing speed. *Child development*, 61, 653-663.
- Hevia, J. (2013). *Correlación electroencefalográfica en niños, adolescentes y adultos: un paso más hacia el entendimiento en la ontogenia de la memoria de trabajo. Tesis (Maestría en Neurociencia)*. Guadalajara, Jalisco.
- Isaacs, E., & Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *British Journal of Developmental Psychology*, 7(4), 377-380.
- Klingberg, T., Vaidya, C., Gabrieli, J., Moseley, M., & Hedehus, M. (1999). Myelination and organization of the frontal white matter in children: A diffusion tensor MRI study. *Neuroreport*, 10, 2817-2821.
- Kwon, H., Reiss, A. L., & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceeding of the National Academy Sciences*, 99(20), 1336-1341.
- Logie, R., & Pearson, D. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(3), 241-257.
- Luciana, M., & Nelson, C. (1998). The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four- to eight-year-old children. *Neuropsychologia*, 36 (3), 273-293.
- 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.
- Luna, B., Garber, K., Urban, T., Lazar, N., & Sweeney, J. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75 (5), 1357-1372.
- Merriam-Webster Inc. (1986). *Webster's third new international dictionary of the english language*. Massachusetts, U.S.A.
- Mokate, K. (1999). Diseño y gerencia de políticas y programas sociales. Banco Interamericano de Desarrollo. *Instituto Interamericano para el Desarrollo Social (INDES)*.
- Nagy, Z., Westerber, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during

childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(7), 1227–1233.

Ostrosky-Solis, F., Gómez, M., Matute, E., Roselli, M., Ardila, A., & Pineda, D. (1997). *Neuropsi Atención y Memoria*. México, D.F., México: Manual Moderno.

Pagulayan, K., Busch, R., Medina, K., Bartok, J., & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-Tapping Task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 1043–1052.

Pickering, S., Gathercole, S., Hall, M., & Lloyd, S. (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A(2), 397–420.

Rapoport, J., Giedd, J., Blumenthal, J., Hamburger, S., Jeffries, N., Fernández, T., et al. (1999). Progressive cortical change during adolescence in childhood-onset esquizofrenia. *Archives of General Psychiatry*, 56, 649-654.

Rosen, V., & Engle, R. (1997). Forward and backward serial recall. *Intelligence*, 25(1), 37-47.

Salthouse, T. (1992). Influence of processing speed on adult age differences in working memory. *Acta psychologica*, 79, 155-170.

Sowell, E., Thompson, P., Holmes, C., Jernigan, T., & Toga, A. (1999). In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience*, 2, 859-861.

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(22), 8819-8829.

Sowell, E., Trauner, D., Garnst, A., & Jernigan, T. (2002). Developmental of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Developmental medicine and child Neurology*, 44, 4-16.

Sowell, E., Peterson, B., Thompson, P., Welcome, S., Henkenius, A., & Toga, A. (2003). Mapping critical change across the human lifespan. *Nature Neuroscience*, 6(3), 309-315.

Sowell, E., Thompson, P., Leonard, C., Welcome, S., Kan, E., Toga, Arthur, et al. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *The Journal of Neuroscience*, 24(38), 8223– 8231.

Wechsler, D. (1997). *Escala de inteligencia para adultos, WAIS-Español*. México, D.F., México: El Manual Moderno.

Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence scale for children (WISC-IV)*. San Antonio, Texas, E.E.U.U.: Psychological Corporation.