

Las Funciones Ejecutivas a través de la Vida

Mónica Rosselli

Departamento de Psicología
Florida Atlantic University,
Davie, Florida EEUU

María Beatriz Jurado

Departamento de Psicología
Florida Atlantic University,
Davie, Florida EEUU

Esmeralda Matute

Instituto de Neurociencias,
Universidad de Guadalajara
Guadalajara, México

Correspondencia: Mónica Rosselli, Ph. D.
Departamento de Psicología, Florida Atlantic
University, 2912 College Avenue, Davie,
Florida 33314, EEUU. Correo electrónico:
mrossell@fau.edu

Resumen

Las funciones ejecutivas incluyen un grupo de habilidades cognitivas cuyo objetivo principal es facilitar la adaptación del individuo a situaciones nuevas y complejas yendo más allá de conductas habituales y automáticas. Una gran variedad de destrezas han sido incluidas dentro de las llamadas funciones ejecutivas tales como la capacidad para establecer metas, el desarrollo de planes de acción, la flexibilidad de pensamiento, la inhibición de respuestas automáticas, la autorregulación del comportamiento, y la fluidez verbal. En este artículo se revisa el desarrollo de las funciones ejecutivas en el niño iniciando por el periodo de lactancia y continuando hasta la adultez. Igualmente se examinan los cambios de estas habilidades cognitivas durante la senectud ya que son particularmente sensibles al proceso de envejecimiento.

Palabras clave: Funciones ejecutivas, lóbulo frontal, desarrollo, flexibilidad, atención, planeación, niños, envejecimiento.

Summary

Executive functions include a group of cognitive abilities that aim to help the individual adapt to new and complex situations. A variety of skills are included among the executive functions such as abilities of goal formation, carrying out goal-directed plans, cognitive flexibility, inhibitory control, self-monitoring, and verbal fluency. This article aims at reviewing the development of executive functions from infancy to adulthood. The age-related decline of executive functions is also examined as executive skills are particularly sensitive to the aging process.

Key words: Executive functions, frontal lobe, development, flexibility, attention, planning, children, aging.

Introducción

Las funciones ejecutivas incluyen un grupo de habilidades cognoscitivas cuyo objetivo principal es facilitar la adaptación del individuo a situaciones nuevas y complejas yendo más allá de conductas habituales y automáticas (Collette, Hogge, Salmon, & van der Linden, 2006). Una gran variedad de destrezas han sido incluidas dentro de las llamadas funciones ejecutivas tales como la capacidad para establecer metas, el desarrollo de planes de acción, la flexibilidad de pensamiento, la inhibición de respuestas automáticas, la autorregulación del comportamiento, y la fluidez verbal (Anderson, 2002, Fisk & Sharp, 2004; Lezak, 1983; Rosselli, Ardila, Lopera, & Pineda, 1997). Las funciones ejecutivas parecen ser indispensables para el logro de metas escolares (Melzter & Krishnan, 2007) y laborales (Crépeau, Scherzer, Belleville, & Desmarais, 1997) ya que coordinan y organizan procesos cognoscitivos básicos, como son la memoria y la percepción (Welsh, 2002) requeridos para un comportamiento propositivo. Es por eso que la alteración de estas funciones puede limitar la capacidad del individuo para mantener una vida independiente y productiva, aún si otras habilidades cognoscitivas se encuentren intactas (Lezak, 1983).

Las funciones ejecutivas han sido conceptualizadas por algunos autores como de naturaleza unitaria es decir que tienen un tronco común y están estrechamente relacionadas entre si (Rodríguez-Aranda & Sudnet, 2006). Siguiendo esta misma línea,

Salthouse (2005) sostiene que las habilidades de razonamiento y rapidez perceptual actúan como funciones básicas para cualquier otro tipo de tarea ejecutiva. Sin embargo, esta posición unitaria ha sido debatida por otros autores dada la numerosa lista de habilidades parcialmente interrelacionadas que se incluyen dentro de las funciones ejecutivas. Así por ejemplo, Godefroy, Cabaret, Petit-Chenal, Pruvo, & Rousseaux (1999) proponen que las funciones ejecutivas son claramente fragmentables. Es poco probable que la capacidad para realizar tareas ejecutivas requiera de una sola habilidad cognoscitiva de base. De hecho se ha observado que los pacientes con lesiones frontales presentan un buen rendimiento en unas pruebas ejecutivas mientras que fracasan en otras (Godefroy et al., 1999). De la misma manera, varios estudios encuentran una baja correlación (alrededor de .40) entre diversas pruebas ejecutivas (Lehto, 1996; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003) y es por eso que se ha concluido que las funciones ejecutivas corresponden a constructos independientes pero moderadamente relacionados (Miyake et al., 2000).

Otra polémica asociada a la definición de “funciones ejecutivas” es su asociación con la capacidad cognoscitiva general. Algunos autores proponen una correlación estrecha entre las dos (Duncan, 2005; Salthouse et al., 2003), mientras que otros consideran que la capacidad intelectual general o factor “g” de inteligencia no constituye la base de las funciones ejecutivas (Ardila, Pineda, & Rosselli, 2000; Welsh, Pennington, & Groisser, 1991).

Las funciones ejecutivas tienen sus bases neuronales en los lóbulos frontales y su

estudio nació de la observación de los cambios conductuales en pacientes con lesiones en este lóbulo cerebral. Estos pacientes presentan entre otras cosas dificultades atencionales, reducción en el autocontrol, y cambios en las habilidades de planeación y organización (Goldberg, 2001; Lezak, Howieson, & Loring, 2004; Stuss & Benson, 1986).

El desarrollo de las funciones ejecutivas en el niño

El desarrollo de las funciones ejecutivas inicia temprano, durante la lactancia y se prolonga durante muchos años, incluso hasta la adultez. De hecho, se considera que son las funciones que tardan más tiempo en desarrollarse. Durante los primeros años de vida, el niño parece vivir en un tiempo presente con reacciones solamente a estímulos que se encuentran en su alrededor inmediato, y es posteriormente cuando, es capaz de representar estímulos del pasado, planear el futuro, y representar un problema desde distintas perspectivas que le permite escoger soluciones apropiadas (Zelazo, Crack, & Booth, 2004). Esta capacidad para planear y solucionar problemas constituye probablemente el inicio de las funciones ejecutivas. La emergencia de las funciones ejecutivas es evidente entonces, cuando el niño da muestras de tener la capacidad para controlar la conducta usando información previa y progresivamente se van optimizando con la interlocución de por una parte la maduración cerebral y por la otra, la estimulación ambiental. Dicho con mayor precisión, existe evidencia del desarrollo de la función ejecutiva durante el primer año de vida. Tomemos como ejemplo el recurso Piagetano para estudiar el conocimiento que el lactante tiene de que un objeto permanece aun cuando es

removido de su vista. Se ha encontrado que es hacia los cinco meses de edad cuando el bebé sabe que un juguete continúa existiendo aún cuando está fuera de su vista; sin embargo, es a partir de los 9 meses de edad aproximadamente que buscará de manera activa el juguete (Baillargeon, Spelke, & Wasserman, 1985). Es en este momento, cuando se observa que el lactante puede actuar sobre un objeto utilizando información previa.

Otro ejemplo de la emergencia de la función ejecutiva es el uso de herramientas. Quizás la situación más evidente para todos es cuando el bebé jala hacia él la manta sobre la cual se encuentra colocado un juguete con el fin de alcanzarlo.

Finalmente, la posibilidad de solucionar problemas es otra conducta que da pautas sobre el desarrollo emergente de la función ejecutiva. Diamond (1990) diseñó una caja con 4 de sus 5 lados cubiertos con un acrílico transparente. Ella encontró que es hacia la edad de 9 meses que el bebé logra sacar un juguete de la caja cuando la abertura está hacia arriba y no es sino hasta el año de edad que es capaz de alcanzar el juguete cuando la abertura es colocada por un lado. Solucionar el problema de tomar el juguete que está al alcance de su vista cuando la trayectoria de su mano es interrumpida por una barrera (la pared de la caja) requiere por una parte la inhibición de conductas anteriores; es decir, de aquella conducta inadecuada para cumplir con su objetivo, y por la otra, del trazo de un plan para resolver el conflicto.

Algunas de las funciones ejecutivas que han sido más estudiadas en psicología son el control atencional, la habilidad para planear, la flexibilidad cognoscitiva y la fluidez verbal. A continuación se presentan

los hallazgos más relevantes asociados al desarrollo de estas funciones en el niño.

Control atencional

El control atencional incluye una mejor atención selectiva y mantenida, y un dominio en la capacidad para inhibir comportamientos automáticos e irrelevantes (Anderson, Levin, & Jacobs, 2002). Para que el niño haga una selección apropiada de la información pertinente y mantenga su atención durante periodos prolongados es esencial que aprenda a inhibir respuestas que surgen de manera automática (Wodka et al., 2007).

El desarrollo del componente inhibitorio de la conducta se ha evaluado tradicionalmente en psicología utilizando el paradigma Piagetiano de "A no B" (Diamond & Goldman-Rakic, 1989; Piaget, 1954) y tareas del tipo "respuesta demorada" (Bell & Fox, 1997; Diamond & Doar, 1989). En la tarea de "A no B" el niño mantiene en la memoria la localización espacial de un objeto o alimento. Para estas tareas se utilizan dos recipientes (A y B) en uno de los cuales se oculta, en presencia del niño, un objeto que es usualmente un juguete; después de un periodo de demora, se le pide al niño que busque el objeto. Cada vez que se originan dos aciertos consecutivos se cambia el objeto al otro recipiente. La tarea de "respuesta demorada" es similar a la anterior con la diferencia de que en esta última se le impide al niño ver los recipientes mientras transcurre la espera. En las dos tareas, sin embargo, el niño debe mantener activa en memoria de trabajo o memoria operativa la localización del objeto.

El niño menor de un año tiene la tendencia en la tarea "A no B", de tratar de encontrar en el recipiente A un objeto que se pasó, en

su presencia, al recipiente B; esta tendencia a responder al recipiente A es difícil de inhibir aún en casos en los que el objeto está claramente visible en el recipiente B (Diamond, 2002; Harris, 1974). Uno de los cambios más importantes que ocurre en el niño hacia el año de vida es que éste es ya capaz de inhibir el comportamiento automático en mención y comienza a buscar espontáneamente el objeto dentro del recipiente correcto (Diamond, 2002).

Otra prueba utilizada para evaluar la capacidad inhibitoria de respuestas automáticas es la prueba "día/noche" (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994); esta prueba fue construida bajo el mismo paradigma de la prueba de Stroop en la que el niño debe inhibir una respuesta que surge automáticamente ante la presencia de un estímulo visual. En la prueba "día/noche" el niño debe responder con la palabra *día* cuando se le presenta una lámina con un dibujo de la luna y con la palabra *noche* cuando se le presenta una figura del sol. Entre los 3 y 4 años de edad, el niño realiza esta tarea con mucha dificultad ya que le es difícil inhibir las respuestas verbales de "día", suscitada por el estímulo visual del sol, y la palabra "noche" suscitada por el estímulo visual de la luna (Diamond, Kirkham, & Amso, 2002). Esta misma prueba tiene, sin embargo, un bajo nivel de dificultad en niños mayores de 6 o 7 años (Gerstadt et al., 1994).

Mediante pruebas de acción-inhibición como son aquellas que utilizan los paradigmas *Go/No-Go* y *Stop/Signal*, se ha demostrado que la capacidad para inhibir respuestas automáticas continúa mejorando a lo largo de la infancia. Es así como, Williams, Ponesse, Schachar, Logan, y Tannock (1999) encontraron una capacidad para inhibir respuestas significativamente

mejor en niños de 9 y 12 años comparados con niños de 6 a 8 años. La superioridad del control atencional en niños de 9 a 11 años fue corroborado por Brocki y Bohlin (2004) en la prueba de Ejecución Continua (*Continuous Performance Test*). En esta tarea el niño se enfrenta con una serie de estímulos muy semejantes entre si (e.g., letras) pero debe responder únicamente a un estímulo específico, por ejemplo, a la letra X oprimiendo una tecla o levantando la mano. Los errores por comisión en esta prueba denotarían una dificultad inhibitoria. Se ha sugerido que la adquisición de un nivel adulto del control inhibitorio en este tipo de tareas sucede hacia los 10 años de edad (Welsh et al., 1991).

La incapacidad para inhibir respuestas automáticas, observada en niños pequeños no parece ser el resultado de una falta de comprensión de las reglas de una tarea particular. Livesey y Morgan (1991) estudiaron el desempeño de niños de 4 y 5 años en pruebas de acción-inhibición y encontraron que a pesar de que los participantes eran capaces de realizar una discriminación verbal entre las instancias de acción (*go*) e inhibición (*no-go*) y que entendían las reglas de la actividad, no eran capaces de realizar la tarea correctamente al no poder inhibir la respuesta motora inapropiada.

Planeación

La habilidad para planear se refiere a la capacidad para identificar y organizar una secuencia de eventos con el fin de lograr una meta específica (Lezak et al., 2004). Desde la edad de tres años, el niño comprende la naturaleza preparatoria de un plan y es capaz de formular propósitos verbales simples relacionados con eventos familiares. De igual manera, puede solucionar problemas y puede ya

desarrollar estrategias para prevenir problemas futuros (Hudson, Shapiro, & Sosa, 1995). Este tipo de planeación es, sin embargo, simple y menos eficiente a la habilidad para programar que se encuentra en niños de 7 y 11 años, quienes mantienen un plan de acción mucho más organizado y eficaz (Levin et al., 1991).

La ventaja en la solución de problemas asociada con la edad ha sido analizada utilizando pruebas como la Torre de Hanoi (Simon, 1975) y la Torre de Londres (Shallice, 1982). En estas pruebas hay que solucionar una serie de problemas visoespaciales utilizando unos discos de diferentes colores y tamaños que deben ser colocados en estacas. El problema es solucionado cuando el niño logra reproducir un modelo con un mínimo número de movimientos de los discos dentro de las estacas y teniendo en cuenta que nunca se puede colocar un disco grande sobre un disco pequeño. Es por ello esencial para la adecuada solución del problema, que el niño antes de actuar tenga un plan de acción (Byrd, Van der Veen, McNamara, & Berg, 2004). Klahr (1985) encontró que a la edad de 3 a 5 años ya hay una capacidad para programar entre dos y tres movimientos en la solución de problemas de la Torre de Hanoi; esta capacidad de anticipación de los movimientos continúa desarrollándose durante los años preescolares (Klahr & Robinson, 1981) y su desarrollo es paralelo al decremento en el número de movimientos que no están dirigidos al logro una meta clara y que son más bien exploratorios del tipo "ensayo y error". La presencia de movimientos al azar en niños pequeños sugiere una carencia en la representación mental de un objetivo final (Welsh, 1991; Welsh et al., 1991).

Romine y Reynolds (2005) usaron el meta-análisis para demostrar que el período de mayor desarrollo en las habilidades para planear, medidas con las pruebas de las Torres de Londres y de Hanoi, ocurría entre los 5 y los 8 años de edad. Después de esta edad no parecen observarse cambios mayores en la destreza para solucionar estos problemas. Más aún, se ha sugerido que los niños entre los 9 y los 13 años alcanzan ya niveles equivalentes a los del adulto en el desempeño en estas pruebas (Anderson, Anderson, & Lajoie, 1996; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Welsh et al., 1991).

Recientemente Matute y colaboradores (en consideración) confirman que la etapa de desarrollo comprendida entre los 5 y los 8 años se caracteriza por una mejoría acelerada en la solución de problemas que se desacelera entre los 9 y los 10 años. Estos autores utilizan una versión semejante a la de las torres pero sin que se utilicen estacas. Esta versión es conocida como Pirámide de México y forma parte de una batería neuropsicológica (Matute, Rosselli, Ardila, & Ostrosky, 2007). Los resultados obtenidos por Matute y colaboradores (en consideración) sugieren una etapa de desarrollo caracterizada por importantes cambios entre los 5 y los 8 años, que se van haciendo más paulatinos a partir de los 9 y 10 años en cuanto a la precisión en la ejecución en tanto que, la velocidad para realizar los diseños continúa disminuyendo hasta la edad de 16 años. Es interesante anotar que Matute y colaboradores encontraron una leve disminución en el número de aciertos en la solución de problemas en la Pirámide de México en el grupo de los niños de 11 y 12 años, disminución que ya había sido mencionada por Anderson y colaboradores en 2002. Esta regresión según Anderson

podría ser indicio del cambio de estrategias cognoscitivas que el niño sufre antes de entrar en la adolescencia que coincide con el uso de de estrategias mas conservadoras y menos arriesgadas (Matute et al., en consideración). Vale la pena mencionar que este cambio en la velocidad en el progreso de la solución de problemas que se ha descrito en la adolescencia no se extiende necesariamente a otras funciones ejecutivas. Así por ejemplo, se ha descrito un incremento lineal en la precisión y velocidad de tareas de no verbales de tipo inhibitorio después de la adolescencia (Davidson, Cruess, Diamond, O'Craven, & Savoy, 1999).

Tal parece entonces que desde el nacimiento hasta la adolescencia se observa un desempeño gradualmente mejor en tareas de solución de problemas, progreso que se desacelera pero se mantiene durante la adolescencia. En la mayoría de los casos el desempeño en esta etapa del desarrollo es ya equivalente al del adulto. De Luca y colaboradores (2006) encuentra que la cúspide en las habilidades para solucionar problemas se logra, sin embargo, después de la adolescencia entre los 20 y los 29 años.

Flexibilidad cognoscitiva

La flexibilidad cognoscitiva se refiere a la habilidad para cambiar rápidamente de una respuesta a otra empleando estrategias alternativas. Implica normalmente un análisis de las consecuencias de la propia conducta y un aprendizaje de sus errores (Anderson, 2002). Se estima que la flexibilidad cognoscitiva aparece entre los 3 y los 5 años cuando al niño se le facilita cambiar de una regla a otra, por ejemplo, en tareas de clasificación de objetos (Espy, 1997). Es claro que esta flexibilidad es dependiente del número de reglas que se

incluyan en la tarea. Es así como al incrementar el número de reglas y, por lo tanto, la complejidad de la tarea, se hace evidente mayor número de respuestas de tipo perseverativo que denotan menos flexibilidad cognoscitiva.

Zelazo y Frye (1998) conciben el desarrollo de las funciones ejecutivas como derivado de los cambios en el grado de complejidad de las reglas que el niño puede formular y aplicar a la solución de un problema. De acuerdo con esta teoría conocida como del Control y la Complejidad Cognitiva (CCC), el niño a la edad de tres años puede mantener en la mente solamente una regla (o principio), por ejemplo el color, al realizar una prueba de clasificación de tarjetas (“si la tarjeta es roja, va aquí; si la tarjeta es azul, va acá”). Si a un niño de esta edad se le pide que cambie la regla y empiece a clasificar las tarjetas siguiendo una regla diferente, por ejemplo figura en lugar de color (“si la tarjeta tiene una flor, va aquí; si ésta tiene un auto, va acá”), el niño de esta edad probablemente perseverará en clasificar las tarjetas de acuerdo con el principio de color.

De hecho, algunos autores creen que hasta los 7 años de edad, el niño continúa presentando dificultades en pruebas de clasificación en las que se debe mantener acceso mental a varias reglas para poder hacer cambios de una regla a otra durante el desempeño de la tarea (Anderson, Northam, Hendy, & Wrenall, 2001). De Luca y colaboradores (2003) encuentran que la habilidad para cambiar de una estrategia a otra alcanza el nivel del adulto hacia entre los 8 y los 10 años.

La prueba de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (Heaton, Chelune, Talley, Kay, & Curtis, 1993) se encuentra entre las pruebas más utilizadas para la evaluación

de las funciones ejecutivas y es la que tiene la relación más estrecha con los lóbulos prefrontales (Alvarez & Emory, 2006). Esta prueba evalúa entre otras cosas la flexibilidad cognoscitiva mediante la capacidad de cambiar de una categoría a la otra cuando la regla que se utiliza es modificada. Claros cambios asociados a la edad han sido encontrados partir de los 5 años (Heaton et al., 1993; Rosselli & Ardila, 1993). En general, los autores son consistentes en afirmar que en niños a mayor edad, mayor será el número de categorías y menos los errores. El número de categorías y de errores es equivalente al del adulto en la adolescencia (Strauss, Sherman, & Spreen, 2006).

En conclusión, la capacidad del niño para seguir unas reglas en tareas de clasificación y para cambiar de una categoría a otra esta presente en los años preescolares pero se consolida hacia los 6 años de edad y adquiere un nivel adulto hacia los 10 años.

Fluidez verbal

La generación verbal se considera una función ejecutiva que usualmente se evalúa mediante pruebas de fluidez que piden la producción de palabras pertenecientes a un grupo específico dentro de un límite de tiempo. Se conocen dos tipos de pruebas de fluidez verbal: fonológica (o alfabética) y semántica. La primera exige la producción de palabras que se inician con un fonema o letra, por ejemplo, /m/ y la segunda requiere que las palabras generadas pertenezcan a una categoría semántica, como animales. En ambos casos, la tarea demanda la inhibición de palabras que no pertenecen a la categoría especificada (Anderson et al., 2002) y la implementación de estrategias que permitan la generación del mayor

número posible de palabras dentro del tiempo estipulado.

Dentro de las estrategias cognoscitivas que se consideran más importantes para el éxito de estas tareas se encuentra la búsqueda de palabras por agrupaciones bien sea de sonidos similares o de categorías semánticas (Troyer, 2000). Igualmente la habilidad para cambiar de una categoría a otra, una vez la primera haya sido saturada, es otro elemento importante para el éxito en esta tarea (Troyer, Moscovitch, & Winocur, 1997).

En general, diversos estudios han mostrado que los puntajes en pruebas de fluidez verbal mejoran con la edad (Brocki & Bohlin, 2004; Matute, Rosselli, Ardila, & Morales, 2004). De tal suerte que hacia los 6 años un niño puede generar alrededor de 10 nombres de animales en un minuto, a los 9 cerca de 13 y a los 15 años logra una producción aproximada de 15 animales en un minuto (Ardila & Rosselli, 1994; Crockett, 1974; Gaddes & Crockett, 1975; Halperin et al., 1989; Kolb & Wishaw, 1985). Un correlato semejante se observa entre la producción de palabras en categorías alfabéticas y la edad del niño a pesar de que el incremento con la edad en las categorías fonológicas es menor que en las categorías semánticas (Koren, Kofman, & Berger, 2004) debido posiblemente a un nivel de dificultad mayor. Los niños de 6 años producen en un minuto un promedio de 3 a 4 palabras que comienzan por una misma letra y hacia los 12 años son capaces de generar el doble de palabras (Cohen, Morgan, Vaughn, Riccio, & Hall, 1999). No es claro si después de esta edad continua aún aumentando la producción de palabras en pruebas de fluidez verbal. Algunos autores han encontrado que los niños de 10 años ya logran un nivel

equivalente al del adulto en pruebas de fluidez (Anderson, Northam, et al., 2001; Regard, Strauss, & Knapp, 1982), mientras que otros sugieren que esta habilidad continua su desarrollo durante la adolescencia y aún en la adultez temprana (Klenberg, Korkman, & Lahti-Nuutila, 2001). Matute y colaboradores (2004) encontraron que las habilidades semánticas alcanza el nivel del adulto entre los 14 y los 15 años mientras que las habilidades de fluidez fonológica no alcanzan el nivel del adulto a esta edad. Resultados semejantes han sido encontrados por Hurks y colaboradores (2006).

El desempeño en pruebas de fluidez verbal esta influido por los niveles de vocabulario del niño (Ruff, Light, Parker, & Levin, 1997) y por el medio socio-cultural en el que vive. Así por ejemplo, un bajo nivel educativo de los padres ha sido asociado con una baja producción de palabras en el niño en pruebas de fluidez verbal (Ardila, Rosselli, Matute, & Guajardo, 2005).

Se puede concluir entonces que las habilidades de fluidez verbal semántica y fonológica mejoran con la edad y parecen alcanzar su máximo desarrollo entre la adolescencia y la adultez temprana. El nivel de dificultad de los dos tipos de pruebas de fluidez no es el mismo, teniendo la prueba de fluidez fonológica un nivel de dificultad mayor lo cual se refleja en una menor producción de palabras al compararla con la prueba de fluidez semántica.

Las funciones ejecutivas durante el envejecimiento

Las funciones ejecutivas son de las habilidades cognoscitivas más sensibles al proceso del envejecimiento. De hecho se ha visto que los procesos cognoscitivos mediados por el lóbulo prefrontal sufren un

deterioro con la edad, lo que no sucede con habilidades mediadas por áreas cerebrales más posteriores (Ardila & Rosselli, 2007; Daigneault, Braun, & Whitaker, 1992). La observación de una vulnerabilidad especial del lóbulo prefrontal a los efectos de la edad, junto con la observación del deterioro específico de ciertos procesos cognitivos, llevó al desarrollo de la teoría del “envejecimiento del lóbulo frontal”, la cual propone que los procesos cognoscitivos mediados por el lóbulo frontal son los primeros en sufrir deterioro con la edad avanzada (Dempster, 1992; West, 1996).

A continuación revisaremos el cambio que se ha registrado con el envejecimiento en la habilidad para planear, el control de la atención, la flexibilidad cognoscitiva y la fluidez verbal.

Control atencional

Es ampliamente reconocido que el control de la atención constituye una de las áreas cognitivas donde se observan mayores efectos con la edad avanzada. Entre las teorías más influyentes que intentan explicar los procesos de atención en los ancianos se encuentra la hipótesis de déficit inhibitorio de Hasher y Zacks (1988), la cual propone que un mal funcionamiento de los mecanismos de inhibición es responsable por una gran variedad de problemas cognitivos asociados con la edad. En particular, la falta de control inhibitorio produce, según las autoras, el ingreso a la memoria de trabajo de información irrelevante a la tarea que se realiza, limitando así la capacidad de procesamiento de información relevante. Este déficit inhibitorio trae como consecuencia una mayor distractibilidad, así como un incremento en el número de respuestas inapropiadas y en el tiempo

necesario para producir respuestas correctas (Pousada Fernández, 1998).

Mediante la utilización de pruebas que miden la capacidad para inhibir una respuesta automática, varios autores han podido confirmar lo propuesto por Hasher y Zacks (1988). Utilizando las pruebas Stroop y Haylings (Burgess & Shallice, 1996), un grupo de autores demostró un déficit en el funcionamiento inhibitorio de un grupo de personas de edad avanzada al compararlo con el rendimiento de un grupo de jóvenes (Belleville, Rouleau, & van der Linden, 2006). Específicamente, el tiempo necesario para nombrar los colores durante la parte de interferencia de la prueba Stroop incrementó significativamente en las personas mayores lo que replica los resultados de otros autores (Van der Elst, Van Boxtel, Van Breukelen, & Jolles, 2006). De igual manera, el grupo de mayor edad se distinguió del grupo más joven por presentar un número incrementado de errores y requerir más tiempo para inhibir respuestas inapropiadas en la prueba Haylings.

La relación entre la edad avanzada y los problemas de control inhibitorio también han sido evidenciados mediante el uso de pruebas de ejecución continuada donde se observa un incremento en el número de errores de comisión en los grupos de participantes mayores (Haarmann, Ashling, Davelaar, & Usher, 2005; Mani, Bedwell, & Miller, 2005; Rush, Barch, & Braver, 2006).

Se ha intentado explicar los efectos de la edad en los mecanismos inhibitorios como mediados por una lentificación cognoscitiva. Salthouse y Mainz (1995) propusieron, por ejemplo, que el bajo rendimiento de las personas mayores en varias versiones de la prueba Stroop puede ser explicado por una disminuida rapidez de procesamiento

cognoscitivo y no por un conflicto inhibitorio específico. De igual manera, los resultados del meta-análisis de Verhaeghen y De Meersman (1998) sugieren que el incremento en interferencia en las pruebas de Stroop no es el resultado directo de una vulnerabilidad especial de la inhibición a los efectos de la edad avanzada sino más bien resultado de una lentificación general. Por otro lado, varios autores contradicen estos hallazgos sugiriendo que una vez que se controlan estadísticamente los efectos de la velocidad de procesamiento sobre las pruebas de inhibición aún existe un claro efecto de la edad avanzada (Andrés & Van der Linden, 2000; Rush et al., 2006).

En conclusión, es claro que el control de la atención, y en especial el funcionamiento de los mecanismos inhibitorios, muestran un déficit con la edad avanzada. Los resultados a veces contradictorios obtenidos en diversos estudios podría quizá explicarse por la variabilidad en el tipo de tarea; en otras palabras, es posible que la relación entre la edad y el control inhibitorio solamente sea evidente mediante el uso de ciertas pruebas de atención y no de otras (Van Gerven, Van Boxtel, Meijer, Willems, & Jolles, 2007).

Planeación

Otra de las funciones ejecutivas que parecen sufrir cambios con el envejecimiento en la capacidad para planear. Daigneault et al. (1992) investigaron a un grupo de adultos menores de 65 años y encontraron un decremento en la habilidad para regular el comportamiento de acuerdo a un plan. De manera similar, Zook, Welsh, & Ewing (2006) encontraron un declive en los puntajes obtenidos en la prueba Torre de Londres-Revisada comenzando a la edad de 60 años. Este déficit, sin embargo,

estaba más correlacionado con otras habilidades no verbales, utilizadas usualmente dentro de la inteligencia "fluida", que con la edad cronológica. De hecho, los problemas presentados en las pruebas de las Torres son problemas viso-espaciales novedosos que correspondería al componente fluido de la cognición.

Rönnlund, Lövdén, y Nilsson (2001) también encontraron una sensibilidad a los efectos de la edad en la prueba de la Torre de Hanoi en la que la habilidad para planear es esencial. Este grupo de investigadores encontró que la edad avanzada estaba correlacionada con un incremento en el número de movimientos necesarios para completar esta tarea, y una lentificación gradual en la velocidad de ejecución de la prueba, así como un aumento en el número de movimientos por ensayo y error. Los autores concluyen que la prueba de la Torre de Hanoi no solamente es un instrumento eficaz para determinar los efectos de la edad sobre algunos aspectos de la cognición, sino que también es indiferente a los efectos de la educación, así como ya lo había reportado Glosser y Goodglass (1990). En un estudio más reciente, el mismo grupo de autores analizó el rendimiento de personas de edad avanzada en la prueba de la Torre de Hanoi comparándolos dentro de un estudio de tipo longitudinal (la misma muestra evaluada dos veces en tiempos diferentes) con otro de tipo croseccional (dos muestras de dos edades diferentes evaluadas en un momento determinado; Rönnlund, Lövdén, & Nilsson, 2008). Los resultados obtenidos usando un diseño longitudinal demostraron muy pocos cambios del desempeño en la prueba asociados a la edad entre la década de los 30's y la década de los 60's pero cambios importantes de lentificación en su realización y presencia de errores después

de los 65 años. El estudio crossectional, por otro lado, encontró un deterioro gradual en los puntajes de esta prueba desde los 35 hasta los 85 años. Los autores concluyen que en los estudios crossectionales en los que se comparan dos grupos con edades diferentes existen variables educativas que diferencian a las dos cohortes y que podrían estar actuando como variables aleatorias limitando los resultados.

Brennan, Welsh, y Fisher (1997) examinaron la interacción entre la dificultad de la prueba y los efectos de la edad comparando el rendimiento en la Torre de Hanoi entre un grupo de adultos jóvenes (edad promedio 19 años) y dos grupos de adultos de edad avanzada (edades promedio 65 y 75 años, respectivamente). Al realizar la prueba utilizando 3 discos, no hubo diferencias significativas entre el rendimiento de los tres grupos; al incrementar la complejidad de la prueba a 4 discos, sin embargo, el grupo de adultos jóvenes obtuvo un puntaje significativamente superior al de los otros dos grupos.

Los resultados de los estudios mencionados permiten concluir que de hecho existe un efecto de la edad sobre el rendimiento en pruebas ejecutivas que evalúan la capacidad de planear, a pesar de que se mantiene indefinida la edad precisa en la que este deterioro es evidente por primera vez así como los posibles efectos que tengan la complejidad y las características de prueba de medición que se utilice. De hecho, un estudio reciente demostró que al utilizar una prueba de planificación más ecológicamente válida (la planificación de un horario de trabajo) en vez de una prueba neuropsicológica estandarizada como sería la Torre de Londres, las diferencias en eficiencia entre

un grupo joven y uno adulto desaparecen (Phillips, Kliegel, & Martin, 2006). Estos resultados sugieren entonces que la capacidad para planear dependería significativamente del tipo de tarea que se utilice.

Flexibilidad Cognoscitiva

Las capacidades de flexibilidad cognoscitiva en la población adulta han sido extensivamente estudiadas mediante la prueba de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (*Wisconsin Card Sorting Test* [WCST]), aunque no se han obtenido aún resultados concluyentes. Axelrod y Henry (1992) encontraron un incremento significativo en el número de errores y respuestas perseverativas después de los 60 años, así como una disminución en el número de categorías completadas. Daigneault et al. (1992) reportaron de igual manera un incremento en el número de perseveraciones junto con un decremento en el número de categorías obtenidas. Salthouse, Fristoe y Rhee (1996) demostraron que la edad avanzada tiene un efecto negativo en casi todas las variables de la prueba WCST. Crawford, Bryan, Luszcz, Obonsawin, y Stewart (2000) encontraron también un deterioro significativo mediado por la edad utilizando una variante de la prueba WCST, la prueba de Clasificación de Tarjetas Modificada (*Modified Card Sorting Test*), al comparar un grupo de personas de edad avanzada a un grupo más joven.

Entre las teorías propuestas para explicar los efectos de la edad sobre las pruebas de flexibilidad cognoscitiva se encuentra la de Ridderinkhof, Span, y van der Molen (2002) quienes sugieren un deterioro en la habilidad de los adultos mayores para formar nuevas hipótesis respecto a reglas que cambian constantemente. Esta teoría

estaría en concordancia con aquella que propone que la inteligencia fluida es muy sensible al envejecimiento (Belsky, 1990). Offenbach (1974) propone, por otro lado, que ésta población envejeciendo presenta fallas en la utilización de la información retroalimentada en pruebas como el WCST como resultado de limitaciones en la memoria de trabajo. Por último, Salthouse (1996) explicó el deterioro en la flexibilidad como resultado de una velocidad de procesamiento lentificada la cual disminuye la cantidad de información que puede ser activada simultáneamente. Este autor utilizó una variante de la Prueba de Rastreo (*Trail Making Test*) y encontró que los efectos de la edad sobre la flexibilidad cognoscitiva podían ser explicados mediante la influencia de la lentificación de la velocidad de procesamiento sobre la memoria de trabajo (Fristoe, Salthouse, & Woodard, 1997; Salthouse et al., 2000). Sin embargo, Wecker, Kramer, Hallam, y Delis (2005) encontraron un efecto de la edad avanzada sobre las pruebas de flexibilidad cognoscitiva aún tras tomar en consideración los efectos de la velocidad motora y perceptual.

Algunos estudios, sin embargo, no han encontrado una diferencia significativa en la eficiencia para realizar pruebas de flexibilidad cognoscitiva entre grupos de jóvenes y grupos de adultos de edad avanzada. Utilizando el WCST, Mejía, Pineda, Álvarez, y Ardila (1998) no observaron diferencias entre dos grupos compuesto por individuos con edades entre 55 y 70 años y 71 a 85 años. De manera sorpresiva, Haaland, Vranes, Goodwin, y Garry (1987) encontraron un decremento en el número de errores perseverativos junto con un incremento en el número de categorías obtenidas por personas mayores en comparación con grupos más jóvenes.

Este grupo de autores solamente reportó deterioro en la habilidad de flexibilidad cognoscitiva después de los 80 años de edad.

En resumen, la mayoría de la investigación sobre flexibilidad cognoscitiva ha demostrado que con el paso del tiempo las personas de edad avanzada cometen más errores de tipo perseverativo y necesitan más tiempo para la realización de la tarea. Sin embargo, estos hallazgos no son siempre consistentes. Estas diferencias podrían ser resultantes de variabilidad en el tamaño de las muestras estudiadas y en inconsistencia en los niveles educativos de los participantes.

Fluidez Verbal

El estudio de los cambios en la fluidez verbal en la población de edad avanzada ha generado resultados opuestos y contradictorios. Mientras algunos autores aseguran que no existe un efecto de la edad sobre la fluidez verbal otros sugieren que los jóvenes obtienen mejores puntajes que las personas mayores en este tipo de pruebas. Por ejemplo, Fisk y Sharp (2004) no encontraron evidencia alguna que sustente la teoría de un efecto negativo de la edad en la fluidez verbal, con la excepción de paradigmas que incluían la manipulación simultánea de información (dual-task). De igual manera, Bolla, Lindgren, Bonnacorsy, y Bleecker (1990) reportaron que el nivel de inteligencia verbal, más no la edad cronológica, era capaz de predecir el nivel de fluidez verbal en un grupo de personas mayores. Rodríguez-Aranda y Sundet (2006) analizaron diferentes tipos de pruebas de función ejecutiva y encontraron un claro efecto de la edad en todas las pruebas estudiadas menos en la prueba de fluidez verbal. Algunos autores sugieren que la

fluidez verbal se mantiene sin cambio por la edad gracias a que depende de una fuente de conocimiento verbal que se mantiene intacta con el paso de los años (Crawford et al., 2000). De hecho varios autores han encontrado que el nivel de vocabulario es poco sensible al paso del tiempo (Emery, 1985; Mitrushina, Patel, Satz, D'Elia, & McConnell, 1989) y solamente se hacen evidentes en la octava década de la vida (Emery, 1985).

Por otro lado, Brickman et al. (2005) reportaron un deterioro lineal en la función de la fluidez verbal a medida que avanza la edad. Estos autores pudieron replicar los resultados presentados anteriormente que proponen que la fluidez verbal semántica sufre un déficit más tempranamente que la fluidez fonológica (Auriacombe et al., 2001; Crossley, D'Arcy, & Rawson, 1997). Asimismo, Bolla, Gray, Resnick, Galante, y Kawas (1998) encontraron un efecto significativo de la edad en la fluidez verbal fonológica y semántica al estudiar un grupo de personas mayores con alto nivel educativo. Un meta-análisis reciente también demostró un deterioro lento de las funciones de fluidez fonológica a partir de los 40 años de edad, el cual se vuelve rápido a partir de los 60 años (Rodríguez-Aranda & Martinussen, 2006).

No queda claro por qué se han obtenido resultados tan divergentes con respecto a los cambios asociados a la edad dentro de la función de fluidez verbal, pero es posible que una falta de control del nivel educativo dentro del diseño experimental esté involucrada. El efecto de la educación en las pruebas de fluidez verbal ha sido claramente establecido (Ardila et al., 2000), y debe ser estrictamente controlado junto con otras variables socioeconómicas.

El lóbulo frontal y las funciones ejecutivas

El desarrollo de las funciones ejecutivas está estrechamente relacionado con la maduración del lóbulo frontal, en especial de la región prefrontal, la cual está relativamente inmadura en el niño recién nacido y continúa su maduración durante la niñez y hasta entrada la adolescencia (Anderson, Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001; Fuster, 1993). Los cambios principales que se observan en el lóbulo prefrontal durante su desarrollo incluyen procesos de arborización, mielinización y sinaptogénesis (Anderson, Northam, et al., 2001). El desarrollo progresivo de las funciones ejecutivas durante la infancia coincide con la aparición gradual de conexiones neuronales dentro de los lóbulos frontales (Anderson, Northam, et al., 2001; Bell & Fox, 1997; Nagy, Westerberg, & Klingberg, 2004; Powell & Voeller, 2004).

Se han demostrado períodos en el desarrollo humano en los que aparece un desarrollo más marcado de la corteza prefrontal (Klingberg, Vaidya, Gabrieli, Moseley, & Hedehus, 1999) con mayor mielinización, y con el consecuente incremento de la sustancia blanca. El primero de estos períodos se observa entre el nacimiento y los 2 años, el segundo entre los 7 y los 9, y el último al final de la adolescencia, entre los 16 y los 19 años (Anderson, Northam, et al., 2001; Sowell et al., 2003). Varios autores han correlacionado los cambios estructurales que ocurren en los lóbulos frontales en diferentes grupos de edad con medidas explícitas de las habilidades ejecutivas (Sowell, Delis, Stiles, & Jeringan, 2001).

La relación entre las funciones ejecutivas y los lóbulos prefrontales ha sido igualmente confirmada por estudios con poblaciones

infantiles que presentan daño cerebral. Así, por ejemplo, los niños con lesiones frontales presentan dificultad en la solución de problemas, con disminución de su flexibilidad cognoscitiva (Jacobs & Anderson, 2002). Se ha observado además que estos niños tienen reducción en la capacidad para planear así como en el control de sus impulsos (Hernández et al., 2002). Está claro, sin embargo, que los lóbulos frontales dependen en gran parte de las numerosas aferencias y eferencias con otras regiones del cerebro y, por lo tanto, su maduración no es independiente de otras áreas del cerebro; ello bien podría simplemente reflejar la integración en el desarrollo general de la corteza cerebral. Más aún, se ha sugerido que el desarrollo de las llamadas funciones ejecutivas podría entonces depender en gran parte del desarrollo gradual del lenguaje, de la rapidez en el procesamiento de la información, y de la capacidad de atención y de memoria (Anderson, Northam et al., 2001).

El lóbulo frontal también sufre importantes cambios anatómicos como consecuencia del envejecimiento. Entre estos cambios se observan una reducción tanto en el número de neuronas como en su funcionamiento; estas modificaciones cerebrales aparecen antes en el lóbulo frontal que en otras regiones cerebrales (West, 2000). Se ha estimado, por ejemplo, que la reducción del volumen cerebral en las áreas frontales está entre el 10 y el 17%, mientras que los lóbulos occipital, parietal y temporal reducen su volumen solamente en un 1% (Haug & Eggers, 1991). Estudios longitudinales en personas mayores han demostrado una reducción en el flujo sanguíneo cerebral en las regiones prefrontales antes de que se observen cambios en otras áreas de la corteza

cerebral. La vulnerabilidad selectiva del lóbulo frontal durante el envejecimiento ha sido cuestionada por Greenwood (2000) quien propone que el envejecimiento se asocia con cambios tanto estructurales como funcionales de otras áreas cerebrales, como son los lóbulos parietales y temporales.

La asociación entre funciones ejecutivas y los lóbulos frontales ha sido claramente señalada mediante la utilización de técnicas de neuroimagen. A través de estos procedimientos se ha encontrado que la participación del lóbulo frontal no es homogénea, ya que diversas regiones en este lóbulo participan de manera diferencial en diferentes funciones ejecutivas (Stuss & Alexander, 2000; Stuss et al., 2002). Así por ejemplo, la región dorsolateral prefrontal derecha jugaría un papel fundamental en el control ejecutivo en tareas de flexibilidad cognoscitiva (Lie, Specht, Marshal, & Fink, 2006), mientras que las regiones prefrontales rostro laterales izquierdas serían centrales en la planeación de tareas con alto nivel de dificultad (Wagner, Koch, Reichenbach, Sauer, & Schlosser, 2006) y las regiones prefrontales mediales se activarían fundamentalmente en tareas que requieren inhibición comportamental (Talati & Hirsch, 2005). Las técnicas de neuroimagen han demostrado además que como mediador de las funciones ejecutivas, el área prefrontal trabaja en colaboración con otras regiones cerebrales, tales como el lóbulo parietal, regiones subcorticales y algunos núcleos talámicas (Kassubek, Juengling, Ecker, & Landwehrmeyer, 2005; Lie et al., 2006; Monchi, Petrides, Strafella, Worsley, & Doyon, 2006; Wagner et al., 2006). Más aún, se ha registrado activación de numerosas áreas cerebrales, además de la observada en la región prefrontal, cuando se realizan las pruebas neuropsicológicas

que evalúan la función ejecutiva (para una revisión, Alvarez & Emory 2006; Jurado & Rosselli, 2007).

Es claro entonces que las funciones ejecutivas se asocian con los lóbulos prefrontales. Sin embargo, dada la complejidad de estas funciones la participación de otras áreas cerebrales parecería necesaria.

Conclusiones

La investigación sobre el desarrollo de las funciones ejecutivas ha demostrado que estas se desarrollan de manera progresiva desde el nacimiento y alcanzan niveles del adulto hacia los 10 años en cuanto a la capacidad para cambiar de una estrategia a la otra, mientras que las habilidades de planeación y generación verbal continúan su desarrollo hacia la adolescencia y aún durante la adultez temprana. De igual manera, las funciones ejecutivas en general tienden a declinar con el envejecimiento siendo la década de los 60's y 70's particularmente sensibles a estos cambios. La modificación de las funciones ejecutivas a través de la vida se ha correlacionado con cambios a nivel estructural y funcional de los lóbulos frontales. Sin embargo, los pocos estudios que han relacionado las tareas específicas de una función ejecutiva con su correspondiente activación cerebral han demostrado la participación de otras áreas cerebrales. La mayoría de los estudios aquí revisados son de tipo transversal haciendo difícil el control de variables de tipo generacional y educativo y poniendo en evidencia la necesidad de estudios de tipo longitudinal para lograr una mejor comprensión de los cambios en las funciones ejecutivas con el paso del tiempo y sus correspondientes correlatos con las modificaciones a nivel cerebral.

Referencias

- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. *Neuropsychology Review, 16*, 17-42.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology, 8*, 71-82.
- Anderson, P., Anderson, V., & Lajoie, G. (1996). The Tower of London test: validation and standardization for pediatric population. *Clinical Neuropsychologist, 10*, 64-65.
- Anderson, V., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology, 20*, 385-406.
- Anderson, V., Levin, H., & Jacobs, R. (2002). Executive functions after frontal lobe injury: A developmental perspective. En D. T. Stuss, & R.T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 504-527). New York: Oxford University Press.
- Anderson, V., Northam, E., Hendy, J., & Wrenall, J. (2001). *Developmental Neuropsychology: A clinical approach*. New York: Psychology Press.
- Andrés, P., & van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *Journal of Gerontology, 55*, 373-380.
- Ardila, A., Pineda, D., & Rosselli, M. (2000). Correlations between intelligence test scores and executive function measures.

Archives of Clinical Neuropsychology, 15, 31-36.

Ardila, A., & Rosselli, M. (1994). Development of language, memory and visuospatial abilities in 5 to 12 year old children using a neuropsychological battery. *Developmental Neuropsychology*, 10, 97-120.

Ardila, A. & Rosselli, M (2007). *Neuropsicología Clínica*. México, D.F., Mexico: Manual Moderno

Ardila, A., Rosselli, M., Matute, E., & Guajardo, G. (2005). The influence of parents educational level on the development of executive functions. *Developmental Neuropsychology*, 28, 539-560.

Auriacombe, S., Fabriogoule, C., Lafont, S., Amieva, H., Jacquim-Gadda, H., & Dartigues, J. F. (2001). Letter and category fluency in normal elderly participants: A population based study. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8, 98-108.

Axelrod, B. N., & Henry, R. R. (1992). Age-related performance on the Wisconsin Card Sorting Test, Similarities, and Controlled Oral Word Association Tests. *The Clinical Neuropsychologist*, 6, 16-26.

Baillargeon, R., Spelke, E. S., & Wasserman, S. (1985). Object permanence in five-month-old infants. *Cognition*, 20, 191-208.

Bell, M. A., & Fox, N. A. (1997). Individual differences in object permanence. Performance at 8 months: locomotor experience and brain electrical activity. *Developmental Psychobiology*, 31, 287-297.

Belleville, S., Rouleau, N., & Van der Linden, M. (2006). Use of Hayling task to measure inhibition of prepotent responses in normal aging and Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, 62, 113-119.

Belsky, J. K. (1990). *The psychology of aging theory, research, and interventions*. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company.

Bolla, K., Lindgren, K., Bonaccorsy, C., & Bleecker, M. (1990). Predictors of verbal fluency (FAS) in the healthy elderly. *Journal of Clinical Psychology*, 46, 623-628.

Bolla, K., Gray, S., Resnick, S., Galante, R., & Kawas, C. (1998). Category and letter fluency in highly educated older adults. *The Clinical Neuropsychologist*, 12, 330-338.

Brennan, M., Welsh, M., & Fisher, C. (1997). Aging and executive function skills: An examination of a community-dwelling older adult population. *Perceptual and Motor Skills*, 84, 1187-1197.

Brickman, A., Paul, R., Cohen, R., William, L., MacGreggor, K., Jefferson, A., et al. (2005). Category and letter fluency across the adult lifespan: Relationship to EEG theta power. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20, 561-573.

Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, 26(2), 571-593.

Burgess, P., & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation, and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 34, 263-273.

- Byrd, D., Van der Veen, T., McNamara, J., & Berg, K. (2004). Preschoolers don't practice what they preach: Preschoolers' planning performances with manual and spoken response requirements. *Journal of Cognition and Development, 5*, 427-449.
- Cohen, M. J., Morgan, A. M., Vaughn, M., Riccio, C. A., & Hall, J. (1999). Verbal fluency in children: developmental issues and differential validity in distinguishing children with attention-deficit hyperactivity disorder and two subtypes of dyslexia. *Archives of Clinical Neuropsychology, 14*, 433-443.
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience, 139*, 209-221.
- Crawford, J., Bryan, J., Luszcz, M., Obonsawin, M., & Stewart, L. (2000). The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficit and do they mediate age-related memory decline? *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 7*, 9-31.
- Crépeau, F., Scherzer, B. P., Belleville, S., & Desmarais, G. (1997). A qualitative análisis of central executive disorders in a real-life work situation. *Neuropsychological Rehabilitation, 7*, 147-165.
- Crockett, D. J. (1974). Component analysis of within correlations of language-skill tests in normal children. *Journal of Special Education, 8*, 361-375.
- Crossley, M., D'Arcy, C., & Rawson, N. S. (1997). Letter and category fluency in community dwelling Canadian seniors: A comparison of normal participants to those with dementia of the Alzheimer or vascular type. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 19*, 52-62.
- Daigneault, S., Braun, C. M., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology, 8*, 99-114.
- Davidson, M., Cruess, L., Diamond, A., O'Craven, K., & Savoy, R. (1999, Abril). Comparison of executive functions in children and adults using directional Stroop tasks. Poster presentado en el Encuentro Bienal de la Society for Research in Child Development en Albuquerque, Nuevo México.
- De Luca, C. R., Wood, S. J., Anderson, V., Buchanan, J., Proffitt, T. M., Mahony, K., & Pantelis, C. (2003). Normative data from the Cantab: Development of executive function over the lifespan. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 25*, 242-254.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development in aging. *Developmental Review, 12*, 45-75.
- Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of, inhibitory control in reaching. *Annals of the New York Academy of Sciences, 608*, 637-676.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood. En D. T. Stuss, & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*

(pp. 406-503). New York: Oxford University Press.

Diamond, A., & Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology*, 22, 271-294.

Diamond, A., & Goldman-Rakic, P. (1989). Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's AB task: Evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 74, 24-40.

Diamond, A., Kirkham, N., & Amso, D. (2002). Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response. *Developmental Psychology*, 38, 352-362.

Duncan, J. (2005). Frontal lobe function and general intelligence: Why it matters. *Cortex*, 41, 215-217.

Emery, O. B. (1985). Language and aging. *Experimental Aging Research*, 11, 3-60.

Espy, K. (1997). The shape school: Assessing executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 13, 495-499.

Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004) Age-related impairment in executive functioning: Updating, inhibition, shifting and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26, 874-890.

Fristoe, N., Salthouse, T., & Woodard, J. (1997). Examination of age-related deficits on the Wisconsin Card Sorting Test. *Neuropsychology*, 11, 428-436.

Fuster, J. (1993). Frontal lobes. *Current Opinion in Neurobiology*, 3, 160-165.

Gaddes, W. H., & Crockett, D. J. (1975). The Spreen-Benton aphasia tests, normative data as a measure of normal language development. *Brain and Language*, 2, 257-280.

Gerstadt, C., Hong, Y., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of 3 1/2-7 year old children on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.

Glosser, G., & Goodglass, H. (1990). Disorders in executive control functions among aphasic and other brain-damaged patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12, 485-501.

Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvot, J. P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobe: Modularity of the central-supervisory system. *Cortex*, 35, 1-20.

Golberg, E. (2001). *The executive brain: Frontal lobes and the civilized mind*. New York: Oxford University Press.

Greenwood, P. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6, 705-726.

Haaland, K., Vranes, L., Goodwin, J., & Garry, P. (1987). Wisconsin Card Sorting Test performance in a healthy elderly population. *Journal of Gerontology*, 42, 345-346.

- Haarmann, H., Ashling, G., Davelaar, E. & Usher, M. (2005) Age-related declines in context maintenance and semantic short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58, 34-53.
- Halperin, J. M., Healy, J. M., Zeitchik, E., Ludman, W. L., & Weinstein, L. (1989). Developmental aspects of linguistic and mnemonic abilities in normal children. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11, 518-528.
- Hasher, L., & Zacks, R. (1988). Working memory, comprehension and aging: A review and a new view. En G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp.193-225). New York: Academic Press.
- Harris, P. L. (1974). Perseverative search at a visible empty place by young infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 535-542.
- Haug, H., & Eggers, R. (1991). Morphometry of the human cortex cerebri and corpus striatum during aging. *Neurobiology of Aging*, 12, 336-338.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtis, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test (WCST), anual, revised and expanded*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hernández, M. T., Sauerwein, H. C., Jambaqué, I., De Guise, E., Lussier, F., Lortie, A., Dulac, O., & Lassonde, M. (2002). Deficits in executive functions and motor coordination in children with frontal lobe epilepsy. *Neuropsychologia*, 40, 384-400.
- Hudson, J., Shapiro, L., & Sosa, B. (1995). Planning in the real World: Preschool children's scripts and plans for familiar events. *Child Development*, 66, 984-998.
- Huizinga, M., Dolan, C., & van der Molen, M. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Hurks, P., Vles, J., Hendriksen, J., Kalff, A., Feron, F., & Kroes, M. (2006). Semantic category fluency versus initial letter fluency over 60 seconds as a measure of automatic and controlled processing in healthy school-aged children. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 684-695.
- Jacobs, R., & Anderson, V. (2002). Planning and problem solving skills following focal frontal brain lesions in childhood: Analysis using the Tower of London. *Child Neuropsychology*, 8, 93-106.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions: A Review of our Current Understanding. *Neuropsychology Review*, 17(3), 213-233.
- Kassubek, J., Juengling, F. D., Ecker, D., & Landwehrmeyer, G. (2005). Thalamic atrophy in Huntington's disease co-varies with cognitive performance: A morphometric MRI analysis. *Cerebral Cortex*, 15, 846-853.
- Klahr, D. (1985). Solving problems with ambiguous subgoal ordering: Preschoolers' performance. *Child Development*, 56, 940-956.
- Klahr, D., & Robinson, M. (1981). Formal assessment of problem-solving and

planning processes in preschool children. *Cognitive Psychology*, 13, 113-148.

Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuuttila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3 to 12-year-old Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20, 407-428.

Klingberg, T., Vaidya, C. J., Gabrieli, J. D. E., Moseley, M. E., & Hedehus, M. (1999). Myelination and organization of the frontal white matter in children: A diffusion tensor MRI study. *NeuroReport*, 10, 1-5.

Kolb, B., & Wishaw, I. Q. (1985). *Fundamentals of human neuropsychology* (2a. ed.). New York: Freeman.

Koren, R., Kofman, O., & Berger, A. (2005). Analysis of word clustering in verbal fluency of school-aged children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20, 1087-1104.

Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 29-50.

Levin, H., Culhane, K., Hartmann, H., Evankovich, K., Mattson, A., & Harwood, H. (1991). Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functions. *Developmental Neuropsychology*, 7, 377-396.

Lezak, M. (1983). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281-297.

Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological assessment* (4a. ed.). New York: Oxford University Press.

Lie, C., Specht, K., Marshall, J., & Fink, G. R. (2006). Using fMRI to decompose the neural processes underlying the Wisconsin Card Sorting Test. *NeuroImage*, 15, 1038-1049.

Livesey, D. J., & Morgan, G. A. (1991). The development of response inhibition in 4- and 5-year-old children. *Australian Journal of Psychology*, 43, 133-137.

Mani, T., Bedwell, J., & Miller, S. (2005). Age-related decrements in performance on a brief continuous performance test. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20, 575-586.

Matute, E., Chamorro, Y., Inozemtseva, O., Barrios, O., Rosselli, M & Ardila, A. (En consideración). Efecto de la edad en una tarea de planeación y organización ("Pirámide de México") en escolares. *Revista de Neurología*.

Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A., & Morales, L. (2004). Verbal and non-verbal fluency in Spanish speaking children. *Developmental Neuropsychology*, 26, 647-660.

Matute, E., Rosselli, M., Ardila, A., & Ostrosky-Solís, F. (2007). *Evaluación Neuropsicológica Infantil*. México: Manual Moderno.

Melzter, L., & Krishnan, K. (2007). Executive function difficulties and learning disabilities: Understandings and misunderstandings. En L. Melzter (Ed.), *Executive function in education: From theory to practice* (pp. 77-105). New York: Guilford Press.

- Mejía, S., Pineda, D. Alvarez, L., & Ardila, A. (1998) Individual differences in memory and executive function abilities during normal aging. *Psychology and Aging, 4*, 271-284.
- Mitrushina, M., Patel, P. G., Satz, P., D'Elia, & McConnell, M. J. (1989). Changes in semantic memory processing in normal and at risk aging adults. *Developmental Neuropsychology, 5*, 321-334.
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49-100.
- Monchi, O., Petrides, M., Strafella, A., Worsley, J., & Doyon, J. (2006) Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Annals of Neurology, 59*, 257-264.
- Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of Cognitive Neuroscience, 16*, 1227-1233.
- Offenbach, S. I. (1974). A developmental study of hypothesis testing and cue selection strategies. *Developmental Psychology, 10*, 484-490.
- Phillips, L. H., Kliegel, M., & Martin, M. (2006). Age and planning tasks: The influence of ecological validity. *International Journal of Aging & Human Development, 62*, 175-184.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. Oxford: Basic.
- Pousada Fernández, M. (1998). El déficit en los mecanismos de inhibición como hipótesis explicativa de la pérdida de memoria asociada a la edad. *Anales de Psicología, 14*, 55-74.
- Powell, K. B., & Voeller, K. K. S. (2004). Prefrontal executive function syndromes in children. *Journal of Child Neurology, 19*, 785-797.
- Regard, M., Strauss, E., & Knapp, P. (1982). Children's production on verbal and non-verbal fluency tasks. *Perceptual and Motor Skills, 55*, 839-844.
- Ridderinkhof, K. R., Span, M. M., & van der Molen, M. W. (2002). Perseverative behavior and adaptive control in older adults: Performance monitoring, rule induction, and set shifting. *Brain and Cognition, 49*, 382-401.
- Rodriguez-Aranda, C., & Martinussen, M. (2006). Age-related differences in performance of phonemic verbal fluency measured by Controlled Oral Word Association Task (COWAT): A meta-analytic study. *Developmental Neuropsychology, 30*, 697-717.
- Rodriguez-Aranda, C., & Sundet, K. (2006). The frontal hypothesis of cognitive aging: Factor structure and age effects on four frontal tests among healthy individuals. *Journal of Genetic Psychology, 167*, 269-287.
- Romine, C., & Reynolds, C. (2005). A model of the development of frontal lobe

functioning: Findings from a meta-analysis. *Applied Neuropsychology*, 12, 190-201.

Rönnlund, M., Lövdén, M., & Nilsson, L. G. (2001). Adult age differences in Tower of Hanoi performance: Influence from demographic and cognitive variables. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8, 269-283.

Rönnlund, M., Lövdén, M. & Nilsson, L.G. (2008). Cross-sectional versus longitudinal age gradients of Tower of Hanoi performance: The role of practice effects and cohort differences. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15, 40-67.

Rosselli, M., & Ardila, A. (1993). Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test in 5-to 12-year-old children. *The Clinical Neuropsychologist*, 7, 145-154.

Rosselli, M., Ardila, A., Lopera, F., & Pineda, D. (1997). *Neuropsicología Infantil*. Medellín: Prensa Creativa.

Ruff R. M., Light, R. H., Parker S. B., & Levin, H. S. (1997). The psychological construct of word fluency. *Brain and Language*, 57, 394-405.

Rush, B., Barch, D., & Braver, T. (2006). Accounting for cognitive aging: Context processing, inhibition or processing speed? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13, 588-610.

Salthouse, T. (1996). The processing speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.

Salthouse, T. (2005). Relations between cognitive abilities and measures of

executive functioning. *Neuropsychology*, 19, 532-545.

Salthouse, T., Atkinson, T., & Berish, D. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 566-594.

Salthouse, T., Fristoe, N. M. & Rhee, S. H. (1996). How localized are age-related effects on neuropsychological measures? *Neuropsychologia*, 10, 272-285.

Salthouse, T., & Meinz, E. (1995). Aging, inhibition, working memory, and speed. *Journals of Gerontology: Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 50B, 297-306.

Salthouse, T., Toth, J., Daniels, K., Parks, C., Pak, R., Wolbrette, M., et al. (2000). Effects of aging on efficiency of task switching in a variant of the trail making test. *Neuropsychology*, 14, 102-111.

Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B*, 298, 199-209.

Simon H. A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, 7, 268-288.

Sowell, E. R., Delis, D., Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2001). Improved memory functioning and frontal lobe maturation between childhood and adolescence: a structural MRI study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7, 312-322.

Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., &

- Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human lifespan. *Nature Neuroscience*, 6, 309-315.
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York: Oxford University Press.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63, 289-298.
- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Floden, D., Binns, M. A., Levine, B., McIntosh, A. R., et al. (2002). Fractionation and localization of distinct frontal lobe processes: Evidence from focal lesions in human. En D. T. Stuss, & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 392-407). New York: Oxford University Press.
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven.
- Talati, A., & Hirsch, J. (2005). Functional specialization within the medial frontal gyrus for perceptual go/no-go decisions based on "what," "when," and "where" related information: an fmri study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 981-993.
- Troyer, A. K. (2000). Normative data for clustering and switching on verbal fluency tasks. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22, 370-378.
- Troyer, A. K., Moscovitch, M., & Winocur, G. (1997). Clustering and switching as two components of verbal fluency: Evidence from younger and older healthy adults. *Neuropsychology*, 11, 138-1460.
- Van der Elst, W., Van Boxtel, M., Van Breukelen, G., & Jolles, J. (2006) The Stroop color-word test: Influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult range. *Assessment*, 13, 62-79.
- Van Gerven, P., Van Boxtel, M., Meijer, W., Willems, D., & Jolles, J. (2007). On the relative role of inhibition in age-related working memory decline. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14, 95-107.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998). Aging and the Stroop effect: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 13, 120-126.
- Wagner, G., Koch, K., Reichenbach, J. R., Sauer, H., & Schlosser, R. G. M. (2006). The special involvement of the rostrolateral prefrontal cortex in planning abilities: An event-related fMRI study with the Tower of London paradigm. *Neuropsychologia*, 44, 2337-2347.
- Wecker, N. S., Kramer, J. H., Hallam, B. J., & Delis, D. C. (2005). Mental flexibility: Age-effects on switching. *Neuropsychology*, 7, 131-149.
- Welsh, M. C. (1991). Rule-guided behavior and self-monitoring on the Tower of Hanoi disk-transfer task. *Cognitive Development*, 6, 59-76.
- Welsh, M. C. (2002). Developmental and clinical variations in executive function. En D. L. Mofese, & V. J. Molfese (Eds.), *Developmental variations in learning applications to social, executive functions, language, and reading skills* (pp. 139-185). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology, 7*, 131-149.

West, R. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin, 120*, 272-292.

West, R. (2000). In defense of the frontal lobe hypothesis of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society, 6*, 727-729.

Williams, B., Ponesse, J., Schachar, R., Logan, G. & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Developmental Psychology, 35*, 205-213.

Wodka, E., Mahone, M., Blankner, J., Larson, J., Fotedar, S., Denckla, M., & Mostofsky, S. (2007). Evidence that response inhibition is a primary deficit in ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 29*, 345-356.

Zelazo, P., Craik, F., & Booth, L. (2004). Executive functions across the lifespan. *Acta Psychologica, 115*, 167-183.

Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: II. The development of executive function. *Current directions in Psychological Science, 7*, 121-126.

Zook, N., Welsh, M., & Ewing, V. (2006). Performance of healthy, older adults on the Tower of London Revised: Associations with verbal and nonverbal abilities. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 13*, 1-19.