

# El papel de la memoria operativa en las diferencias y trastornos del aprendizaje escolar

## The role of working memory in differences and school learning disorders

Recibido: Octubre de 2011  
Revisado: Noviembre de 2012  
Aceptado: Marzo de 2013

**Óscar Sierra Fitzgerald,**  
**Tulia Ocampo Gaviria**  
Universidad del Valle, Colombia

Óscar Sierra Fitzgerald, M.S., Ph.D., Instituto de Psicología, Universidad del Valle, Cali, Colombia, E-mail: osierra@univalle.edu.co, es el primer autor.

Tulia Ocampo Gaviria, M.S (C), Instituto de Psicología, Universidad del Valle, Cali, Colombia, E-mail: tocampogav@gmail.com, es el segundo autor.

Este trabajo fue realizado con la financiación de la Universidad del Valle al primer autor. El segundo autor ha participado en virtud de la relación conceptual de este trabajo con su proyecto de tesis de maestría. Nada del artículo presentado hace parte de dicha tesis por lo que es claro que no existe ningún conflicto de intereses alrededor de la escritura o publicación del mismo. El lector interesado en información relacionada con el artículo puede contactar a cualquiera de los dos autores a través de sus correos electrónicos aquí presentados.

### Abstract

Neurocognitive mechanisms which allow the construction of academic concepts in formal schooling are complex. Recently the scientific community has begun to recognize the cross-sectional place of working memory as a complex cognitive function in the conceptualization of individual differences in school learning thus allowing explaining learning disabilities in various areas of knowledge. Standing aside from the traditional definition of learning disabilities and its concomitant evaluation, during the last decade many researchers have emphasized upon the relationship between working memory – viewed from the multicomponent model of Baddeley y Hitch (1974) – and school learning. Contextualized in the evolutionary theory of Geary (1999-2007) and the cultural-historical perspective of Vygotski (1934) this new perspective is explored in depth in this paper. Therefore, this article

### Resumen

Los mecanismos neurocognitivos que permiten la construcción de los conceptos académicos durante la escolaridad formal son complejos. Recientemente la comunidad científica ha comenzado a reconocer el lugar transversal de la memoria operativa, como una función cognitiva compleja, en la conceptualización de las diferencias individuales en el aprendizaje escolar, permitiéndose así explicar los trastornos en el aprendizaje en las diversas áreas del conocimiento. Tomando distancia de la definición clásica de los trastornos del aprendizaje y de la concomitante manera de evaluarlos; durante la última década muchos investigadores han enfatizado la relación entre la memoria operativa, desde el modelo de multicomponentes de Baddeley y Hitch (1974), y el aprendizaje escolar. Contextualizada en la teoría evolutiva de Geary (1999-2007) y la perspectiva histórico-cultural

presents a review of a series of research studies that can be classified into four groups that have shown the complex relationship between working memory and learning in school, both in learning mathematics as well as reading.

*Key words: Working memory, learning at school, learning disorders.*

Los mecanismos neurocognitivos que permiten la construcción de los conceptos académicos durante la escolaridad formal son complejos. Así por ejemplo, las investigaciones desde la psicología cognitiva han establecido una estrecha relación entre la consciencia fonológica y el aprendizaje de la decodificación lectora y de la ortografía (Bradley & Bryant, 1983). Por su lado, la comprensión lectora en niños normales ha sido relacionada con la comprensión del lenguaje oral (Vellutino, Tunmer, Jaccard & Chen, 2007) y con la memoria viso-espacial en niños hiperléxicos (Sierra-Fitzgerald y Rosero-Pahi, 2003). En el aprendizaje de las matemáticas, en especial del manejo numérico y del cálculo aritmético, se ha resaltado la importancia del sentido numérico (Berch, 2005; Locuniak & Jordan, 2008). Sin embargo, sólo recientemente se ha comenzado a reconocer el lugar transversal de una función cognitiva compleja, como lo es la memoria operativa (MO), en la conceptualización de las diferencias individuales en el aprendizaje escolar y en los trastornos del aprendizaje en las diversas áreas del conocimiento.

Durante las dos últimas décadas, especialmente en el Reino Unido, aunque cada vez más también a nivel mundial y en hispanoamérica, en particular, se ha venido investigando la relación entre la MO, desde el modelo de multicomponentes de Baddeley y Hitch (1974) y el aprendizaje escolar. De esta manera se ha podido establecer una nueva mirada que permite comprender las diferencias y trastornos en el aprendizaje escolar, independientemente del área puntual de conocimiento. Esta nueva perspectiva será el objetivo a explorar en el presente trabajo. Se trata pues, en esencia, de una revisión crítica en lengua castellana de un problema de gran interés para la comunidad científica de psicólogos, neuropsicólogos, educadores y médicos por su aporte teórico y clínico. Los criterios de búsqueda de artículos para esta

de Vygotski (1934), esta nueva perspectiva se explora a profundidad en el presente trabajo. De esta forma, el artículo presenta la revisión de una serie de estudios de investigación que se pueden clasificar en cuatro grupos que han mostrado la compleja relación entre la memoria operativa y el aprendizaje escolar, tanto en el aprendizaje de las matemáticas como en el de la lectura.

*Palabras clave: Memoria operativa, aprendizaje escolar, trastornos del aprendizaje.*

revisión fueron los términos relacionados con el modelo de multicomponentes de memoria de Baddeley y Hitch combinados con los relacionados con aprendizaje escolar y trastornos del mismo, particularmente de la lectura y de las matemáticas. Esta búsqueda fue llevada a cabo principalmente en las bases de datos y redes bibliográficas PsycINFO, SciELO, Redalyc PsycArticles, Psycho-Search, Psycodoc, Psedisoc y Medline.

Se dará inicio a este trabajo con la teoría evolutiva de Geary (2002, 2003, 2005a, 2005b, 2007) relacionada con el aprendizaje escolar y sus trastornos, además se señalará el importante lugar atribuido a la MO en dichos procesos. Se mostrará cómo dicha teoría está entroncada con la perspectiva histórico-cultural de Vygotski (1934). Luego se revisará el modelo de MO de multicomponentes propuesto por Baddeley y Hitch y los diferentes estudios realizados con niños desde dicha perspectiva, haciendo mención particular de aquellos que guardan relación con el aprendizaje escolar de la lectura y las matemáticas y sus trastornos. Por último, se discutirá la importancia de incluir una evaluación de la MO en la evaluación de niños con trastornos específicos en el aprendizaje (TEA).

### **Perspectiva evolutiva del aprendizaje escolar**

En su último gran trabajo, *Lenguaje y Pensamiento*, Vygotski (1934) propone que la escolaridad formal debe formar en los niños los *conceptos científicos* mediante la modificación consciente de los *conceptos cotidianos* que el niño ha desarrollado de manera natural por medio del juego, de las interacciones sociales, especialmente entre padres e hijos, y de la exploración del ambiente y de los objetos. Estos conceptos cotidianos son el resultado de la generalización e internalización de las experiencias diarias personales,

pero con frecuencia no son sistemáticos ni conscientes, y muchas veces erróneos. Los conceptos científicos, por su lado, representan la formalización de la experiencia de la humanidad en los diversos dominios académicos y científicos. Y son justamente dichos conceptos, contruidos a lo largo de la escolaridad formal, con los que operará el niño más adelante al nivel del pensamiento lógico-formal (Karpov, 2003a, 2005, 2006; Vygotski, 1934).

La perspectiva evolutiva propuesta por Geary (2002, 2003, 2005a, 2005b, 2007) conlleva una explicación del proceso de aprendizaje escolar. Este modelo plantea dos tipos de competencias: las *habilidades biológicas primarias* o *conocimientos intuitivos* y las *competencias secundarias* o *académicas*. Los conocimientos intuitivos son de naturaleza implícita y se desarrollan de manera natural. Esta idea de habilidades primarias es semejante a la de los conceptos cotidianos propuesto por Vygotski (Karpov, 2003a, 2003b, 2005, 2006; Vygotski, 1934). Geary (2002, 2003, 2005a, 2005b, 2007) indica que estas habilidades primarias no son suficientes para el aprendizaje académico en la sociedad moderna pero que, al mismo tiempo, son el cimiento para construir las competencias biológicas secundarias, las cuales se asemejan a la idea de conceptos científicos propuesta por Vygotski (Karpov, 2003a, 2003b, 2005, 2006; Vygotski, 1934). Geary propone que estas habilidades cognitivas secundarias se construyen mediante la modificación consciente de los conocimientos intuitivos a través de la instrucción formal; instrucción que generalmente se adquiere durante la escolaridad y cuyo objetivo principal es el de asegurar que los niños aprendan las competencias académicas para el funcionamiento ocupacional y social exitoso en una sociedad cada vez más científica y tecnológica. De nuevo, esto es similar a lo propuesto por Vygotski, (1934) quien consideró que los conceptos científicos se adquieren de manera consciente a través de la instrucción escolar. Las competencias secundarias que más se enfatizan al comienzo de la escolaridad son la lectura, la escritura y las matemáticas.

La lectura y la escritura se construyen sobre los *sistemas primarios de comunicación* que forman parte de los conocimientos psicológicos intuitivos. La escritura aparece en la historia como consecuencia de la motivación para comunicarse e influir sobre otras personas, involucrando los sistemas primarios del lenguaje y de la *teoría de la mente*. La decodificación lectora implica co-optar sistemas primarios relacionados con el lenguaje tales como el procesamiento

fonológico asociado al funcionamiento de la corteza temporal del hemisferio izquierdo (Geary, 2003, 2005a, 2005b). Es así pues que las habilidades de procesamiento fonológico, componente básico del lenguaje, predicen de manera significativa la facilidad para la adquisición de las habilidades escolares de decodificación lectora (Bradley & Bryant, 1983). La comprensión de la lectura, por su parte, involucra sistemas modulares primarios como el de la teoría de la mente, necesaria en la comprensión de temas sobre las relaciones humanas (Geary, 2002, 2003, 2005a, 2005b).

Geary (2007) también elabora su teoría evolutiva con relación al aprendizaje de las matemáticas. Según él, competencias biológicas primarias tales como la numerosidad, la ordinalidad, el conteo, la aritmética simple (incremento y decremento en la cantidad), la estimación y la geometría básica (formas y relaciones espaciales) sirven como cimientos para el aprendizaje formal del conocimiento matemático desarrollado a lo largo de la historia cultural de la humanidad. Dichas competencias se habrían desarrollado de manera natural en ambientes estimulantes y estarían relacionadas con el funcionamiento de la corteza parietal de ambos hemisferios cerebrales, en especial del surco intraparietal.

Para lograr una buena construcción y desarrollo de las habilidades secundarias, base de las competencias académicas, los conocimientos intuitivos o conceptos cotidianos de naturaleza implícita deben hacerse explícitos y conscientes. Geary (2002, 2003, 2005a, 2005b, 2007) señala que es la inteligencia general, pero en especial la *inteligencia fluida*, lo que mejor predice la facilidad para aprender las competencias académicas que se enseñan en la educación formal. Entre las habilidades de inteligencia fluida, el modelo de Geary resalta la MO y las funciones ejecutivas, cuyo procesamiento se lleva a cabo principalmente en la corteza prefrontal dorsolateral (CPFDL). De manera semejante Belacchi, Carretti y Comoldi (2010) reportan que la MO – y en particularmente su actualización - juega un papel importante durante el desarrollo en la explicación de la inteligencia fluida. Por su parte, Engel de Abreu, Conway y Gathercole (2010) mostraron que en niños pequeños los mecanismos de control cognitivo más que los de almacenamiento de la MO son los responsables del vínculo con la inteligencia fluida. Es así que, partiendo de conceptualizar la MO como un elemento distintivo de la función ejecutiva, Etchepareborda y Abad-Mas (2005) concluyen en su revisión que la afectación de los mecanismos básicos propios de la MO provoca una

disfunción que influye en un sinnúmero de procesos de aprendizaje formal académico.

El funcionamiento de la CPFDL tiene en el modelo de Geary un rol muy importante en el aprendizaje de las competencias académicas. Esta zona del cerebro representa de manera explícita las metas y mantiene activa la información que debe ser manipulada por la MO. No obstante, para lograr un aprendizaje óptimo se requiere la activación simultánea y sincronizada de las áreas de la CPFDL y de las regiones posteriores del cerebro involucradas en la tarea específica a realizar. (Geary, 2005a, 2005b, 2007). Así pues, en el modelo de Geary, el éxito en el aprendizaje académico depende de los sistemas cognitivos y de las estructuras corticales y subcorticales que apoyan el desarrollo de las competencias primarias intuitivas, de aquellos que permiten conectar los sistemas primarios de manera novedosa y de aquellos que apoyan la modificación de los conocimientos intuitivos para crear las competencias secundarias.

### El modelo multicomponente de memoria operativa

Teniendo en cuenta el lugar del sistema ejecutivo en el aprendizaje, Geary (2005a, 2005b, 2007) incorpora en su teoría el modelo de MO propuesto por Baddeley y Hitch (1974) basado en una estructura de multicomponentes. Dicho modelo ha sido modificado a lo largo de los años para ser adaptado a las nuevas evidencias, tanto de estudios cognitivos como neurocientíficos (Baddeley, 2000, 2002, 2003, 2006; Baddeley & Hitch, 1994). Según este modelo, la MO es un sistema de capacidad limitada dedicado a mantener, manipular y almacenar, de manera transitoria, información necesaria para un amplio rango de actividades cognitivas complejas como la lectura, el cálculo, el razonamiento y la comprensión del lenguaje. Este sistema apoya los procesos de pensamiento humano proveyendo una interface entre la percepción, la memoria a largo plazo y la acción.

Inicialmente el modelo de Baddeley y Hitch (1974) consistía en tres componentes: un *ejecutivo central* (EC) que serviría de control atencional limitado y dos sistemas subordinados, el *bucle fonológico* y la *agenda viso-espacial* que trabajarían de manera integrada con el EC. De acuerdo con el modelo, el bucle fonológico permite el almacenamiento temporal de información verbal-acústica; de esta manera se

puede mantener la representación sonora de una palabra. La agenda viso-espacial, por su lado, mantiene representaciones temporales de información visual y espacial, teniendo un rol importante en la orientación espacial y en la solución de problemas visoespaciales.

A medida que el modelo se ajustó para dar cuenta de las nuevas evidencias, se fueron proponiendo nuevos elementos y procesos tanto para el bucle fonológico como para la agenda viso-espacial. Igualmente, se han sugerido subprocesos en el funcionamiento del EC y se ha añadido un nuevo componente, el *búfer episódico* que consiste en un sistema de almacenamiento temporal con capacidad limitada, capaz de integrar información de varias fuentes incluyendo el bucle fonológico, la agenda viso-espacial y la memoria a largo plazo (Baddeley, 2000).

Los subcomponentes que se han propuesto para el bucle fonológico son el *almacén fonológico*, el cual permite guardar las huellas de memoria verbal por unos pocos segundos, y un *repaso articulatorio* que permite refrescar las huellas de memoria para mantener la información en el almacén fonológico (Baddeley, 2000, 2002, 2003, 2006). Estudios neuropsicológicos y de neuroimágenes han señalado que el almacén fonológico está relacionado con las áreas parietotemporales del hemisferio izquierdo (área 40 de Broadman) mientras que el repaso articulatorio se ha vinculado con el área de Broca.

Respecto a la agenda viso-espacial hay menos acuerdo respecto a cuáles serían sus subcomponentes. Por un lado, Baddeley (2002, 2003) y Logie (1995) han considerado que el funcionamiento de la agenda viso-espacial se puede separar en un componente visual y otro espacial. Los estudios de Goldman-Rakic (1999) con primates sobre la distinción entre las rutas del “qué” y el “dónde” del procesamiento visual y los estudios de neuroimágenes con humanos de Smith y Jonides (1997), respaldan esta distinción entre la memoria visual de objetos y la memoria viso-espacial. Goldman-Rakic propone que en la CPFDL existen unas neuronas especializadas para la información viso-espacial y otras para la información de las características visuales de los objetos; dichas neuronas, a su vez, reciben aferentes de la corteza parietal superior, las primeras, y de la corteza temporal, las segundas. Otros investigadores como Petrides (2000), Fuster (2001) y Postle (2006) proponen que la diferenciación de modalidad se procesa en las regiones posteriores del cerebro y no en la corteza prefrontal, de tal manera que

la corteza inferotemporal procesaría la información de las características visuales de los estímulos mientras que la parietal posterior procesaría la espacial. De hecho, los estudios de neuroimágenes de Smith y Jonides (1997) muestran una activación inferotemporal izquierda para la memoria de objetos, activación que también ha sido relacionada con el reconocimiento de objetos y con la mediación entre el conocimiento conceptual y la denominación (Tranel, Grabowski, Lyon, & Damasio, 2005).

Por su parte, la memoria viso-espacial ha sido asociada con una activación parietal del hemisferio derecho. Pickering y colaboradores (Pickering, 2001a; Pickering, Gathercole, Hall, y Lloyd, 2001) han cuestionado la idea de que las diferencias interindividuales en el desempeño en tareas de memoria viso-espacial a corto plazo reflejen una distinción entre un componente visual y uno espacial. Alternativamente, ellos proponen una distinción de dos componentes en los procesos de la agenda viso-espacial, uno dedicado a la memoria de información visual estática y otro a la dinámica. Más aún, se ha propuesto incluso un posible componente cenestésico y/o motor (Pickering, 2001b).

Según Baddeley (2006) el EC es el componente más importante de la MO pero, a su vez, el menos comprendido. Fue así que ya desde 1986 Baddeley propuso adoptar el modelo de control atencional de Norman y Shallice (1986) para explicar el funcionamiento del EC. Según este modelo, el control del comportamiento se divide en dos procesos: uno para hábitos sobreaprendidos, los cuales son controlados por rutinas o esquemas que se activan automáticamente y otro, el *sistema de supervisión atencional* (SSA) que interviene cuando el control rutinario es insuficiente, combinando la información de la memoria a largo plazo con los estímulos para planear soluciones novedosas con el fin de asegurar que un plan de acción se lleve a cabo.

Según Baddeley, el EC sería similar al SSA, siendo responsable de la selección, iniciación y terminación del procesamiento de la información para el control del comportamiento. Partiendo de esta conceptualización, Baddeley (1996, 2002, 2003, 2006) ha propuesto fraccionar el EC en cuatro subprocesos: focalizar la atención, dividir la atención, cambiar la atención (flexibilidad atencional) y conectar la MO con la memoria a largo plazo; este último proceso dio origen al búfer episódico en la reformulación del modelo propuesto por Baddeley en el año 2000. Por lo demás, según Baddeley (1996, 2002, 2003, 2006),

estudios neuropsicológicos y de neuroimágenes han mostrado evidencia del rol de los lóbulos prefrontales en estos procesos ejecutivos.

Por su parte, Kane y colaboradores (Kane & Engle, 2003; Kane, Bleckley, Conway & Engle, 2001; Kane et al., 2007), han propuesto una teoría de control ejecutivo de la atención en relación con la MO. Según esta teoría, el funcionamiento de la MO estaría relacionado con el control de la atención en tareas que requieren el mantenimiento activo de la atención en la meta. Esta propuesta de control ejecutivo de la atención ha sido estudiada con tareas complejas relacionadas con el funcionamiento del EC, evidenciándose diferencias significativas en tareas de atención visual (Kane et al., 2001), de efecto stroop (Kane & Engle, 2003) y en tareas de la vida diaria (Kane et al., 2007), entre otras. Es interesante observar cómo los resultados de estos estudios - basados en la teoría del control atencional en la MO - respaldan la propuesta de Baddeley (1986) comentada anteriormente, según la cual el EC es análogo al SSA de Norman y Shallice (1986).

Estudios realizados con niños han evidenciado también el importante rol de la atención en el funcionamiento del EC. Así por ejemplo, en niños con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se ha encontrado que los déficits en la MO se correlacionan de manera significativa con los síntomas de inatención, no con los de hiperactividad e impulsividad, siendo los síntomas de inatención los que mejor predicen el desempeño del EC, tanto con información verbal como viso-espacial (Martinussen & Tannock, 2006). Inversamente, Tillman, Eninger, Forssman y Bohlin (2011) mostraron que la memoria verbal y viso-espacial de corto término y el ejecutivo central verbal contribuyen a los síntomas de inatención. De manera más específica, Romero-Ayuso, Maestú, González-Marqués, Romo-Barrientos y Andrade (2006), en un estudio con niños hispanoparlantes, encontraron disfunción ejecutiva en ambos tipos de TDAH (inatento y combinado) expresada como limitación en la capacidad atencional y en la memoria de trabajo; estando esta última, no obstante, más comprometida en el tipo inatento. Otro estudio con niños con dificultad atencional pero que no fueron diagnosticados con TDAH, encontró que aquellos que presentaban síntomas de inatención y altos niveles de distractibilidad también exhibían un déficit en la MO (Gathercole et al., 2008). Así, los investigadores sugirieron que una capacidad reducida de MO era la causa de sus problemas atencionales.

Algunos investigadores que han realizado estudios con niños utilizando el modelo multicomponente de MO (Alloway & Archibald, 2008; Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006; Gathercole & Pickering, 2000a; Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004), han utilizado una terminología diferente al referirse a los diferentes componentes del modelo. Estos autores utilizan los términos *memoria a corto plazo (MCP) verbal* y *memoria a corto plazo viso-espacial* para referirse al bucle fonológico y a la agenda viso-espacial, respectivamente. Además, estos mismos autores con frecuencia utilizan el término memoria operativa en vez del de EC, diferenciando, no obstante, la memoria operativa verbal de la memoria operativa viso-espacial.

### La memoria operativa y el aprendizaje escolar

Un buen número de estudios ha mostrado la relación entre la MO y el aprendizaje escolar, tanto de las matemáticas como de la lectura. La mayoría de dichos estudios ha tenido como marco teórico el modelo de MO propuesto inicialmente por Baddeley y Hitch. En esta sección se revisa un volumen significativo de estas investigaciones que han sido clasificadas en cuatro grupos. El primer grupo incluye aquellos estudios que han explorado la validez de la estructura del modelo de multicomponentes en niños desde los cuatro años. En el segundo grupo se encuentran las investigaciones longitudinales que evalúan la MO y el desempeño académico con el fin de determinar la habilidad de la primera para predecir el segundo. Corresponden al tercer grupo las investigaciones realizadas con muestras representativas de la población escolar que relacionan el desempeño escolar con los resultados en las pruebas de MO. Por último, en el cuarto grupo, se encuentran los estudios con niños que presentan diversos trastornos en el aprendizaje y que buscan demostrar algún déficit en la MO y determinar así si aquellos se asocian con un perfil diferenciado de fortalezas y debilidades en los distintos componentes del modelo. En las secciones siguientes revisaremos en mayor detalle estudios representativos de cada uno de estos grupos.

### Estudios sobre memoria operativa en el desarrollo

El modelo básico de tres componentes de Baddeley y Hitch (1974) fue construido inicialmente para explicar el funcionamiento de la MO de sujetos adultos. Siendo posible

que la MO no esté organizada de la misma manera en etapas tempranas del desarrollo, ha sido necesario investigar la validez de dicho modelo en niños o, alternativamente, determinar cómo y qué estructura la MO durante el desarrollo.

Inicialmente, los estudios sobre el desarrollo de la MO se enfocaron en reconocer los componentes específicos del modelo. Posteriormente se han realizado múltiples investigaciones sobre la organización del sistema y sobre su relación con variables socio-demográficas (Riggs, McTaggart, Simpson & Freeman, 2006). De manera puntual, un estudio con niños colombianos llevado a cabo por Cadavid-Ruiz y Del Rio (2012) halló relación significativa entre los puntajes en tareas de dígitos en progresión y regresión, la edad y el nivel socioeconómico mientras que otro llevado a cabo con niños argentinos (Sánchez, Tabullo, Marro, Sánchez, Yorio y Segura (2009) encontró efectos de edad y género sobre la MO.

Respecto al cambio en la estructura de la MO, un estudio de Pickering, Gathercole y Peaker (1998) mostró que el bucle fonológico y la agenda viso-espacial se desarrollan de manera independiente entre los 5 y los 8 años. Interesantemente, en otro estudio con niños de 6 y 7 años, Gathercole y Pickering (2000a), reportaron que el EC y el bucle fonológico, aunque separados, están moderadamente asociados mientras que la agenda viso-espacial no se disocia del EC por lo que, de acuerdo con dichos autores, la agenda viso-espacial no sería una entidad independiente a esa edad. Otra investigación, encontró que en niños de 11 y 14 años, la MO verbal y viso-espacial son independientes, tanto en tareas que sólo requieren almacenamiento como en tareas que requieren tanto almacenamiento como procesamiento de la información (Jarvis & Gathercole, 2003).

Gathercole et al, (2004) realizaron un estudio más completo sobre la estructura del modelo en niños entre los 4 y los 15 años. Los resultados de esta investigación mostraron una consistencia de la estructura de la MO a lo largo de la niñez, siendo así similar al modelo tripartito para adultos. En particular, dicho estudio aportó evidencia respecto a que la estructura modular básica del modelo con sus componentes de EC, bucle fonológico y agenda viso-espacial existe desde los 6 años. Esta investigación además encontró que el patrón de desarrollo para las medidas de bucle fonológico, EC y agenda viso-espacial es muy similar, observándose incrementos lineales en el desempeño desde los 4 años hasta la adolescencia, incrementos que

señalan una expansión en su capacidad funcional a lo largo del desarrollo. Un estudio reciente en lengua castellana (García-Coni, Cane-Juric y Andrés, 2010) que encontró una relación significativa entre la flexibilidad cognitiva y la tarea de MO dígitos en progresión, identificó el período de los 6-9 años de edad como clave para el desarrollo de ambas capacidades.

### Estudios longitudinales de la memoria operativa como predictor del aprendizaje escolar

Este segundo grupo de investigaciones sobre la MO tiene que ver con estudios longitudinales que evalúan la MO antes de la escolaridad formal o al inicio de ésta y posteriormente el desempeño escolar. Por lo general, dichos estudios han encontrado relaciones significativas que permiten concluir que el desempeño en tareas de MO a una edad temprana puede predecir el rendimiento académico durante el inicio de la escolaridad formal.

Así, por ejemplo, en uno de estos estudios se encontró que la MO viso-espacial evaluada a los 4 años pudo predecir de manera específica el desempeño en matemáticas a los 7 años, que la MO tanto visual como verbal fue un predictor específico del desempeño en lectura y que las funciones ejecutivas y la MO verbal, conjuntamente, predijeron el desempeño en ambas áreas académicas (Bull, Espy & Wiebe, 2008). En desacuerdo parcial con estos resultados, otra investigación longitudinal llevada a cabo con niños entre los 4 y los 7 años, que empleó medidas de bucle fonológico y de MO verbal (Gathercole, Brown & Pickering, 2003), ya había reportado previamente que los puntajes en las medidas de MO predecían en gran medida los desempeños en lectoescritura aunque no en matemáticas. No obstante, respecto a las matemáticas en otras secciones de este artículo comentaremos otros estudios que muestran que la MO, tanto verbal como viso-espacial, también incide en su aprendizaje.

De Jong y Olson (2004) también hicieron un seguimiento de niños desde el primer año de preescolar, a la edad de 4 años, hasta el final del mismo a los 6 años. Este estudio encontró una relación significativa entre la memoria fonológica y la adquisición del conocimiento de las letras y sus sonidos, importante predictor del aprendizaje de la lectura. Interesantemente, previo a este estudio, Wagner et al, (1997) habían realizado un estudio longitudinal de cinco años en el que hallaron que la consciencia fonológica mostraba la mayor influencia en el aprendizaje de la

decodificación lectora y que ésta y la memoria fonológica se encontraban altamente correlacionadas. Esto, según los autores, parecía indicar que la memoria fonológica también predecía el aprendizaje de la lectura, aunque de manera menos significativa que la consciencia.

Argumentos como estos, muy seguramente, fueron los que hicieron que Wagner y Muse (2006) señalaran que los requerimientos de almacenamiento y procesamiento en las tareas de consciencia fonológica se pudiesen conceptualizar como similares a los de una tarea de MO. De esta manera se podría pues concluir que estudios como el de Wagner y colaboradores (1997) estaban ya mostrando que en realidad la MO verbal predice el desempeño en lectura al inicio de la escolaridad. Interesantemente, un artículo en lengua castellana de 1998 (Bravo-Valdivieso, Bermeosolo, Pinto, y Oyarzo) encontró que el procesamiento fonológico evaluado en 2do año escolar predecía la comprensión lectora durante los seis años de seguimiento del estudio, enfatizando así el rol de la consciencia fonológica en el aprendizaje de la lectura, y no sólo de la decodificación sino también de la comprensión.

Finalmente, es importante reconocer el valor diferencial de diversos predictores, particularmente el de aquellos más clásicos. Así, un estudio longitudinal con niños que presentaban dificultades en el aprendizaje (Alloway, 2009), mostró que las pruebas de MO y de conocimientos previos predecían el desempeño escolar global o específico de manera más significativa que las pruebas de cociente intelectual (CI). Y más recientemente, Alloway y Alloway (2010) también encontraron que la MO al inicio de la educación formal era un predictor más poderoso del éxito académico, seis años más tarde, que el CI.

### Estudios sobre relaciones entre memoria operativa y aprendizaje escolar

Este tercer grupo de investigaciones tiene que ver con aquellos estudios que han señalado relaciones significativas entre el desempeño escolar y la ejecución en pruebas de MO en niños que representan la población escolar y que no tienen ningún diagnóstico de TEA. Frecuentemente en estos estudios se comparan estudiantes con un rendimiento académico promedio y por encima del promedio con aquellos que tienen un desempeño por debajo del promedio. Así por ejemplo, Navalón, Ato y Rabadán, en una investigación pionera de 1989, estudiaron el papel de la MO en la adquisición lectora en niños de habla castellana habiendo

encontrado diferencias significativas entre grupos de distinto nivel lector solo en tareas con mayores demandas funcionales (de EC) mientras que las diferencias por grado escolar fueron atribuibles tanto a los componentes funcionales como a los estructurales (bucle fonológico, por ejemplo). Contrariamente, una década más tarde, Baqués y Sáiz (1999) encontraron que los buenos y los malos lectores al inicio del aprendizaje se diferenciaban tanto en medidas simples de MO verbal (bucle fonológico) como en medidas complejas del EC.

Por su parte, Gutiérrez, García-Madruga, Elosúa de Juan, Luque y Gárate (2002) llevaron a cabo una investigación que reconoció la MO como una fuente de diferencias individuales en la comprensión lectora. Recientemente García-Madruga y Fernández-Corte (2008) reportaron el valor predictivo de la MO, la comprensión lectora y el razonamiento en el rendimiento académico y Defior y Serrano (2011) revisaron las evidencias sobre la estrecha relación entre la conciencia fonológica, la MCP verbal, la MO y la velocidad de acceso a las representaciones fonológicas en MLP, por una parte, y la adquisición de la lectura y la escritura y la dislexia, por otra parte.

Con respecto a las matemáticas, varios estudios revelan que los niños con alta y baja habilidad matemática difieren significativamente en tareas de EC de la MO (Bull & Johnston, 1997; Bull, Johnston & Roy, 1999; Bull & Scerif, 2001). Según Bull y Johnston (1997), cuando se controla el nivel de lectura, los niños con baja habilidad matemática no muestran déficit en el bucle fonológico ni en la agenda viso-espacial (Bull et al., 1999). Por su parte, Alsina (2007) y Alsina y Sáiz-Roca (2003, 2004) indican que el EC es el elemento que presenta mayor correlación con el desempeño en matemáticas; aunque el bucle fonológico también muestra una relación importante que es mayor cuando el contenido empleado es numérico, tal como ocurre con el recuerdo serial de dígitos. Alsina y Sáiz-Roca (2003) no encontraron ninguna relación entre la agenda visoespacial y el desempeño en cálculo aritmético en niños de 6-7 años. No obstante, Simmons, Willis y Adams (2011) encontraron que el funcionamiento de la agenda visoespacial predecía el juicio de magnitud y la escritura de números en niños de 5-8 años y que el EC predecía la precisión en la adición en niños de 5-6 años. Por su parte, el estudio de López (2011) encontró que la MO verbal afectaba de manera significativa la ejecución en las habilidades de cálculo de niños argentinos de 6 años de edad.

Un estudio más completo sobre la relación entre el rendimiento escolar en varias áreas académicas y la ejecución en tareas de MO fue realizado por Gathercole, Pickering, Knight y Stegmann (2004). Esta investigación realizada con niños de 7 y 14 años mostró que los desempeños en matemáticas y lenguaje escrito (lectura y escritura) tuvieron una asociación importante con los puntajes en MO, en especial con las tareas complejas de EC a la edad de 7 años, confirmando los resultados de un estudio previo del mismo grupo investigador (Gathercole & Pickering, 2000b). Según el estudio de 2004, a los 14 años de edad, la asociación entre las tareas complejas de MO y el rendimiento en matemáticas continuaba siendo significativo pero no con lenguaje, señalando que la MO es más necesaria para la adquisición inicial de la lectoescritura que en los años posteriores.

En general, estos estudios permiten concluir que el bucle fonológico y la MO verbal influyen principalmente en el desempeño en lectura, al menos durante los primeros años de la escolaridad y que el desempeño en matemáticas está relacionado tanto con el EC como con la agenda viso-espacial, encontrándose menor relación con el bucle fonológico, excepto cuando el contenido es numérico.

### **Estudios de la memoria operativa en los trastornos del aprendizaje**

Durante los últimos 20 años, la literatura científica ha venido registrando un incremento respecto al cuarto grupo de estudios, aquellos relacionados con el funcionamiento de la MO en niños con diversos trastornos en el aprendizaje; poniéndose así en evidencia déficits en la MO en la población escolar con TEA. Al interpretar los resultados de estos estudios, es importante tener en cuenta que algunos de ellos en realidad han estudiado niños con dificultades en el aprendizaje (niños con percentil 25 y a veces hasta con percentil 35 en las pruebas de desempeño escolar) y no con un verdadero trastorno específico del aprendizaje (desempeños por debajo del percentil 10 o 15). Es así que Kavale, Spaulding, y Beam (2009), por ejemplo, consideran que bajo desempeño escolar y TEA no son equivalentes. Estas investigaciones sobre la relación entre la MO y los trastornos en el aprendizaje han buscado encontrar los perfiles diferenciados de fortalezas y debilidades en la MO de los diferentes trastornos del desarrollo. Aunque la investigación ha cubierto todo el espectro de los TEA, los más estudiados han sido los trastornos del aprendizaje de las matemáticas TAM y los trastornos del aprendizaje de la lectura TAL.

Pickering y Gathercole (2004), Pickering (2006), Alloway y Temple, (2007), Alloway y Archibald (2008), Alloway, Rajendran y Archibald (2009), Alloway (2011) –entre otros– han hecho comparaciones de los perfiles de MO de niños con diferentes trastornos del desarrollo, encontrando diferencias en los diferentes componentes del modelo de MO de Baddeley y Hitch. Pickering (2006), por ejemplo, reporta un estudio en el que compara niños cuyo diagnóstico principal es dislexia con niños cuyo diagnóstico primordial es un trastorno del desarrollo de la coordinación motora (TDCM). Este estudio muestra que el patrón de fortalezas y debilidades es diferente en estos dos tipos de niños, presentando los niños con dislexia una debilidad en el bucle fonológico y en el EC con información verbal mientras que los niños con TDCM presentan debilidad en la agenda viso-espacial. De manera similar, Alloway (2011) recientemente encontró que los perfiles de MO claramente permitían discriminar dos grupos clínicos, los niños con TDAH y los niños con TDCM.

Siegel y Ryan (1989) realizaron un estudio con tres grupos de niños de diferentes edades; uno de ellos con dificultades en el aprendizaje de las matemáticas, otro con dificultades en el aprendizaje de la lectura y otro con TDAH sin una dificultad concomitante en el aprendizaje. Este estudio evidenció que los niños con dificultades en lectura presentaban un bajo nivel en tareas de MO, tanto con información verbal como numérica, mientras que los niños con dificultades en matemáticas sólo mostraban un bajo nivel en la MO con información numérica. Paradójicamente, los niños con déficit de atención no evidenciaron deficiencias en la MO, hecho que cuestiona la naturaleza de su déficit atencional que tampoco se asociaba con una dificultad en el aprendizaje. Los resultados de este estudio confirman que los niños con diferentes dificultades en el aprendizaje y en la cognición en general muestran patrones específicos y diferenciados de déficit en la MO. Este estudio, sin embargo, no incluyó pruebas para evaluar la memoria viso-espacial.

Contrariamente a lo reportado por Siegel y Ryan (1989), la investigación de Martinussen y Tannock (2006) ya mencionada sí reveló dificultades en la MO, tanto verbal como viso-espacial, de los niños con TDAH. Dicho estudio mostró que los déficits en la MO se correlacionaban de manera significativa con los síntomas de inatención, pero no con los de hiperactividad e impulsividad, independientemente de la presencia de un trastorno en el aprendizaje de la lectura (TAL); por lo demás, aquellos niños que presentaban TAL,

con o sin un TDAH, presentaban también un déficit en la memoria verbal a corto plazo.

Algunos estudios se han concentrado en los trastornos en el aprendizaje de la lectura. El estudio de Stone y Brady (1995), por ejemplo, muestra que los niños con dificultades en el aprendizaje de la lectura presentan un nivel significativamente bajo de precisión en tareas de memoria verbal a corto plazo y en especial al repetir pseudopalabras, aún al ser comparados con un grupo control de menor edad pero con su mismo nivel lector. Por otro lado, Stanovich, Siegel y Gottardo (1997) muestran que los niños con dislexia fonológica presentan diferencias en la MO verbal. Igualmente, en el estudio de De Jong (1998) los niños con TAL evidenciaban dificultades en la MCP, tanto verbal como numérica, que se exacerbaban cuando se incorporaba el funcionamiento del EC, manifestando falta de capacidad para almacenar y procesar información verbal de manera simultánea. Ninguno de estos estudios utilizó tareas de memoria viso-espacial.

El estudio de Swanson (2003), que compara sujetos con TAL y lectores hábiles de diferentes edades (7, 10, 13 y 20 años), muestra que los lectores con TAL presentan un menor desempeño que los lectores normales en tareas de MO, tanto verbal como visoespacial, pero en especial en aquellas con alta exigencia de procesamiento. Adicionalmente, Gathercole y colaboradores (2006) encontraron déficits en el EC con información verbal en niños con TAL. No obstante, dado que no se controló por dificultades en matemáticas y que el nivel de los niños en ellas correlacionó de manera significativa con el EC y con la MCP verbal (bucle fonológico) los resultados son de difícil interpretación. Por su parte, Pickering (2006) reporta algunas investigaciones no publicadas que muestran que los niños con TAL presentan puntajes bajos en el bucle fonológico, en especial en la repetición de pseudopalabras, y en el EC con información verbal, pero no en la agenda viso-espacial.

En síntesis, lo anterior parece indicar que respecto a uno de los dos trastornos del aprendizaje escolar más significativos, la lectura, los niños con TAL parecen evidenciar déficits en la mayoría de los componentes del modelo de MO de Baddeley y Hitch (1974), pero en especial en el bucle fonológico de la MO verbal, confirmándose así lo encontrado en las investigaciones descritas anteriormente con niños con un bajo rendimiento en lectura. Contrariamente, aún no hay claridad suficiente respecto a la naturaleza

y extensión del compromiso en la agenda visoespacial, hecho que muy seguramente ha tenido que ver con que no todos los estudios han utilizado medidas del EC con información viso-espacial debido a la no disponibilidad de muchas tareas confiables y válidas.

Respecto a los TAM, McLean y Hitch (1999) realizaron un estudio con un grupo de niños de 9 años con dificultades en el aprendizaje de las matemáticas que fue comparado con dos grupos control, uno por edad y otro por nivel de habilidades matemáticas. Los niños con dificultades en matemáticas evidenciaron una memoria fonológica normal pero un pobre recuerdo serial de dígitos, manifestando dificultades específicas para recordar estímulos numéricos. Adicionalmente, estos niños presentaron déficit en una tarea espacio-temporal de agenda viso-espacial y en las pruebas de EC, pero un desempeño normal en la memoria visual. Un estudio realizado por Miranda-Casas, Meliá-de Alba, Marco-Taverner, Roselló, y Mulas (2006) confirma las dificultades en la MO con información numérica pero además agrega un compromiso más amplio en la memoria temporo-visoespacial en niños con dificultades en matemáticas, con o sin trastorno de atención. No obstante, Bull y Johnston (1997), por su lado, encontraron que cuando se controla por nivel de lectura, la MCP no presenta un déficit fundamental en los niños con dificultades en matemáticas.

En dos estudios longitudinales con niños que presentaban dificultades en el aprendizaje de las matemáticas, con y sin dificultades en la lectura (Geary, Hamson, & Hoard, 2000; Geary, Hoard, & Hamson, 1999), se evidenció un bajo desempeño en la retención de dígitos inversa, siendo más permanente en aquellos que presentaban dificultades en ambas áreas. En un estudio posterior, Geary, Hoard, Byrd-Craven, y DeSoto (2004) encontraron que los niños con dificultades en matemáticas presentaban un déficit en la MO evaluada utilizando una tarea de span de conteo. Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent y Numtee (2007) realizaron un estudio de niños con TAM y de niños con desempeño bajo en matemáticas con la batería de memoria operativa *Working Memory Test Battery for Children* (Pickering & Gathercole, 2001) que es la batería más completa basada en el modelo de Baddeley y Hitch. El estudio encontró que los niños con un desempeño bajo en matemáticas, pero que no tenían TAM, no presentaban déficits en la MO y que los niños con TAM presentaban déficits en todos los componentes de MO; principalmente en el EC, pero también en el bucle fonológico y en la agenda viso-espacial.

Por su parte, Passolunghi y Mammarella (2010, 2012) reportaron compromiso de la MO espacial con demandas atencionales bajas o altas más no de la MO visual en niños con pobres habilidades para resolver problemas matemáticos y en niños con TAM. No obstante, en el segundo estudio el compromiso en MO espacial únicamente se presentó en los casos severos de TAM, que además se acompañaban de dificultades en la resolución de problemas, abriendo así la posibilidad de que finalmente el componente ejecutivo de lo espacial hubiese sido el responsable del TAM. No obstante, complementando los resultados de la exploración del funcionamiento de la MO en los TAM, el estudio de Anderson (2010), al igual que el de Geary et al. (2000) encontró que los niños con dificultades en las matemáticas sí presentaban una debilidad, aunque menor, en MO viso-espacial.

La investigación sobre el papel de la MO en los trastornos del aprendizaje también ha incluido estudios sobre la solución de problemas verbales aritméticos; en particular, vale la pena mencionar los realizados por Passolunghi y Siegel (2001, 2004). Ambos estudios encuentran que los niños con dificultades para resolver problemas verbales aritméticos evidencian un bajo desempeño en las pruebas del EC y de bucle fonológico con información numérica. Así pues, los estudios comentados en esta sección, en conjunto, muestran que los niños con TAM pueden evidenciar dificultades en todos los componentes del modelo de Baddeley y Hitch, en especial cuando se utiliza un criterio más estricto para determinar la composición del grupo a investigar. El déficit principal se observa en el EC. Es probable que en el bucle fonológico el déficit sólo sea evidente cuando se trate de contenido numérico y en la agenda viso-espacial cuando se empleen tareas que evalúen sus componentes temporo-espaciales y menos con tareas que sólo evalúen su componente visual.

### **Evaluación de los trastornos específicos del aprendizaje**

Desde las primeras definiciones de los TEA a mediados del siglo XX, se han enfatizado diversos aspectos para tratar de comprender una condición de bajo desempeño escolar crónico que parece inesperada. En primer lugar, de manera explícita o implícita, se ha postulado que un TEA implica una discrepancia entre la habilidad cognitiva, generalmente medida por una prueba tradicional de coeficiente intelectual (CI), como las escalas Wechsler, y

el desempeño académico. También se ha enfatizado en la presencia de un déficit en uno o más procesos psicológicos que afectan el aprendizaje: memoria, atención, procesos metalingüísticos, metacognición, etc. Por último, se ha supuesto la presencia de una disfunción en el sistema nervioso central y se han resaltado los criterios de exclusión, de tal manera que se postula que un TEA no se debe principalmente a escolaridad insuficiente, privación social, limitaciones sensoriales, disturbios emocionales o retardo mental (Kavale & Forness, 2000).

Con todo, desde los años 70 las cosas han cambiado y ahora el diagnóstico enfatiza el criterio de discrepancia sin tener en cuenta la presencia de déficit en uno o más de los procesos psicológicos que otrora permitiera explicar el origen de los TEA. De hecho, el DSM-IV TR (American Psychiatric Association, 2000) enfatiza únicamente los elementos de discrepancia y de exclusión, sin tener en cuenta la presencia de déficits en procesos cognitivos. No obstante, y esto debe ser ahora totalmente comprensible, un diagnóstico de TEA que sólo tenga en cuenta la discrepancia es incompleto ya que ignora otros aspectos importantes en los TEA que, muy seguramente, son el resultado de diferentes causas.

Este énfasis en la discrepancia para la determinación de un TEA ha recibido múltiples críticas, entre otras razones porque no predice eficientemente el rendimiento académico (Alloway, 2009, Alloway y Alloway 2010). Algunos autores han propuesto la eliminación del uso de pruebas de CI en la evaluación (Siegel, 1999; Stanovich, 1999) mientras que otros recomiendan no enfatizar los resultados de éstas (Vellutino, Scanlon & Lyon, 2000). Alternativamente, algunos investigadores resaltan la importancia de la aplicación de pruebas cognitivas y neuropsicológicas en la evaluación de niños con TEA y reconocen que la determinación de la discrepancia no puede hacerse con base en fórmulas con poca validez estadística y clínica. Además, las diferentes maneras de determinar la discrepancia hacen que el diagnóstico no sea confiable sino que dependa de la fórmula utilizada y de la persona que lo hace.

Según una nueva perspectiva, que hemos convenido en llamar cognitiva o neurocognitiva, el énfasis debe hacerse en la determinación de los procesos psicológicos básicos que afectan el desempeño escolar así como en el perfil de fortalezas y debilidades cognitivas. Esto a su vez, permitirá

diseñar planes educativos individualizados (Hale, Kaufman, Naglieri & Kavale, 2006; Kaufman & Kaufman, 2001; Kavale et al., 2009).

La revisión hecha en el presente artículo resalta la alta relación entre una función neurocognitiva transversal a la cognición, la MO, y el rendimiento académico. Los estudios revisados apoyan la idea de que la MO puede ser considerada como un proceso psicológico básico en el aprendizaje escolar y que, como tal, debe ser parte fundamental de una evaluación comprensiva de los niños con TEA. Por lo demás, dicha evaluación permitirá identificar el perfil de fortalezas y debilidades de los niños en los distintos componentes del modelo de Baddeley y Hitch, algo muy importante a tener en cuenta al momento de diseñar un plan de intervención.

## Discusión

Tanto los estudios longitudinales como los transeccionales revisados en este artículo, ya fuese con población escolar con desarrollo típico como con sujetos que presentaban algún trastorno en el aprendizaje, mostraron la significativa relación entre la MO y el desempeño escolar, además evidenciaron e hicieron más comprensible la idea de que las dificultades en cualesquiera de sus componentes - bucle fonológico, agenda viso-espacial o ejecutivo central - tienen un impacto significativo en el aprendizaje de los conceptos escolares.

Los estudios descritos en esta revisión dan soporte a una conceptualización de los TEA que enfatiza una explicación desde el funcionamiento de la MO; es decir, una explicación neurocognitiva. Las primeras conceptualizaciones sobre los TEA enfatizaron en la discrepancia entre la habilidad cognitiva, generalmente medida con una prueba de CI, y el rendimiento académico. Posteriormente se identificaron procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje de áreas académicas específicas como la consciencia fonológica con relación al aprendizaje de la decodificación lectura y el sentido numérico con relación al aprendizaje de la aritmética. Las investigaciones sobre la relación entre la MO y el desempeño escolar revisadas en el presente artículo, adicionalmente muestran que hoy en día la aproximación neurocognitiva ofrece una importante ventaja en la medida que permite explicar y no simplemente describir los TEA en diversas áreas escolares. Por lo demás, *mutatis mutandis*, las diferencias individuales en las capacidades medidas en los diversos dominios académicos, no podrían reflejar

otra cosa que las diferencias individuales en las habilidades neurocognitivas y, muy particularmente, en la MO.

Si tenemos en cuenta que es justamente la MO uno de los elementos más significativos de esa capacidad humana de procesar en cada momento, de manera flexible, nueva información (independientemente de su modalidad), la teoría evolutiva propuesta por Geary (2002, 2003, 2005a, 2005b, 2007) y su creencia más puntual respecto a que es la inteligencia fluida lo que mejor predice la facilidad para aprender las competencias académicas que se enseñan en la educación formal, debe resultar evidente. En efecto, la MO es, más allá de una definición técnica, parte integral de la inteligencia fluida. Ella, junto con los procesos atencionales y ejecutivos, con los cuales comparte su estructura, está a la puerta de entrada del procesamiento consciente de toda información, justamente lo que la escuela demanda.

Dado que los estudios revisados se centran en la edad escolar, es decir, cuando los niños están construyendo los conceptos científicos a instancias de la modificación guiada por los adultos de los conceptos cotidianos, es allí donde se han evidenciado las dificultades en MO y su incidencia relativa en el aprendizaje. No obstante, y teniendo en cuenta que el estudio de Gathercole et al. (2004) proveyó evidencia respecto a que la estructura modular básica del modelo con sus componentes de EC, bucle fonológico y agenda viso-espacial existe desde los seis años, resta preguntarse entonces cómo se evidencian las dificultades en la MO de los niños en la etapa preescolar de dicha habilidad que transcurre entre la casa y la escuela. Esta pregunta apunta principalmente a la importancia de realizar una caracterización temprana del desarrollo de la MO que quizás anticipe las dificultades ya bien reconocidas en el ambiente escolar. A este respecto, los trabajos de Nevo y Breznitz (2011, 2012) sobre el desarrollo de la MO y la adquisición de las habilidades de lectura muestran una fuerte relación entre las habilidades de memoria del complejo fonológico en el kinder y las de lectura en primer grado, hecho que lleva a los autores a sugerir que aún antes de la enseñanza formal de la lectura es importante reforzar las habilidades de MO para maximizar el logro futuro en lectura.

Llegados a este punto debe ser clara la justificación práctica de estudiar la relación revisada en este estudio entre los procesos psicológicos básicos y el aprendizaje escolar en los niños con y sin TEA con el fin de comprender

las diferencias en el aula de clase y plantear opciones de intervención terapéutica que tengan en cuenta fortalezas y debilidades cognitivas para propiciar un mejor desempeño académico. Finalmente, es preciso anotar que si bien es cierto que las funciones ejecutivas, y la MO en particular, resultan primordiales en la construcción de los conceptos secundarios, tanto las diferencias individuales en la adquisición de habilidades escolares puntuales (Swanson, 2011) como los TEA, como bien lo sugieren los estudios de Andersson y Östergren (2012) y Geary, Hoard, Nugent y Bailey (2012), parecen ser multideterminados.

## Referencias

- Alloway, T. P. (2009). Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. *European Journal of Psychological Assessment, 25*(2), 92-98.
- Alloway, T. P. (2011). A comparison of working memory profiles in children with ADHD and DCD. *Child Neuropsychology, 17*(5), 483-494.
- Alloway, T. P. & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology, 106*(1), 20-29.
- Alloway, T. P., & Archibald, L. (2008). Working memory and learning in children with developmental coordination disorder and specific language impairment. *Journal of Learning Disabilities, 41*(3), 251-262.
- Alloway, T. P., Rajendran, G., & Archibald, L. M. D. (2009). Working memory in children with developmental disorders. *Journal of Learning Disabilities, 42*(4), 372-382.
- Alloway, T. P., & Temple, K. J. (2007). A comparison of working memory skills and learning in children with developmental coordination disorder and moderate learning difficulties. *Applied Cognitive Psychology, 21*(4), 473-487.
- Alsina, A. (2007). ¿Por qué algunos niños tienen dificultades para calcular? Una aproximación desde el estudio de la memoria humana. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, 10*(3), 315-333.
- Alsina, A., y Sáiz-Roca, D. (2003). Un análisis comparativo del papel del bucle fonológico versus la agenda viso-espacial en el cálculo en niños de 7-8 años. *Psicothema, 15*(2), 241- 246.

- Alsina, À., y Sáiz-Roca, D. (2004). El papel de la memoria de trabajo en el cálculo mental un cuarto de siglo después de Hitch. *Infancia y Aprendizaje*, 27(1), 15-25.
- American Psychiatric Association. (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, DSM-IV-TR fourth edition (Text Revision)*. Washington, DC: APA.
- Anderson, U. (2010). Skill development in different components of arithmetic and basic cognitive functions: Findings from a 3-year longitudinal study of children with different types of learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 115-134.
- Anderson, U. & Östergren, R. (2012). Number magnitude processing and basic cognitive functions in children with mathematical learning disabilities. *Learning and Individual Differences*, 22(6), 701-714.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford Psychology Series, No. 11. New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 49A(1), 5-28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85-97.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2006). Working memory: An overview. En S. J. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (p. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. En G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (p. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Baqués, J., y Sáiz, D. (1999). Medidas simples y compuestas de memoria de trabajo y su relación con el aprendizaje de la lectura. *Psicothema*, 11(4), 737-745.
- Belacchi, C., Carretti, B. & Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(7), 1010-1020.
- Berch, D. B. (2005). Making sense of number sense: Implications for children with mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 38(4), 333-339.
- Bradley, L., & Bryant. P. E. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 301, 419-421.
- Bravo-Valdivieso, L., Bermeosolo, J., Pinto, A. y Oyarzo E. (1998). Comprensión lectora silenciosa y procesamiento fonológico: una relación que persiste. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 30(1), 31-48.
- Bull, R., & Johnston, R. S. (1997). Children's arithmetical difficulties: Contributions from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 65(1), 1-24.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 205-228.
- Bull, R., Johnston, R. S., & Roy, J. A. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 15(3), 421-442.
- Cadavid-Ruiz, N. y Del Río, P. (2012). Memoria de trabajo verbal y su relación con variables socio-demográficas en niños colombianos. *Acta Colombiana de Psicología*, 15(1), 99-109.
- Defior, S. y Serrano, F. (2011). Procesos Fonológicos Explícitos e Implícitos, Lectura y Dislexia. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 11(1), 79-94.
- De Jong, P. F., & Olson, R. K. (2004). Early predictors of letter knowledge. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(3), 254-273.
- De Jong, P. F. (1998). Working memory deficits of reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70(2), 75-96.

- Engel de Abreu, P. M. J., Conway, A. R. A. & Gathercole, S. E. (2010). Working memory and fluid intelligence in young children. *Intelligence*, 38(6), 552-561.
- Etchepareborda, C. y Abad-Mas, L. (2005). Memoria de trabajo en los procesos básicos del aprendizaje. *Revista de Neurología*, 40(Supl. 1), S79-83
- Fuster, J. M. (2001). The prefrontal cortex-An update: Time is of the essence. *Neuron*, 30(2), 319-333.
- García-Coni, A., Canet-Juric, L. y Andrés, M. L. (2010). Desarrollo de la flexibilidad cognitiva y de la memoria de trabajo en niños de 6 a 9 años de edad. *Revista Mexicana de Investigación en Psicología*, 2(1), 12-19
- García-Madruga, J. A. y Fernández-Corte, T. (2008). Memoria operativa, comprensión lectora y razonamiento en la educación secundaria. *Anuario de Psicología*, 39(1), 133-157.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000a). Assessment of working memory in six- and seven year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 377-390.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000b). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 177-194.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Kirkwood, H. J., Elliott, J. G., Holmes, J., & Hilton, K. A. (2008). Attentional and executive function behaviours in children with poor working memory. *Learning and Individual Differences*, 18(2), 214-223.
- Gathercole, S. E., Brown, L., & Pickering, S. J. (2003). Working memory assessments at school entry as longitudinal predictors of National Curriculum attainment levels. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 109-122.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1-16.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C., & Adams, A. M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 265-281.
- Geary, D. C. (2002). Principles of evolutionary educational psychology. *Learning and Individual Differences*, 12(4), 317-345.
- Geary, D. C. (2003). Evolución y desarrollo del conocimiento intuitivo: Implicaciones para el aprendizaje infantil. *Infancia y Aprendizaje*, 26(3), 287-308.
- Geary, D. C. (2005a). Folk knowledge and academic learning. En B. J. Ellis & D. F. Bjorklund (Eds.), *Origins of the social mind: Evolutionary psychology and child development*. (p. 493-519). New York, NY, US: Guilford Press.
- Geary, D. C. (2005b). *The origin of mind: Evolution of brain, cognition, and general intelligence*. Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Geary, D. C. (2007). An evolutionary perspective on learning disability in mathematics. *Developmental Neuropsychology*, 32(1), 471-519.
- Geary, D. C., Hamson, C. O., & Hoard, M. K. (2000). Numerical and arithmetical cognition: Longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(3), 236-263.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., & Hamson, C. O. (1999). Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 213-239.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., & DeSoto, M. C. (2004). Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(2), 121-151.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L., & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, 78(4), 1343-1359.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., & Bailey, D. H. Mathematical cognition deficits in children with learning disabilities and persistent low achievement: A five-year prospective study. *Journal of Educational Psychology*, 104(1), 206-223.
- Goldman-Rakic, P. S. (1999). The physiological approach: Functional architecture of working memory and

- disordered cognition in schizophrenia. *Biological Psychiatry*, 46(5), 650-661.
- Gutiérrez, F., García-Madruga, J. A., Elosúa, R., Luque, J. L. y Gárate, M. (2002). Memoria operativa y comprensión lectora: algunas cuestiones básicas. *Acción Psicológica*, 1(1), 45-68.
- Hale, J. B., Kaufman, A., Naglieri, J. A., & Kavale, K. A. (2006). Implementation of IDEA: integrating response to intervention and cognitive assessment methods. *Psychology in the Schools*, 43(7), 753-770.
- Jarvis, H. L., & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on National Curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20(3), 123-140.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47-70.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 30(2), 169-183.
- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science*, 18(7), 614-621.
- Karpov, Y. V. (2003a). Vygotsky's doctrine of scientific concepts: Its role for contemporary education. En A. Kozulin, V. S. Ageyev, S. M. Miller, & B. Gindis (Eds.), *Vygotsky's educational theory in cultural context*. (p. 65-82). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Karpov, Y. V. (2003b). Development through the lifespan: A neo-Vygotskian approach. En A. Kozulin, V. S. Ageyev, S. M. Miller, & B. Gindis (Eds.), *Vygotsky's educational theory in cultural context*. (p. 138-155). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Karpov, Y. V. (2005). *The neo-Vygotskian approach to child development*. New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Karpov, Y. V. (2006). Neo-Vygotskian activity theory: Merging Vygotsky's and Piaget's theories of cognitive development. En M. A. Vanchevsky (Ed.), *Frontiers in cognitive psychology*. (pp. 31-51). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2001). Assessment of specific learning disabilities in the new millennium: Issues, conflicts, and controversies. En A. S. Kaufman & N. L. Kaufman (Eds.), *Specific learning disabilities and difficulties in children and adolescents: Psychological assessment and evaluation*. (p. 433-461). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Kavale, K. A., & Forness, S. R. (2000). What definitions of learning disability say and don't say: A critical analysis. *Journal of Learning Disabilities*, 33(3), 239-256.
- Kavale, K. A., Spaulding, L. S., & Beam, A. P. (2009). A time to define: Making the specific learning disability definition prescribe specific learning disability. *Learning Disability Quarterly*, 32(1), 39-48.
- Locuniak, M. N., & Jordan, N. C. (2008). Using kindergarten number sense to predict calculation fluency in second grade. *Journal of Learning Disabilities*, 41(5), 451-459.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory: Essays in cognitive psychology*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- López, M. (2011). Papel de las memorias de trabajo verbal y espacial en el cálculo. *Acta Psiquiátrica y Psicológica de América Latina*, 57(1), 11-16.
- Martinussen, R., & Tannock, R. (2006). Working Memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without comorbid language learning disorders. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(7), 1073-1094.
- McLean, J. F., & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74(3), 240-260.
- Miranda-Casas, A., Meliá-de Alba, A., Marco-Taverner, R., Roselló, B., & Mulas, F. (2006). Dificultades en el aprendizaje de matemáticas en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad. *Revista de Neurología*, 42(Supl. 2), S163-S170.
- Navalón, C., Ato, M. y Rabadán, R. (1989). El papel de la memoria de trabajo en la adquisición lectora en niños de habla castellana. *Infancia y Aprendizaje*, 45, 85-106.

- Nevo, E. & Breznitz, Z. (2011). Assessment of working memory components at 6 years of age as predictors of reading achievements a year later. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(1), 73-90.
- Nevo, E. & Breznitz, Z. (2013). The development of working memory from kindergarten to first grade in children with different decoding skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114(2), 217-228.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. En R. J. Davidson, G. E. Shwarts, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory*, Vol. 4 (pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- Passolunghi, M. C., & Mammarella, I. C. (2010). Spatial and visual working memory ability in children with difficulties in arithmetic word problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(6), 944-963.
- Passolunghi, M. C., & Mammarella, I. C. (2012). Selective spatial working memory impairment in a group of children with mathematics learning disabilities and poor problem-solving skills. *Journal of Learning Disabilities*, 45(4), 341-350.
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(1), 44-57.
- Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(4), 348-367.
- Petrides, M. (2000). Dissociable roles of mid-dorsolateral prefrontal and anterior Inferotemporal cortex in visual working memory. *Journal of Neuroscience*, 20(19), 7496-7503.
- Pickering, S. J., & Gathercole, S. E. (2001). *Working memory test battery for children (WMTBC)*. Oxford, UK: Pearson Education.
- Pickering, S. J. (2001a). Cognitive approaches to the fractionation of visuo-spatial working memory. *Cortex*, 37(4), 457-473.
- Pickering, S. J. (2001b). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9(4-6), 423-432.
- Pickering, S. J. (2006). Working memory in dyslexia. En T. P. Alloway, & S. E. Gathercole(Eds.), *Working memory and neurodevelopmental disorders*. (p. 7-40). New York, NY, US: Psychology Press.
- Pickering, S. J., & Gathercole, S. E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with special educational needs. *Educational Psychology*, 24(3), 393-408.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., & Peaker, S. M. (1998). Verbal and visuospatial short-term memory in children: Evidence for common and distinct mechanisms. *Memory and Cognition*, 26(6), 1117-1130.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., Hall, M., & Lloyd, S. A. (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 54A(2), 397-420.
- Postle, B. R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139(1), 23-38.
- Riggs, K. J., McTaggart, J., Simpson, A. & Freeman, R.P.J. (2006). Changes in the capacity of visual working memory in 5- to 10-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 95(1), 18-26.
- Romero-Ayuso, D. M., Maestú, F., González-Marqués, J., Romo-Barrientos, C. y Andrade, J. M. (2006). Disfunción ejecutiva en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad en la infancia. *Revista de Neurología*, 42(5), 265-271.
- Sánchez, F. J., Tabullo, A. J. Marro, C., Sánchez, M.L., Yorio, A. A. & Segura, E. (2009). Efectos del desarrollo en la memoria de trabajo y el aprendizaje de categorías en niños. *Anuario de Investigaciones*, XVI, 307-312.
- Siegel, L. S. (1999). Issues in the definition and diagnosis of learning disabilities: A perspective on Guckenberger vs. Boston University. *Journal of Learning Disabilities*, 32(4), 304-319.
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60(4), 973-980.
- Sierra-Fitzgerald, O. & Rosero-Pahi, M. (2003). Lectura con significado en un caso de hiperlexia: Factores y mecanismos neurocognoscitivos implicados en el aprendizaje espontáneo y precoz de la lectura. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 5, 160-88.

- Simmons, F. R., Willis, C. & Adams, A. M. (2012). Different components of working memory have different relationships with different mathematical skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(2), 139-155.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33(1), 5-42.
- Stanovich, K. E. (1999). The sociopsychometrics of learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 32(4), 350-361
- Stanovich, K. E., Siegel, L. S., & Gottardo, A. (1997). Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 114-127.
- Stone, B., & Brady, S. (1995). Evidence for phonological processing deficits in less-skilled readers. *Annals of Dyslexia*, 45, 51-78.
- Swanson, H. L. (2003). Age-related differences in learning disabled and skilled readers' working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 85(1), 1-31.
- Swanson, H. L. (2011). Working memory, attention, and mathematical problem solving: A longitudinal study of elementary school children. *Journal of Educational Psychology*, 103(4), 821-837.
- Tillman, C., Eninger, L., Forssman, L. & Bohlin, G. (2011). The relation between working memory components and ADHD symptoms from a developmental perspective. *Developmental Neuropsychology*, 36(2), 181-198.
- Tranel, D., Grabowski, T. J., Lyon, J., & Damasio, H. (2005). Naming the same entities from visual or from auditory stimulation engages similar regions of left inferotemporal cortices. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(8), 1293-1305.
- Vellutino, F. R., Scanlon, D. M., & Lyon, G. R. (2000). Differentiating between difficult-to remediate and readily remediated poor readers: More evidence against the IQ-achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 33(3), 223-238.
- Vellutino, F. R., Tunmer, W. E., Jaccard, J. J., & Chen, R. (2007). Components of reading ability: Multivariate evidence for a convergent skills model of reading development. *Scientific Studies of Reading*, 11(1), 3-32.
- Vygotski, L. S. (1934/2001). *Lenguaje y pensamiento. Obras Escogidas, Vol II*. Madrid: A. Machado Libros.
- Wagner, R. K., & Muse, A. (2006). Short-term memory deficits in developmental dyslexia. En T.P. Alloway & S. E. Gathercole (Eds.), *Working Memory and Neurodevelopmental Disorders*. (p. 41-57). New York, NY, US: Psychology Press.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., Hecht, S. A., Barker, T. A., Burgess, S. R., Donahue, J., & Garon, T. (1997). Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A 5-year longitudinal study. *Developmental Psychology*, 33(3), 468-479.

