

ORIGINALES / ORIGINAL PAPERS

MEMORIA DE TRABAJO Y APRENDIZAJE: APORTES DE LA NEUROPSICOLOGÍA

Magdalena López¹

Resumen

Actualmente la memoria de trabajo constituye un concepto que ha logrado consenso científico, al ser concebido como un sistema cerebral que proporciona almacenamiento temporal y manipulación de la información necesaria para tareas cognitivas complejas, como la comprensión del lenguaje, el aprendizaje y el razonamiento (Gathercole, Alloway, Willis & Adam, 2006; Baddeley, 1986; Just & Carpenter, 1992). El avance tecnológico y científico en neuropsicología ha posibilitado numerosos aportes, descubrimientos que posibilitan la integración de saberes y experiencias procedentes de campos disciplinares diferentes. El estudio de la organización funcional de la memoria de trabajo, con la aparición de técnicas de neuroimagen, ha posibilitado entender la compleja red de conexiones y relaciones que posee. Se propone una revisión sobre la evolución del concepto de memoria de trabajo para comprender mejor un sistema al que se le atribuye gran incidencia en el aprendizaje.

Palabras claves: Memoria de trabajo; Aprendizaje; Neuropsicología.

¹ Doctora en Psicología, CIIPME - Universidad Católica Argentina. Buenos Aires 239 - 3100 Paraná, Entre Ríos, Argentina. Contacto: magdalenaglopez@gmail.com

WORKING MEMORY AND LEARNING: CONTRIBUTIONS OF NEUROPSYCHOLOGY

Magdalena López²

Abstract

Currently working memory is a concept that has achieved scientific consensus to conceive it as a brain system that provides temporary storage and manipulation of necessary information for complex cognitive tasks as language comprehension, learning and reasoning (Gathercole, Alloway, Willis & Adam, 2006; Baddeley, 1986; Just & Carpenter, 1992). The technological and scientific advance in neuropsychology has enabled many contributions, discoveries that enable the knowledge and experience integration from different disciplinary fields. The study of the functional organization of working memory, with the advent of neuroimaging techniques has made it possible to understand the complex web of connections and relationships it has. We propose a review of the evolution of the concept of working memory to better understand a system that is credited with significant impact on learning.

Keywords: working memory; learning; neuropsychology

² Doctora en Psicología, CIIPME - Universidad Católica Argentina. Buenos Aires 239 - 3100 Paraná, Entre Ríos, Argentina. Contacto: magdalenaglopez@gmail.com

MEMÓRIA DE TRABALHO E APRENDIZAGEM: CONTRIBUIÇÕES DA NEUROPSICOLOGIA

Magdalena López³

Resumo

Atualmente a memória do trabalho constitui um conceito que conseguiu consenso científico, ao ser concebido como um sistema cerebral que proporciona armazenamento temporal e manipulação da compreensão necessária para tarefas cognitivas complexas, como a compreensão da linguagem, aprendizagem e raciocínio (Gathercole, Alloway, Willis & Adam, 2006; Baddeley, 1986; Just & Carpenter, 1992). O avanço tecnológico e científico em neuropsicologia possibilitou numerosas contribuições, descobrimentos que possibilitam a integração de saberes e experiências procedentes de campos disciplinares diferentes. O estudo da organização funcional da memória do trabalho, com o aparecimento de técnicas de neuroimagem, possibilitou entender a complexa rede de conexões e relações que possui. Se propõe uma revisão sobre a evolução do conceito de memória do trabalho para compreender melhor um sistema ao que se atribue grande incidência na aprendizagem.

Palavras chaves: memória do trabalho; aprendizagem; neuropsicologia.

³ Doctora en Psicología, CIIPME - Universidad Católica Argentina. Buenos Aires 239 - 3100 Paraná, Entre Ríos, Argentina. Contacto: magdalenaglopez@gmail.com

Introducción

En los últimos años las investigaciones en neuropsicología están realizando numerosos aportes que posibilitan la integración de saberes y experiencias procedentes de campos disciplinares diferentes. Esto nos ofrece la posibilidad de conocer, de forma cada vez más integral, la manera en que tienen lugar procesos psicológicos complejos. La memoria de trabajo es uno de los procesos psicológicos básicos que interviene en forma relevante en los aprendizajes elementales. Consideramos importante analizar como evoluciona este concepto y dar a conocer su incidencia en el aprendizaje.

La Neuropsicología nos brinda una nueva perspectiva para comprender los procesos de aprendizaje normal y los trastornos de aprendizaje. Actualmente conocemos que el desarrollo de las estrategias de memoria es un proceso que comienza en el niño desde sus primeros años, flexibilizándose y ampliándose progresivamente, a medida que adquiere más conocimientos y experiencias.

Las actividades que el niño debe afrontar poniendo en juego constantemente la resolución de tareas y los problemas cognitivos, son un factor clave para el desarrollo de la conducta estratégica del niño, permitiendo una progresiva adquisición y extensión de la misma. Respetar la maduración estructural de las diversas regiones encefálicas y de sus conexiones, constituye una condición necesaria para la adquisición de habilidades cognitivas. Comprender por qué las personas aprenden determinadas nociones a determinadas edades y

condiciones y no en otras y conocer los procesos que inciden en los aprendizajes, posibilita el desarrollo de estrategias y métodos de trabajo más eficaces, adecuados y favorables.

Antecedentes del tema

Hasta principios del siglo XIX, el estudio de la actividad mental normal era una parte de la filosofía, y el método principal para la comprensión de la mente fue la introspección. A mediados del siglo XIX se comenzó a dar paso a la metodología experimental que finalmente llevó a la psicología experimental. Se desarrollaron por primera vez en seres humanos métodos experimentales de estudio del aprendizaje y la memoria, como los de Ebbinghaus en 1885 y un año más tarde, experimentos con animales llevados a cabo por Pavlov y Thorndike condujeron a una escuela empírica rigurosa de la psicología llamada conductismo.

Los conductistas, en particular Watson y Skinner, argumentaban que el comportamiento podría ser estudiado con la precisión alcanzada en la ciencia física, pero sólo si se abandonaba la idea de estudiar lo que ocurre en la mente (el cerebro) y se centró en cambio en los aspectos observables de la conducta. Para los conductistas, los procesos mentales no observables, especialmente abstracciones como la percepción, la atención selectiva y la memoria, eran inaccesibles para los estudios científicos.

En la década de 1960, los fundadores de la psicología cognitiva George Miller, Ulric Neisser y Herbert Simon, entre otros, convencieron a la comunidad de

científicos sobre la estrechez del conductismo. Trataron de demostrar que nuestro conocimiento del mundo se basa en nuestro aparato biológico para percibirlo, y que la percepción, que es un proceso constructivo, depende no sólo de la información inherente a un estímulo, sino también de su procesamiento mental. Así, la psicología cognitiva se ocupa también de analizar el proceso por el cual la información sensorial se transforma en percepción y acción, es decir, se centra en la evaluación de cómo un estímulo conduce a una respuesta de comportamiento en particular.

Estaba implícito en el desarrollo cognitivo de la conducta que cada percepción o acto motor tiene una representación interna en el cerebro: una representación de la información en los patrones de actividad neuronal. Pero sin un acceso directo a los sustratos neurales de las representaciones internas se dificultó entender el camino de la percepción a la acción.

La necesidad de mayor conocimiento anatómico dio lugar a un renacimiento de la neuroanatomía, evidente en el desarrollo de nuevas técnicas de rastreo de las conexiones entre las neuronas. La búsqueda de nuevos métodos neuroanatómicos y la necesidad de observar la función llevó a la aplicación de técnicas de neuroimagen: la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética funcional (RMf) para la exploración de los problemas cognitivos.

Estudiosos del cerebro y el comportamiento como Karl Lashley y Donald Hebb utilizaron el término

neuropsicología para abarcar tanto los estudios con animales de experimentación como los estudios en seres humanos.

Lashley en 1929, formuló la ley de acción de masas, de acuerdo a la cual la extensión del defecto en la memoria se correlaciona con el tamaño de la zona cortical, independientemente de su ubicación específica. Para explicar la ley de Lashley, Hebb, en 1949 sugirió que las células trabajan juntas para representar la información y que estos conjuntos están distribuidos en grandes áreas de la corteza cerebral.

Con la acumulación de pruebas complementarias se hizo evidente que no existe un solo centro de la memoria, y muchas partes del sistema nervioso participan en la representación de cualquier tipo de evento.

El estudio de los pacientes con amnesia también puso en evidencia que al afectarse selectivamente la memoria para hechos recientes y conservarse relativamente intacta la memoria para hechos más remotos, existía una diferencia entre el sustrato anatómico de las memorias de corto y de largo plazo. El constructo de memoria de trabajo evolucionó a partir de modelos de memoria que postulaban la existencia de diferentes almacenes a corto plazo.

Existe consenso científico de que la memoria de trabajo implica el almacenamiento temporal de información para su utilización en tareas cognitivas complejas, que requieren procesamiento o algún tipo de modificación o integración de la información.

La memoria a corto plazo es a menudo equiparada a la Memoria de Trabajo, incluso pueden ser consideradas una misma entidad, atendiendo a los aspectos comunes sobre los que se postula, excepto por la consideración de un componente múltiple en la memoria de trabajo, en contraposición a una concepción unitaria del almacén a corto plazo.

La Memoria de Trabajo

En el siglo pasado la concepción más conocida sobre la manera como ocurren los fenómenos asociados con la memoria en humanos se conocía con el nombre de “Gateway Theory” (Atkinson & Shiffring, 1968). Esta aproximación consideraba el proceso de la información mnémica de manera lineal, como una sucesión de estadios o etapas de procesamiento a lo largo de un continuo temporal (McCarthy & Warrington, 1990).

En el modelo de Atkinson y Shiffring se postulaba específicamente una secuencia de “almacenes de memoria”, organizados de acuerdo con la duración de la información, y que la retenían en intervalos progresivamente más largos.

Estos almacenes incluían las “memorias sensoriales” ultracortas, asociadas con los procesos de percepción, para luego pasar a un almacén de “corto plazo”, de capacidad limitada. La información que resultaba apropiadamente codificada y fortalecida mediante la repetición y la actualización, era transferida desde el almacén de corto plazo o “memoria primaria”, al “almacén de largo plazo” o “memoria secundaria”, en donde la información se mantenía de manera

relativamente permanente (Baddeley, 2003b; McCarthy & Warrington 1990).

Este modelo de procesamiento donde hay una relación de secuencialidad temporal entre las memorias, presume que una alteración del almacén de memoria de corto plazo necesariamente comportaría una alteración en el almacén de largo plazo.

Contrariamente, en la clínica se presentan casos en los cuales pacientes con una memoria a corto plazo muy deficiente presentan una memoria a largo plazo aparentemente normal sin poder dar cuenta de los efectos de diversas tareas concurrentes en el aprendizaje, la comprensión o el razonamiento.

El estudio de los pacientes neuropsicológicos demostró que el daño en los lóbulos temporales podría conducir a la afectación de la capacidad de nuevos aprendizajes, dejando al mismo tiempo el rendimiento en tareas a corto plazo no afectado (Baddeley & Warrington, 1970; Milner, 1966). Exactamente un patrón opuesto encontró Shallice y Warrington (1970); los pacientes que habían sido diagnosticados previamente con afasia de conducción, mostraron que había un déficit específico en la memoria a corto plazo. Esta evidencia llevó a considerar que no se trataba de componentes de una secuencia lineal obligatoria, sino de fenómenos relativamente independientes cuya organización podría ser “en paralelo”, surgiendo así un nuevo concepto de memoria.

Baddeley y Hitch se constituyen en el referente principal del modelo de memoria de trabajo de múltiples componentes, presentando en 1974 el

modelo de tres componentes, el cual constituye, sin duda, la aproximación conceptual más ampliamente aceptada para el fenómeno de la memoria operativa (Baddeley, 2003 b).

Este modelo de memoria operativa pretendía una reconceptualización de la memoria a corto plazo y se basaba en la descripción y análisis de sus procesos y funciones.

Fue así que a principios de los setenta se redefinió el concepto de memoria a corto plazo diferenciándola de la memoria de trabajo, la cual, según Alan Baddeley (1992), es un sistema cerebral que proporciona almacenamiento temporal y manipulación de la información necesaria para tareas cognitivas complejas, como la comprensión del lenguaje, el aprendizaje y el razonamiento (Gathercole, Alloway, Willis & Adam, 2006; Baddeley, 1986; Just & Carpenter, 1992). Consiste en un mecanismo de almacenamiento activo y en mecanismos especializados de almacenamiento provisional que sólo entran en juego cuando es preciso retener un tipo de información específica.

Con la presentación de este modelo se plantea un cambio de concepción, desde una visión puramente estructural y temporal de la memoria a corto plazo hacia una visión funcional entendida como un sistema operativo que mantiene o almacena temporalmente la información necesaria para ejecutar tareas cognitivas.

Baddeley y Hitch sostenían una distinción entre el almacenamiento (espacio de almacenamiento) y las capacidades de procesamiento (espacio de operación) para dar cuenta del desarrollo de los

aumentos en el rendimiento. El concepto de memoria de trabajo fue sustituido por una concepción más dinámica que el mero almacenamiento, procesamiento, manipulación e integración (Unsworth & Engle 2007).

Para Baddeley y Hitch (1974), el sistema de memoria podría manipular simultáneamente el contenido de la misma, así como actualizar la información en la memoria para alcanzar las metas de tareas. El carácter funcional de este sistema es evidente cuando se necesita mantener la información en el corto plazo en tareas tan diversas como la comprensión y el razonamiento. Dada la necesidad del sistema para los procesos cognitivos como el razonamiento y la lectura, los investigadores plantearon la hipótesis de que la variación individual en el sistema debe estar relacionada con el desempeño en tareas cognitivas.

El desarrollo del concepto de sistema unitario de memoria a un sistema multicomponente de memoria de trabajo ha resultado muy fructífera, tanto en la investigación teórica como aplicada.

La memoria de trabajo establece un vínculo fundamental entre la percepción, la atención, la memoria y la acción. Como un área que ya ha demostrado el valor de la combinación de los métodos y conceptos de la psicología cognitiva con los de la neurobiología, la memoria de trabajo parece probable que continúe desempeñando un papel vivo y productivo en el desarrollo de la disciplina de la neurociencia cognitiva (Baddeley, 1996a).

Modelo de Memoria de Trabajo Multicomponente

El modelo de Baddeley y Hitch constituye la aproximación conceptual más ampliamente aceptada para explicar el fenómeno de la memoria operativa.

Como fue mencionado anteriormente, Baddeley y Hitch postularon un modelo multicomponente de memoria de trabajo. Encontramos un controlador atencional, al que llamaron el ejecutivo central, que funciona como enlace entre la memoria a largo plazo y dos sistemas subsidiarios. Estos sistemas combinan la capacidad de almacenamiento temporal de información con un grupo activo de procesos de control, que permite que la información sea registrada intencionalmente y mantenida dentro del subsistema y que son el bucle fonológico y la agenda visoespacial.

El Componente Bucle Fonológico

Es el componente responsable de preservar la información basada en el lenguaje. El bucle tendría por misión almacenar información de tipo lingüístico. Esta información puede provenir tanto de inputs externos como del interior del propio sistema cognitivo. De esta manera se propone un sistema que procesa información auditiva, especialmente lenguaje hablado, denominado el “dispositivo fonológico”, el cual a su vez está conformado por al menos dos componentes: 1) un almacén temporal de información acústica cuyos contenidos desaparecen espontáneamente en un rango de menos de tres segundos, a

menos que sean fortalecidos mediante la actualización o la repetición y 2) un sistema de mantenimiento de la información acústica-verbal (habla), que mediante la re-actualización articulatoria repetitiva permite mantener indefinidamente la información (Baddeley, 2003b).

El Bucle Fonológico es el componente más desarrollado del modelo de memoria de trabajo. Se asume que comprende un almacén fonológico temporal en el que las huellas mnésicas decaen a los pocos segundos, salvo que se intensifique mediante la práctica articulatoria que revive la huella de la memoria (Baddeley, 1996a).

Fonológicamente, las secuencias similares son más propensas a errores porque tienen menos características distintivas, siendo más vulnerables al olvido. El proceso de ensayo subvocal se refleja en el efecto de longitud de la palabra, por el cual una secuencia de palabras largas es mucho más difícil de recordar que palabras monosílabas.

El proceso de ensayo no tiene que ser evidente ya que incluso los pacientes que han perdido la capacidad de articular como consecuencia de una lesión periférica, pueden seguir mostrando todos los signos de ensayo subvocal, incluyendo el efecto de longitud de palabra (Baddeley, 1996a).

Baddeley (1966a) demostró, que la memoria inmediata no era influida por la similitud en el sentido de las palabras y que éstas son casi tan fáciles de recordar como una serie de adjetivos con significados diferentes. Esta es una característica de la memoria a corto plazo.

Respecto de la memoria a largo plazo observo que al presentar listas de 10 palabras donde se requería aprender la secuencia a través de una serie de ensayos, la similitud de significado se volvía importante y la similitud fonética perdía su efecto (Baddeley, 1996b).

Los fenómenos generales asociados con el bucle fonológico parecen estar bien establecidos. Además, el desarrollo de técnicas de exploración como la tomografía por emisión de positrones ha permitido identificar a los subcomponentes con determinadas regiones anatómicas.

El almacén fonológico, al parecer, depende de la región perisilviana izquierda mientras que el sistema de ensayo de articulación parece reflejar el funcionamiento del área de Broca (Paulesu, Frith & Frackowiak, 1993; Jonides, Smith, Koeppe, Awh, Minoshima & Mintun, 1993).

Baddeley, Papagno y Vallar (1988) plantean que el bucle fonológico pueden ser necesario para el aprendizaje fonológico nuevo, algo de vital importancia para el niño que está adquiriendo el lenguaje y para un adulto si está tratando de aprender un nuevo idioma. La hipótesis fue probada al exigir a un paciente con un déficit de memoria fonológica aprender una serie de palabras en un idioma desconocido. Estudios posteriores demostraron que la capacidad de escuchar y repetir es un excelente predictor de la adquisición de nuevo vocabulario, tanto en los niños que adquieren su primera lengua (Gathercole & Baddeley, 1993) como también para la segunda lengua (Service, 1992).

Por lo tanto parece que el bucle fonológico se ha desarrollado como un componente crucial del sistema de adquisición del lenguaje (Baddeley, 1996a).

El bucle fonológico se adapta particularmente a la retención de información secuencial y su función se refleja muy claramente en la tarea de memoria en la que una secuencia de elementos debe repetirse en el mismo orden, inmediatamente después de su presentación.

El Componente Agenda Viso - Espacial

La agenda viso espacial es el sistema responsable de preservar y procesar información de naturaleza visual y espacial proveniente tanto del sistema de percepción visual como del interior de la propia mente.

La agenda visoespacial parece ser algo más difícil de investigar que el componente anterior debido, al menos en parte, a su mayor complejidad. Según Baddeley (1996a) la información visual y espacial se maneja por separado, pero interactúan fuertemente. Este autor también plantea como probable que el uso de las imágenes visuales es menos practicado o automático que la codificación fonológica y en consecuencia las tareas con la agenda parecen demandar más al ejecutivo central.

Logie (1995) ha propuesto un fraccionamiento de la agenda análoga al bucle. Distingue entre un componente de almacenamiento visual y otro espacial. Mover el brazo siguiendo un patrón secuencial generalmente produce peor rendimiento en el recuerdo de una secuencia espacial (por ej. la tarea de cubos de Corsi) pero no en el recuerdo de figuras, o tonalidades de color, en tanto que el recuerdo de colores o de imágenes mentales se ve interferido selectivamente por una tarea interpolada que requiera mirar figuras o patrones visuales (Logie, 1995; Logie & Marchetti, 1991, Quinn & McConnell, 1999).

Los estudios neuropsicológicos también brindan evidencia de la separación de los componentes visuales y espaciales. Se ha descrito que los pacientes muestran un patrón de interrupción de las imágenes espaciales cuando participan en actividades tales como la rotación de la imagen o la representación de lugares o rutas en el espacio, manteniendo al mismo tiempo la capacidad de utilizar las imágenes para hacer juicios sobre la forma o el color de los objetos familiares (Farah, Hammond, Levine & Calvanio, 1988). Sin embargo, otros pacientes presentan el patrón opuesto al de la interrupción, con insuficiencias espaciales que tienden a ser asociadas a lesiones en los lóbulos parietales, mientras que la deficiencia visual están más comúnmente asociada a daño en el lóbulo occipital (Farah, et.al., 1988; Hanley, Young & Pearson, 1991). Más recientemente, la tomografía por emisión de positrones ha indicado al menos cuatro lugares que están probablemente implicados en el funcionamiento de la agenda visual y espacial, incluidas las zonas dentro de los

lóbulos occipital, parietal y frontal (Jonides, et.al., 1993).

Baddeley (2003a) plantea que este subsistema de la memoria de trabajo tiene la función de la integración espacial, de la información visual y cinestésica en una representación unificada que puede ser temporalmente almacenada y manipulada.

La investigación ha indicado que, dependiendo de la tarea de memoria, el almacenamiento puede ser principalmente espacial (Baddeley & Lieberman, 1980), principalmente visual- representado por el color y la forma (Logie, 1986), o posiblemente motor o kinestésico (Smith & Pendleton, 1990). Tanto la lesión y los estudios por neuroimagen indican que el sistema es principalmente pero no exclusivamente dependiente del hemisferio derecho del cerebro (Smith & Jonides, 1997).

Parece que este sistema estaría involucrado en tareas de lectura diaria, participando en el mantenimiento de una representación de la página y su diseño y de que permanezcan estables facilitando tareas como el movimiento de los ojos con precisión desde el final de una línea a principios de la siguiente (Baddeley, 2003a).

La agenda visoespacial permite que el mundo visual persista en el tiempo, haciendo detallada la retención visual y características como el color, ubicación y forma dentro de una dimensión determinada, que compiten por la capacidad de almacenamiento (Baddeley 2003b).

La capacidad de mantener y manipular representaciones visuo - espaciales proporciona una medida de la inteligencia no verbal que predice éxitos en campos como la arquitectura y la ingeniería (Purcell & Gero, 1998; Verstijnen, van Leeuwen Goldschmidt, Haeml & Hennessey, 1998).

Por analogía con el papel del bucle fonológico en la adquisición del lenguaje, Baddeley (2003b) se supone que la agenda podría tener un papel en la adquisición de conocimiento semántico acerca de la apariencia de los objetos y cómo usarlos, y en la comprensión de los sistemas complejos tales como maquinarias, así como para la orientación espacial y los conocimientos geográficos. Los planteamientos de Baddeley (2000) indican que, aunque los sistemas subsidiarios, verbal y visual del modelo convencional de la memoria de trabajo pueden explicar muchos datos, la evidencia derivada de pacientes con déficit de memoria a corto plazo o dificultades en recuerdo seriado, así como del recuerdo de prosa (con un span verbal muy superior al de palabras aisladas), lleva a presuponer la existencia de un almacén de apoyo adicional.

Se evidencia la necesidad de asumir un nuevo mecanismo que combine la información de varios subsistemas en una forma de representación temporal. Para esta nueva representación, Baddeley (2000) propone el término de almacén episódico.

El Componente Episódico

En la década de 1990 se había tratado de especificar más claramente el papel del ejecutivo central al proponer que sus funciones eran las de un sistema de control atencional, abandonando la idea de que también tenía un capacidad de almacenamiento. Una serie de fenómenos hacen pensar a los autores sobre la existencia de un sistema que permitiría que los códigos visuales y verbales se combinen y vinculen en varias representaciones tridimensionales en la memoria a largo plazo. Por otro lado, detectan que el almacenamiento temporal de materiales es superior a la capacidad de cualquiera de los subsistemas periféricos verbal o visuoespacial (Baddeley & Logie, 1999, extraído de Baddeley 2003a).

En el año 2000, Alan Baddeley (2000) propuso una versión revisada del modelo original de tres componentes en la que añadió un cuarto almacén episódico como componente. Éste cuenta con un sistema que puede integrar la información de los otros dos componentes esclavos y la memoria a largo plazo y puede temporalmente almacenar esta información en forma de una representación episódica (Baddeley, 1996 b).

Según Baddeley (2000) es un sistema de almacenamiento temporal capaz de integrar información de distintas fuentes, probablemente controlado por el ejecutivo central.

Es episódico en el sentido de que sostiene episodios en los que la información es integrada a través del espacio y, posiblemente, extendida en el tiempo. Puede estar preservado en pacientes con densa amnesia y grave alteración de la memoria episódica a largo plazo.

Se considera entonces que el almacén episódico puede guardar información en un código multidimensional, como una estación temporal entre los sistemas subsidiarios y la memoria a largo plazo. A su vez, se cree que lo controla el ejecutivo central que sería el responsable de ligar información de diferentes fuentes en episodios coherentes que se podrían recuperar conscientemente.

Este componente no ha sido evaluado en nuestro estudio, debido a la escasa investigación al momento de comenzar nuestro trabajo, incluso hasta el momento no se encuentran pruebas específicas para evaluarlo.

El Componente Ejecutivo Central

En este modelo el ejecutivo central se apoya en el bucle fonológico y en la agenda visual y espacial, que están especializados en el almacenamiento y procesamiento de información verbal y visual-espacial, respectivamente. Es el responsable de la selección y el funcionamiento de estrategias, y del mantenimiento y alternancia de la atención en forma proporcional a la necesidad.

El ejecutivo central es responsable del control de la atención de la memoria de trabajo (Baddeley, 1996 a). Baddeley

(1986) propuso adoptar el concepto de un *sistema atencional supervisor* propuesto por Norman y Shallice (1980) como la base del ejecutivo central. En este modelo se entiende que la conducta habitual es controlada por esquemas o estructuras bien aprendidas. Cuando se requiere de una acción novedosa, como puede ser en el momento de tener que enfrentarse con un problema inesperado, el sistema atencional supervisor se sobrepone a los esquemas. Este sistema también es responsable de la planificación y de la coordinación de actividades.

El componente ejecutivo central sigue siendo poco estudiado a pesar de que es el componente más importante en términos de su impacto general sobre la cognición (Baddeley, 1996 b). Dentro de los avances que se han conocido en la investigación del estudio de procesos ejecutivos están la capacidad de centrar la atención para cambiarla de un foco a otro y de utilizar la memoria de trabajo para activar los aspectos de la memoria a largo plazo. Baddeley (1996b) especifica cuatro funciones del ejecutivo central: 1) la coordinación en dos tareas independientes (almacenamiento y procesamiento de información); 2) cambiar de tareas, estrategias de recuperación de las operaciones; 3) asistir selectivamente a la información específica y la inhibición de información irrelevante y 4) la activación y recuperación de información de la memoria a largo plazo. Algunos autores, como por ejemplo Towse (1998), han propuesto fragmentar el ejecutivo central en distintos subcomponentes, puesto que interpretan este componente de la memoria de trabajo como una constelación de funciones parcialmente independientes.

Neuropsicología de la Memoria de Trabajo

El concepto de memoria de trabajo fue desarrollado dentro de la psicología cognitiva del aprendizaje y la memoria. Rápidamente este concepto fue asimilado por la neurociencia cognitiva, hasta convertirse en un elemento central en el desarrollo de la investigación sobre la función de las regiones anteriores del lóbulo frontal, en primates superiores y especialmente en humanos (Baddeley, 2003b).

Según Baddeley se basa en gran medida, pero no exclusivamente, en los lóbulos frontales (Stuss & Knight, 2002), y casi seguramente puede ser fraccionado en subprocesos ejecutivos (Baddeley 2002; Shallice, 2002).

El estudio de la organización funcional de la memoria de trabajo en el hombre se había limitado, hasta hace algunos años, a la comparación entre grupos de pacientes con lesiones en distintas áreas corticales y subcorticales. Con la aparición de técnicas de neuroimagen funcional como la Tomografía por emisión de positrones (PET), la Resonancia Magnética funcional (RMIf), y la Magnetoencefalografía (MEG), se ha empezado a entender la compleja red de conexiones que tiene la memoria de trabajo.

Goldman-Rakic (1987) propuso una comprensión de la memoria de trabajo que se basa en las implicaciones de la arquitectura funcional del córtex prefrontal.

Para esta autora, esta región cerebral desempeñaría un papel preponderante en las funciones de la memoria de trabajo y debería entenderse como una red de integración de áreas, cada una de las cuales estaría especializada en un dominio específico. La información espacial y la no-espacial se procesarían en la zona dorsolateral y ventrolateral del córtex prefrontal, respectivamente. Cada subsistema de la memoria de trabajo se encontraría interconectado con diferentes áreas corticales de dominio específico.

El componente visoespacial de la memoria de trabajo se relaciona con la activación de zonas occipitotemporales y occipitoparietales (Smith, Jonides, Koeppe, Awh, Schumacher & Minoshima, 1995). Regiones parietales y temporales izquierdas se asocian con el aspecto pasivo del lazo fonológico, y el área de Broca con el mecanismo de repetición articulatoria (Nyberg, Forkstam, Petersson, Cabeza & Ingvar, 2002). El Ejecutivo Central se asocia con el prefrontal dorsolateral y medial, y con regiones parietales (Baddeley, 1996b; Smith & Jonides, 1997; Nyberg, et. al., 2002).

Desarrollo de la Corteza Prefrontal

Los recientes avances tecnológicos en el cerebro de los métodos de imagen, especialmente la resonancia magnética funcional, nos han permitido examinar la actividad neural en los niños de desarrollo normal, en vivo (Casey, et.al., 2000; Amso & Casey 2006; Bunge & Wright, 2007). Desde el primer estudio de fMRI en el desarrollo (Casey, et.al, 1995), varios estudios se han centrado en la actividad neuronal asociada con las funciones

córtex pre frontal incluyendo la memoria de trabajo. Muchos de estos estudios han informado que las regiones responsables de córtex pre frontal, junto con otras áreas corticales y subcorticales, muestran incrementos en la actividad relacionados con la edad a través del desarrollo en niños de edad escolar y adolescentes (Luna et. al. 2001; Klingberg, et.al., 2002; Rubia, Smith, Woolley, Nosarti, Herman, Taylor, et.al., 2006).

En un estudio longitudinal a través de las edades de 4 a 22 años, Giedd, et. al., (1999) indicaron que la materia gris en el lóbulo frontal aumenta en volumen desde la infancia hasta la preadolescencia.

Los cambios en el volumen de materia gris hacen suponer que la formación de los circuitos neuronales se produce en el córtex prefrontal durante el desarrollo de la infancia.

La densidad sináptica en el córtex pre frontal alcanza el valor neto más alto a la edad de 3,5 años, mostrando un nivel de aproximadamente un 50% mayor que en adultos, pero disminuyendo gradualmente a través de la adolescencia (Huttenlocher & Dabholkar, 1997). También se han observado cambios en la morfología celular durante la primera infancia, incluida la expansión de los árboles dendríticos de las neuronas piramidales (Mrzljak, Uylings, Van Eden & Judas, 1990).

Los estudios transversales (Reiss, Abrams, Singer, Ross & Denkla, 1996) y los longitudinales (Giedd et. al., 1999) han reportado que el volumen de materia blanca en el córtex prefrontal también aumenta de manera significativa durante

la infancia. La materia blanca está compuesta principalmente de los axones enfundados en la mielina producida por los oligodendrocitos, y el aumento en el volumen de la materia blanca está probablemente relacionado con la mielinización de los axones.

La mielinización aumenta la velocidad de conducción nerviosa (Baumann & Pham-Dinh, 2001). El aumento del volumen de materia blanca en la corteza pre frontal puede proporcionar una base estructural para las funciones cognitivas (Bartzokis, Beckson, Lu, Nuechterlein, Edwards & Mintz, 2001).

Tsujimoto y Sawaguchi (2004) proveen evidencia directa de que el proceso de desarrollo funcional de la corteza prefrontal en niños de 4 a 7 años de edad sufre una maduración considerable en el nivel estructural durante la primera infancia. Esta maduración serviría como una base estructural de funcionamiento neuronal.

Algunos estudios han sugerido que el desarrollo cerebral funcional implica el perfeccionamiento de la conectividad entre las diferentes regiones del cerebro (Johnson, 2001; Edin, Macoveanu, Olesen, Tegner & Klingberg, 2007).

En resumen, las estructuras neuroanatómicas de la corteza prefrontal en el ser humano experimentan una maduración formidable durante la infancia, caracterizándose por una reducción de la densidad sináptica y neuronal, un crecimiento de las dendritas, y un aumento en materia gris y blanca.

La memoria de trabajo ha sido objeto de múltiples estudios de neuroimagen y neuropsicológicas, llevados a cabo, entre otros, por Freedman y Oscar-Berman, 1986; Jonides et. al., 1993, McCarthy, Blamire et. al., 1994; D'Esposito, Postle, Jonides & Smith, 1999; Tsujimoto et. al., 2004.

Los estudios de Luciana y Nelson (1998) en niños sugieren que el sistema de memoria de trabajo prefrontal surge en torno a la edad de 4 años y mejora sustancialmente entre los 5 y los 7 años de edad. En concordancia con esta idea, se ha informado que el rendimiento visoespacial de niños de 8 años de edad es superior al de niños de 5 años de edad (Logie & Pearson, 1997; Pickering, Gathercole, Hall & Lloyd, 2001), y que abarca la memoria visual (es decir, la capacidad de visual de la memoria a corto plazo), que aumenta sustancialmente entre los 5 y los 11 años de edad (Wilson, Scout & Power, 1987).

Además, la mejora en el rendimiento de la memoria de trabajo para la información fonológica, también se ha observado durante la primera infancia a partir de los 4 años de edad (Gathercole et. al., 2004). Las mediciones del comportamiento de los sistemas de memoria de trabajo, en general, mejoran sustancialmente durante la infancia (Gathercole, 1998, 1999).

La Neuroplasticidad

La neuroplasticidad fue definida por Gollin (1981) como el potencial para el cambio, esto es, la capacidad de modificar nuestra conducta y adaptarse a las demandas de un contexto particular.

Para Kaplan (1983) es una habilidad para modificar sistemas orgánicos y patrones conductuales.

Esta potencialidad para el cambio que posee el sistema nervioso central a lo largo de todo el desarrollo ontogenético del hombre, se observa principalmente durante la infancia. En esta etapa es que tiene lugar la maduración intensiva del organismo, y en particular del cerebro, ya que durante los seis primeros años la masa encefálica aumenta 3,5 veces, lo cual quiere decir que se transforma, multiplica y perfecciona en sus funciones (Bergado Rosado & Almaguer Melián, 2000).

Posiblemente la mielinización desempeña un papel crucial en el desarrollo cognitivo en el niño. Estas funciones no dependen exclusivamente del correcto funcionamiento de la corteza prefrontal. Más bien deberíamos considerar a las regiones prefrontales un eslabón más de un circuito que involucra tanto a regiones corticales como subcorticales (Luciana & Nelson 1998; Casey, Tottenham & Fossella, 2002; Klingberg, et.al., 2002).

Por ello, el desarrollo de las funciones cognitivas en el niño depende no sólo de la maduración de regiones cerebrales específicas como la corteza prefrontal, sino también de la maduración de las conexiones, como las que posibilita la mielinización (Luciana & Nelson 1998; Stuss, 1992).

La mielinización contribuye en gran medida a mejorar la funcionalidad del cerebro, ya que produce un incremento en la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos (Klingberg, Vaidya, Gabrieli, Moseley & Hedehus, 1999).

Los procesos madurativos en el cerebro siguen un modelo jerárquico en el que las áreas de proyección maduran antes que las asociativas (Stuss, 1992). Así, las últimas áreas en adquirir la mielinización son la sustancia blanca de los lóbulos frontal, parietal y occipital, lo que se puede apreciar a los 8-12 meses (Paus, Collins, Evans, Leonard, Pike & Zijdenbos, 2001).

Durante el curso del desarrollo se ha observado un aumento, tanto en el volumen como en la mielinización, de la sustancia blanca. En el lóbulo frontal la cantidad de sustancia blanca aumenta linealmente de los 4 a los 13 años, aunque su proceso de mielinización así como el de otras áreas de asociación, como las regiones temporales y parietales no se completa totalmente, incluso, hasta la edad adulta (Paus, et. al. 2001; Giedd, et. al., 1999).

Paralelamente, durante la infancia se observa un fenómeno de inervación polineural, es decir, que hay más conexiones sinápticas que en el adulto (Purves & Lichtman, 1980) pero no todas ellas son funcionales, por lo que se hace necesaria una poda neuronal que elimine selectivamente las sinapsis menos relevantes. Así, aquellas sinapsis que se repiten se mantendrán, mientras que las que no se repiten serán eliminadas (Casey, Gied & Thomas, 2000).

En la capa III de la corteza prefrontal, el proceso de poda es continuo de los 5 a los 16 años, lo que se refleja en una disminución de la densidad sináptica que se ha relacionado con los cambios en la sustancia gris que se observan durante la

infancia y la adolescencia (Gied, et al., 1999).

Según Giedd, el volumen de la sustancia gris frontal aumenta hasta la adolescencia, donde alcanza su máximo, y a partir de este momento disminuye.

Sowell, Delis, Stiles & Jernigans (2001) observaron una reducción en la densidad de la sustancia gris, tanto en la corteza parietal posterior como en algunas regiones frontales, incluso durante la infancia y la adolescencia. Durante la postadolescencia observaron una estabilización de estos cambios en la corteza parietal, mientras que en el giro frontal superior la pérdida de sustancia gris continúa.

Sowell et al. (2001) han observado que existe una relación entre estos cambios en la sustancia gris frontal y la evolución en la ejecución de tareas cognitivas de los 7 a los 16 años.

Entonces, las capacidades que va adquiriendo el niño durante su desarrollo no son producto solamente de la maduración a nivel neurológico sino que en gran medida son el resultado de la interacción del niño con el medio, de su estimulación y educación.

Cuanto mayor sea la estimulación que recibe más completa será su organización neurológica y mejores expectativas al nivel de capacidades y habilidades. En este sentido cobra especial importancia la estimulación en la primera infancia, fundamentalmente decisiva después de la evaluación diagnóstica de un retraso o déficit.

Por todo esto, no sólo debemos preocuparnos por la recuperación de funciones perdidas, sino también por la posibilidad de mejorar u optimizar el rendimiento y las capacidades a través de la estimulación ambiental temprana.

Conclusiones

La neuropsicología nos brinda información sobre cambios estructurales y desarrollos progresivos de las áreas cerebrales involucradas con la memoria de trabajo, como la corteza prefrontal, que experimentan una maduración formidable en sus funciones durante la primera infancia.

La corteza prefrontal está involucrada en varias funciones cognitivas superiores, como la planificación, el razonamiento y la comprensión del lenguaje. Estas capacidades cognitivas cambian drásticamente en función de la edad durante la infancia y la adolescencia (Diamond, 2002; Davidson, Amso et. al. 2006; Huizinga, Dolan & Van der Molen, 2006).

Como fue mencionado anteriormente, neuroanatómicamente la corteza prefrontal se somete a una maduración importante durante la infancia y al mismo tiempo el rendimiento de diversas tareas cognitivas mejora con la edad.

Los cambios en la arquitectura estructural y la maduración cognitiva se producen simultáneamente en todo el desarrollo infantil (Casey et. al., 2000).

Desde el estudio pionero de Casey y sus colegas (1995), varios trabajos han

aplicado métodos de neuroimagen contemporáneos, tales como la resonancia magnética funcional para niños de desarrollo normal (Casey, Trainor, Giedd et. al., 1997, Thomas, King, Franzen et. al., 1999; Nelson, Monk, Lin et. al., 2000; Kwon et. al., 2002), proporcionando pruebas acerca de la relación entre el desarrollo estructural y el comportamiento (Casey, Galvan & Hare, 2005; Amso & Casey, 2006; Bunge & Wright, 2007).

Algunos autores sostienen que la corteza pre frontal de los niños pequeños, al ser aún inmadura, tiene el potencial de cambio flexible con el aprendizaje y la práctica (Gaillard, Hertz, Pannier, Mott, Barnett, Lebihan & Theodore, 2000).

El desarrollo y la maduración del cerebro van conformando toda una red neuronal, en base a la experiencia, de manera que esas neuronas prefrontales tienden a responder de forma similar ante estímulos o situaciones previamente aprendidas (Jódar Vicente, 2004).

Podemos decir que la importancia de la memoria de trabajo queda explicitada al concebirla como un sistema general de control cognitivo y de procesamiento ejecutivo que guía el comportamiento y que implica interacciones entre los diversos procesos mentales como la atención, la percepción, la motivación y la memoria. La misma debería ser estimulada desde las primeras experiencias educativas, ya que se ha visto que se trata de un proceso que comienza en el niño desde sus primeros años flexibilizándose y ampliándose progresivamente, a medida que adquiere sistemáticamente conocimientos y experiencias.

La escolarización, sobre todo en los primeros años, con todas las actividades que supone sería un factor clave para el desarrollo de la conducta estratégica del niño.

La comprensión de los mecanismos a través de los cuales se producen estos cambios es de crucial importancia para muchos campos de la investigación, incluyendo la educación.

Finalmente podemos concluir que la neuropsicología ha posibilitado la construcción de un concepto de memoria de trabajo aportando criterios científicos de su estructura y funciones, demostrando el valor de la combinación de los métodos y conceptos de la psicología cognitiva con los de la neurobiología, pero también a brindando pruebas de la relación con el aprendizaje.

Referencias

- Amso D, & Casey BJ.** (2006). Beyond what develops when neuroimaging may inform how cognition changes with development. *Curr Direc Psychol Sci* 15:24–9.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M.** (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. En K. W. Spence Ed, *The Psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 2, New York: Academic Press.
- Baddeley A. D.** (2003b) Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews. Neuroscience*; 24: 829-839.
- Baddeley, A. D.** (1992) *Science*, New Series Vol. 25 N° 5044 Pág. 556-559.
- Baddeley, A. D.** (1996 a) The fractionation of working memory *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 93, pp. 13468–13472, November 1996 Colloquium Paper.
- Baddeley, A. D.** (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D.** (1996b). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5–28.
- Baddeley, A. D.** (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423.
- Baddeley, A. D.** (2002). Is Working Memory Still Working? *European Psychologist*, Vol. 7, No. 2, June 2002, pp. 85–97.

- Baddeley, A. D.** (2003a) Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders* 36 189–208
- Baddeley, A. D., Warrington, E. K.** (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9, 176–189.
- Baddeley, A. D., Papagno, C. & Vallar, G.** (1988). When long-term learning depends on short-term storage. *Journal of Memory and Language*, 27, 586–595.
- Baddeley, A. & Hitch, G.** (1974). Working memory. In G.A. Bower. *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47- 89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A.D. & Lieberman, K.** (1980). Spatial working memory. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 521–539). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bartzokis G, Beckson M, Lu PH, Nuechterlein KH, Edwards N, & Mintz J.** (2001). Age-related changes in frontal and temporal lobe volumes in men: a magnetic resonance imaging study. *Arch Gen Psychiatry* 58:461–5.
- Baumann N. & Pham-Dinh D.** (2001). Biology of oligodendrocyte and myelin in the mammalian central nervous system. *Physiol Rev* 81:871–927
- Bergado Rosado J A. & Almaguer Melián J** (2000). Mecanismos celulares de la neuroplasticidad. *Rev Neurol.* 31: 1074 - 95.
- Bunge SA. & Wright SB.** (2007). Neurodevelopmental changes in working memory and cognitive control. *Curr Opin Neurobiol* 17: 243–50.
- Casey BJ., Cohen JD., Jezzard P., Turner R., Noll DC., Trainor RJ, & others.** (1995). Activation of prefrontal cortex in children during a nonspatial working memory task with functional MRI. *Neuroimage* 2:221–9.
- Casey BJ., Galvan A. & Hare TA.** (2005). Changes in cerebral functional organization during cognitive development. *Curr Opin Neurobiol* 15:239–44.
- Casey BJ., Giedd JN. & Thomas KM.** (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biol Psychol* 54:241–57.
- Casey BJ, Tottenham N. & Fossella J.** (2002). Clinical, imaging, lesion, and genetic approaches toward a model of cognitive control. *Dev Psychobiol*;40(3):237-54
- Casey BJ., Trainor R., Giedd J., Vauss Y., Vaituzis CK., Hamburger S. & others.** (1997). The role of the anterior cingulate in automatic and controlled processes: a developmental neuroanatomical study. *Dev Psychobiol* 30:61–9.
- D’Esposito M., Postle BR., Jonides J. & Smith EE.** (1999). The neural substrate and temporal dynamics of interference effects in working memory as revealed by event-related functional MRI. *Proc Natl Acad Sci U S A* 96:7514–9.

- Davidson MC., Amso D., Anderson LC & Diamond A.** (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia* 44:2037–78.
- Diamond A.** (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In: Stuss DT, Knight RT, editors. *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press. p 466–503.
- Edin F., Macoveanu J., Olesen P., Tegner J. & Klingberg T.** (2007). Stronger synaptic connectivity as a mechanism behind development of working memory-related brain activity during childhood. *J Cogn Neurosci* 19:750–60.
- Etchepareborda, M. & Abad-Mas L.** (2005). Memoria de trabajo en los procesos básicos del aprendizaje *Revista Neurolog.*; 40 (Supl 1).
- Farah, M. K. , Hammond, D. Levine, & R. Calvanio.** (1988). Visual and Spatial Mental Imagery: Dissociable Systems of Representation, *Cognitive Psychology* 20, pp. 439–462.
- Freedman M. & Oscar-Berman M.** (1986). Bilateral frontal lobe disease and selective delayed response deficits in humans. *Behav Neurosci* 100:337–42.
- Gaillard WD, Hertz-Pannier L, Mott SH, Barnett AS, LeBihan D, & Theodore WH.**(2000). Functional anatomy of cognitive development: fMRI of verbal fluency in children and adults. *Neurology* 54:180–5
- Gathercole SE, Pickering SJ, Ambridge B, & Wearing H.** (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol* 40:177–90.
- Gathercole SE.** (1998). The development of memory. *J Child Psychol Psychiatry* 39:3–27.
- Gathercole SE.** (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trend Cogn Sci* 3:410–9.
- Gathercole, S. & Baddeley, A.** (1993) *Working Memory and Language* In: Cowan, N. (1995). Verbal working memory: A view with a room. *American Journal of Psychology*, 108, 123-155.
- 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, 265-281.
- Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, Castellanos FX, Liu H, & Zijdenbos A,**(1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nat Neurosci* 2:861–3.
- Goldman-Rakic PS.** (1987). Development of cortical circuitry and cognitive function. *Child Dev* 58:601–22.
- Gollin E S.** (1981). Developmental and plasticity. En Gollin B S. *Developmental plasticity: behavioral and biological aspects of variation in developmental*. Nueva York: Academic Press.
- Hanley, J.R., Young, A.W. & Pearson, N.A.** (1991). Impairment of the visuospatial sketch pad. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 43A, 101-125.

- Huizinga M, Dolan CV, & Van der Molen MW.** (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia* 44:2017–36.
- Huttenlocher PR, & Dabholkar AS.** (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *J Comp Neurol* 387:167–78.
- Jódar Vicente, M.** (2004). Funciones cognitivas del lóbulo frontal. *Rev. Neurol.* 39 (2): 178.
- Johnson MH.** (2001). Functional brain development in humans. *Nat Rev Neurosci* 2:475–83.
- Jonides J, Smith EE, Koeppe RA, Awh E, Minoshima S, & Mintun MA.** (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature* 363:623–5.
- Just, M.A., & Carpenter, P.A.** (1992). A capacity theory of comprehension. Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149.
- Klingberg T, Forssberg H, & Westerberg H.** (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory capacity during childhood. *J Cogn Neurosci* 14:1–10.
- Klingberg T, Vaidya CJ, Gabrieli JD, Moseley ME, & Hedehus M.** (1999) Myelination and organization of the frontal white matter in children: a diffusion tensor MRI study. *Neuroreport*;10(13):2817-21.
- Logie RH, & Pearson DG.** (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: evidence from developmental fractionation. *Eur J Cogn Psychol* 9:241–57.
- Logie, R. H.** (1986) Visuospatial processing in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 229–247.
- Logie, R. H.** (1995) Visuo-spatial Working Memory (Lawrence Erlbaum, Hove, Sussex).
- Logie, R.H., & Marchetti, C.** (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? En R. H. Logie, & M. Denis (eds.), *Mental Images in Human Cognition* (pp.105-115) Amsterdam: Elsevier Science Publishers. Capítulo 7.
- Luciana M, & Nelson CA.** (1998). The functional emergence of prefrontally guided working memory systems in four - to eight - year - old children. *Neuropsychologia* 36:273–93.
- Luna B, Thulborn KR, Munoz DP, Merriam EP, Garver KE, & Minshew NJ,** (2001). Maturation of widely distributed brain function subserves cognitive development. *Neuroimage* 13:786–93.
- McCarthy G, Blamire AM, Puce A, Nobre AC, Bloch G, & Hyder F.** (1994). Functional magnetic resonance imaging of human prefrontal cortex activation during a spatial working memory task. *Proc Natl Acad Sci U S A* 91:8690–4.

- McCarthy RA, & Warrington EK.** (1990). Cognitive Neuropsychology. San Diego: Academic Press, 275-295.
- Milner, B.** (1966). Amnesia following operation on the temporal lobes. In C. W. M. Whitty & O. L. Zangwill (Eds.), *Amnesia* (pp. 109–133). London: Butterworth.
- Mrzljak L, Uylings HB, Van Eden CG, & Judas M.** (1990). Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal stages. *Prog Brain Res* 85:185-222.
- Nelson CA, Monk CS, Lin J, Carver LJ, Thomas KM, & Truwit CL.** (2000). Functional neuroanatomy of spatial working memory in children. *Dev Psychol* 36:109–16.
- Norman, D.A., & Shallice, T.** (1980). Attention to action. Willed and automatic control of behavior. University of California San Diego CHIP Report 99.
- Nyberg, L., Forkstam, C., Petersson, K.M., Cabeza, R, & Ingvar, M.** (2002). Brain imaging of human memory systems: Between - systems similarities and within - systems differences. *Cognitive Brain Research*, 13, 281–292
- Paulesu E, Frith C D, & Frackowiak R S J.** (1993). *Nature* 362:342–345. London.
- Paus T, Collins DL, Evans AC, Leonard G, Pike B, & Zijdenbos A.** (2001). Maturation of white matter in the human brain: a review of magnetic resonance studies. *Brain Res Bull*;54(3): 255-66.
- Pickering SJ, Gathercole SE, Hall M, & Lloyd SA.** (2001). Development of memory for pattern and path: further evidence for the fractionation of visuo - spatial memory. *Q J Exp Psychol A* 54:397–420.
- Purcell, A. T. & Gero, J. S.** (1998) Drawings and the design process *Design Studies*, 19(4), pp. 389–430.
- Purves D. & Lichtman JW.** (1980). Elimination of synapses in the developing nervous system. *Science*;210:153-7.
- Quinn, J. G. & McConnell, J.** (1999). Manipulation of interference in the passive visual store. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11, 373-389.
- Reiss AL, Abrams MT, Singer HS, Ross JL & Denckla MB.** (1996) Brain development, gender and IQ in children. A volumetric imaging study. *Brain* 119:1763–74
- Rubia K, Smith AB, Woolley J, Nosarti C, Heyman I. & Taylor E.** (2006). Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Hum Brain Mapp* 27:973–93.
- Service, E.** (1992). Phonology, working memory and foreign-language learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45 A, 21–50.
- Shallice, T.** (2002). Fractionation of the supervisory system. En D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 261–277). New York: Oxford University Press.

- Shallice, T. & Warrington, E. K.** (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 261–273.
- Smith, E. E. & Jonides, J.** (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, 5–42.
- Smith, E.E., Jonides, J., Koeppe, R.A., Awh, E., Schumacher, E.H. & Minoshima, S.** (1995). Spatial versus object working memory: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 337–356.
- Smith, M. M. & Pendleton, L. R.** (1990). Space and movement in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 42A, 291–304.
- Sowell ER, Delis D, Stiles J. & Jernigan TL.** (2001) Improved memory functioning and frontal lobe maturation between childhood and adolescence: a structural MRI study. *J Int Neuropsychol Soc*;7:312-22.
- Stuss, D.T.** (1992) Biological and psychological development of executive functions. *Brain Cogn*; 20 (1):8-23.
- Stuss, D.T. & Knight, R.T.** (2002). *Principles of Frontal Lobe Function*. New York: Oxford University Press.
- Thomas KM, King SW, Franzen PL, Welsh TF, Berkowitz AL, Noll DC.** (1999) A developmental functional MRI study of spatial working memory. *Neuroimage* 10:327–38.
- Towse, J.N.** (1998). On random generation and the central executive of working memory. *British Journal of Psychology*, 89 (1), 77-101
- Tsujimoto S. & Sawaguchi T.** (2004). Properties of delay-period neuronal activity in the primate prefrontal cortex during memory- and sensoryguided saccade tasks. *Eur J Neurosci* 19:447–57.
- Unsworth, N. & Engle, R.** (2007). On the Division of Short-Term and Working Memory: An Examination of Simple and Complex Span and Their Relation to Higher Order Abilities. *Psychological Bulletin*, Vol. 133, No. 6, 1038–1066.
- Verstijnen, I. M., Van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Haeml, R. & Hennessey, J. M.** (1998). Creative discovery in imagery and perception: combining is relatively easy, restructuring takes a sketch. *Acta Psychol.* 99, 177–200.
- Wilson JTL, Scott, JH & Power KG.** (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *Br J Dev Psychol* 5:249–55.

Recibido: 27 Abril 2011. / **Aceptado:** 25 Junio 2011.