



Desarrollo Histórico de las Funciones Ejecutivas

Alfredo Ardila

Florida International University Miami.
Florida, EE.UU.

Feggy Ostrosky-Solís

Universidad Nacional Autónoma de
México. México, D.F., México.

Correspondencia: Alfredo Ardila, Ph.D., ABPN,
Florida International University, Department of
Communication Sciences and Disorders,
HLS139, Miami, Florida 33199, USA. Phone and
fax: (305) 348-2750. Correo electrónico:
ardilaa@fiu.edu

Resumen

Se propone que los lóbulos frontales participan en dos funciones ejecutivas estrechamente relacionadas, pero diferentes: (1) solución de problemas, planeación, formación de conceptos, desarrollo e implementación de estrategias, memoria de trabajo, etc. (funciones ejecutivas “metacognitivas”); es decir, las funciones ejecutivas tal y como se conciben en las neurociencias contemporáneas; y (2) coordinación de la cognición y emoción/motivación (funciones ejecutivas emocionales”): es decir, satisfacer las necesidades biológicas de acuerdo a las condiciones existentes. Las primeras funciones dependen de áreas prefrontales dorsolaterales, mientras que las segundas están asociadas con el área orbitofrontal y medial frontal. Las pruebas que evalúan funciones ejecutivas se enfocan, básicamente, en el primer tipo de funciones. La solución de problemas cotidianos (aplicación funcional de las funciones ejecutivas) requiere más del segundo tipo de habilidades, por lo que las pruebas usuales de funciones ejecutivas carecen de validez ecológica. Evidencia reciente señala que el lóbulo prefrontal humano es similar al de otros primates y homínidos, los cuales probablemente poseen habilidades prefrontales del segundo tipo (emocionales), pero no del primero (metacognitivas). Se considera que las habilidades ejecutivas del primer tipo son el resultado del desarrollo y evolución de algunos “instrumentos conceptuales”; el lenguaje (y el lenguaje escrito como extensión del lenguaje oral) puede representar al más importante. El segundo tipo de habilidad ejecutiva (emocional) es el resultado de la evolución biológica. Las funciones ejecutivas metacognitivas

dependen significativamente de la cultura y los instrumentos culturales.

Palabras clave: funciones ejecutivas, metacognición, evolución del lenguaje.

Summary

It is proposed that prefrontal lobe participates in two closely related but different executive functions abilities: (1) problem solving, planning, concept formation, strategy development and implementation, working memory, and the like (“metacognitive executive functions”); that is, executive functions as usually they are understood in contemporary neurosciences; and (2) coordinating cognition and emotion/motivation (“emotional executive functions”); that is, fulfilling biological needs according to some existing conditions. The first one depends on the dorsolateral prefrontal areas, whereas the second one is associated with orbitofrontal and medial frontal areas. Current executive functions tests basically tap the first ability (metacognitive). Solving everyday problems (functional application of executive functions), however, mostly requires the second ability (emotional); most contemporary executive functions tests consequently have limited ecological validity. Contrary to the traditional points of view, recent evidence points that human prefrontal lobe is similar to the other primates and hominids. Other primates and hominids probably possess the second (emotional executive functions) prefrontal ability, but not the first (metacognitive executive functions) one. It is argued that the first executive function (metacognitive) ability is the result of the development and evolution of some “conceptualization instruments”; language (and written language as an extension of oral language)

may represent the most important one; metacognitive executive functions are significantly dependent of culture and cultural instruments. The second executive function ability (emotional) is the result of a biological evolution shared by other primates.

Key words: executive functions, metacognition, language evolution.

“Nada en biología tiene sentido, excepto a la luz de la evolución”.

(Theodosius Dobzhansky, 1973)

¿Qué significa “Funciones Ejecutivas”?

El término “Funciones Ejecutivas” es un término relativamente reciente dentro de las neurociencias. La observación que las áreas cerebrales prefrontales están involucradas en estrategias cognitivas, tales como la solución de problemas, formación de conceptos, planeación y memoria de trabajo, dio como resultado el término “funciones ejecutivas” (Ardila & Surloff, 2007). Luria es el antecesor directo del concepto de funciones ejecutivas. Él propuso tres unidades funcionales en el cerebro: (1) alerta-motivación (sistema límbico y reticular); (2) recepción, procesamiento y almacenamiento de la información (áreas corticales post-rolándicas); y (3) programación, control y verificación de la actividad, lo cual depende de la actividad de la corteza prefrontal (Luria, 1980). Luria menciona que esta tercera unidad juega un papel ejecutivo. Lezak (1983) se refiere al “funcionamiento ejecutivo” para distinguirlo de funciones cognitivas que explican el “cómo” de las conductas humanas. Baddeley (1986) agrupó estas conductas en dominios

cognitivos que incluían problemas en planeación y organización de conductas, desinhibición, perseveración y decremento en fluidez e iniciación. Baddeley también acuñó el término “síndrome disejecutivo”. Cada componente del funcionamiento ejecutivo se añade al conjunto de procesos cognitivos, que incluyen el mantenimiento de un contexto para la solución de problemas, dirección de la conducta hacia un objetivo, control de la interferencia, flexibilidad, planeación estratégica y la habilidad para anticipar y comprometerse en actividades dirigidas a una meta (Denckla, 1994).

La definición de función ejecutiva incluye la habilidad de filtrar información que interfiere con la tarea, involucrarse en conductas dirigidas a un objetivo, anticipar las consecuencias de las propias acciones y el concepto de flexibilidad mental (Denckla, 1996; Goldberg, 2001; Luria 1969, 1980; Stuss & Benson, 1986). El concepto de moralidad, conductas éticas, autoconciencia y la idea de los lóbulos frontales, como un director y programador de la psique humana, también se contemplan dentro de su definición (Ardila & Surloff, 2007).

Durante finales del siglo XIX y principios del siglo XX, las investigaciones clínicas documentaron diversos trastornos conductuales en casos de patología frontal. El “Síndrome de lóbulo frontal” fue caracterizado por Feuchtwanger (1923), quien correlacionó la patología frontal con conductas que no estaban relacionadas con el lenguaje, la memoria, o déficit sensoriomotores. Enfatizó también los cambios de personalidad, trastornos en la motivación, en la regulación afectiva y en la capacidad para regular e integrar otras conductas. Goldstein (1944) extendió la

capacidad del lóbulo frontal para incluir la “actitud abstracta”, iniciación y flexibilidad mental. Las primeras cuatro décadas del siglo XX, ofrecieron descripciones de las regiones prefrontales con un detalle preciso de la arquitectura cerebral. La Segunda Guerra Mundial dejó un gran número de personas con déficit focales y patología del lóbulo frontal, las cuales fueron extensamente estudiadas. Luria (1966, 1969) relacionó la actividad de los lóbulos prefrontales con la programación de la conducta motora, inhibición de respuestas inmediatas, abstracción, solución de problemas, regulación verbal de la conducta, reorientación de la conducta de acuerdo a las consecuencias conductuales, integración temporal de la conducta, integridad de la personalidad y consciencia. Durante la década de 1970, 1980 y 1990, se dedicaron varios libros al análisis de la corteza prefrontal (e.g., Fuster, 1989; Levin et al., 1991; Miller & Cummings, 1998; Perecman, 1987; Pribram & Luria, 1973; Roberts, Robbins, & Weiskrantz, 1998; Stuss & Benson, 1986). Inicialmente se pensaba que el “lóbulo frontal” y la “corteza prefrontal” eran sinónimos del déficit ejecutivo.

Posteriormente, se hizo evidente que el “síndrome prefrontal” y las “funciones ejecutivas” no son sinónimos. La corteza prefrontal juega un papel clave de monitoreo en las funciones ejecutivas, pero también participan otras áreas del cerebro. Elliott (2003) define el funcionamiento ejecutivo como un proceso complejo que requiere la coordinación de varios subprocesos para lograr un objetivo particular. Los procesos frontales intactos, a pesar de no ser sinónimos del funcionamiento ejecutivo, son parte integral de esta función. Aunque los esfuerzos para localizar el funcionamiento ejecutivo en

áreas cerebrales frontales discretas no han sido concluyentes, el punto de vista actual es que la función ejecutiva es mediada por redes dinámicas y flexibles. Los estudios de neuroimagen han involucrado a regiones posteriores, corticales y subcorticales en el funcionamiento ejecutivo (Roberts, Robbins, & Weiskrantz, 2002).

Históricamente, Phineas Gage se ha convertido en el ejemplo clásico de la patología de lóbulo frontal y del trastorno de las funciones ejecutivas (Harlow, 1868). Phineas Gage era un capataz responsable en una línea de ferrocarril quien sufrió un trágico accidente en el que una barra de metal fue proyectada hacia su lóbulo frontal. Milagrosamente sobrevivió, pero después del accidente, fue descrito como “profano, irascible e irresponsable”. Se reportaron cambios de personalidad graves y de acuerdo con Harlow, comenzó a “comportarse como un animal”. El caso de Phineas Gage se cita generalmente como el ejemplo típico de alteraciones en las funciones ejecutivas. Sin embargo, es obvio que los trastornos presentados por Phineas Gage se situaban básicamente al nivel cognitivo/emocional, no al nivel puramente cognitivo (o metacognitivo). Se observaron los cambios conductuales externos -tal como suele encontrarse en la patología de lóbulo frontal-, pero las alteraciones puramente cognitivas no fueron documentadas, en parte debido a la falta de instrumentos de evaluación apropiados.

Frecuentemente, las funciones ejecutivas son analizadas utilizando diversas estrategias de investigación en condiciones experimentales, tales como solucionar diversos tipos de problemas, hallar semejanzas entre dos palabras, dar una respuesta que requiere la inhibición de otra, etc. Se crea un paradigma en el que se

requiere que los sujetos resuelvan la situación. Ante estos paradigmas se puede registrar simultáneamente la actividad del cerebro utilizando medidas eléctricas cerebrales o registrando el nivel de activación regional. Del mismo modo, las funciones ejecutivas son analizadas en pacientes con daño cerebral para hallar la contribución de diferentes sistemas cerebrales, esta última aproximación constituye el método neuropsicológico clásico. Sin embargo, raramente se analizan las funciones ejecutivas en condiciones ecológicas naturales. ¿Cómo resuelve la gente los problemas cotidianos? Esta es obviamente una pregunta crucial para comprender la conducta humana.

Las pruebas de funciones ejecutivas representan típicamente tareas externas, las cuales requieren la correcta aplicación de algunas habilidades intelectuales para resolverlas; por ejemplo, la prueba de Wisconsin, la Torre de Hanoi, o la prueba Stroop, representan tareas inusuales y desconocidas para los sujetos y que requieren nuevas estrategias de planeación, flexibilidad cognitiva, etc. Sin embargo, son tareas emocionalmente neutras.

Aunque las funciones ejecutivas dependen de redes extensas que incluyen diferentes áreas cerebrales, se asume que la corteza prefrontal juega un papel principal en el control y monitoreo. Más importante, la corteza prefrontal no solamente participa en las operaciones clásicamente reconocidas como ejecutivas (secuenciar, alternar, inhibir, etc.), sino también juega un papel fundamental en la coordinación de la cognición y la emoción. La corteza prefrontal ha sido vista como el centro para la integración entre las emociones y la cognición (Mitchell & Phillips, 2007).

La mayoría de las alteraciones reportadas en Phineas Gage (y en muchos casos de síndrome prefrontal) se refieren a alteraciones conductuales/emocionales; o más exactamente, alteraciones en la coordinación de la cognición con la emoción/motivación. El lóbulo prefrontal presenta extensas conexiones con áreas subcorticales y del sistema límbico (Barbas, 2006; Damasio & Andersen, 1993) e incluso la parte orbital puede considerarse como una extensión del sistema límbico. De alguna manera, ninguna de las pruebas utilizadas en el laboratorio para evaluar funciones ejecutivas se enfoca en la coordinación de la cognición con la emoción/motivación y en ese sentido, ninguna prueba de funciones ejecutivas tiene validez ecológica significativa. Una de las funciones principales del lóbulo prefrontal es controlar los impulsos provenientes del sistema límbico: hacer “socialmente aceptables” los impulsos límbicos. La inhabilidad de convertir en socialmente aceptables estas necesidades biológicas básicas, -como en el caso de Phineas Gage-, representa frecuentemente una alteración relevante en pacientes prefrontales. Por supuesto, todos quisiéramos golpear a alguien en un momento de frustración, tomar algo para nosotros cuando está disponible, quedarnos en casa en lugar de ir a trabajar y aproximarnos sexualmente a una potencial pareja sexual. Esto es exactamente lo que hacen muchos pacientes con patología de lóbulo frontal.

En consecuencia, hay dos habilidades de lóbulo prefrontal diferentes pero que están estrechamente relacionadas (e.g., Fuster, 2002; Happaney, Zelazo, & Stuss, 2004):

(1) Solución de problemas, planeación, inhibición de respuestas, desarrollo e

implementación de estrategias y memoria de trabajo (estas son las funciones que generalmente se entienden como funciones ejecutivas, generalmente medidas a través de pruebas neuropsicológicas de funciones ejecutivas); estas son las habilidades más estrechamente relacionadas con el área dorsolateral de la corteza prefrontal (e.g., Stuss & Knight, 2002), y se puede hacer referencia a ellas como “funciones ejecutivas metacognitivas”.

(2) Coordinación de la cognición y la emoción. Se refiere a la habilidad de satisfacer los impulsos básicos siguiendo estrategias socialmente aceptables. En el último caso, lo que es más importante no necesariamente es el mejor resultado conceptual e intelectual, sino el resultado que va de acuerdo a los impulsos personales. En ese sentido, la función principal del lóbulo prefrontal es encontrar justificaciones aparentemente aceptables para los impulsos límbicos (los cuales constituyen las “funciones ejecutivas emocionales”). Sin duda, si las funciones ejecutivas metacognitivas fueran utilizadas en la solución de problemas sin involucrar impulsos límbicos, la mayoría de los problemas sociales que se presentan en todo el mundo habrían sido resueltos, porque el hombre contemporáneo posee recursos suficientes para solucionar la mayoría de los problemas más relevantes (tales como la pobreza y la guerra). En general, los conflictos humanos se reducirían. Las áreas ventromediales de la corteza prefrontal están involucradas en la expresión y control de las conductas instintivas y emocionales (Fuster, 1997, 2002).

Las observaciones directas sugieren que los problemas cotidianos usualmente poseen un contenido emocional: hablar con

un amigo, con el jefe o con el cónyuge; conducir por la calle; decidir cómo aproximarse a alguien, cómo gastar el dinero, etc. Estas acciones no son neutras emocionalmente, como si lo es la prueba de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin o la Torre de Hanoi. Cuando se involucra a otras personas, no es fácil permanecer emocionalmente neutral. Las acciones sociales no son emocionalmente neutras, porque el poder/sumisión, los beneficios personales y diversas motivaciones biológicas están potencialmente involucrados. Probablemente a través de la evolución humana (durante los últimos 150,000 años) esa ha sido la principal aplicación de las funciones prefrontales: obtener y poder tener un papel dominante, conseguir comida y bienes para nosotros mismos, conseguir una pareja sexual, etc.

Estos dos tipos de funciones ejecutivas (“metacognitivas” y “emocionales”) dependen de áreas prefrontales relativamente diferentes, y de hecho, frecuentemente se distinguen dos variantes principales del síndrome prefrontal, uno que afecta mayormente a la cognición (o más bien, el control de la cognición, es decir, la “metacognición”); y otro que afecta especialmente a la conducta:

(1) *Síndrome orbitofrontal y medial*. El daño orbitofrontal ha sido asociado con la desinhibición, conductas inapropiadas, cambios en la personalidad, irritabilidad, labilidad emocional, poco tacto, y distractibilidad. Estos pacientes son incapaces de responder a claves sociales y atienden sólo a los estímulos presentes. Laiacona et al. (1989) señalaron que estos pacientes no presentan dificultades con tareas, tales como la clasificación de tarjetas. Eslinger y Damasio (1985) acuñaron el término “sociopatía adquirida”

para describir la alteración que conjuga tanto la falta de *insight* como la falta de remordimiento ligado a estas conductas. Esto refleja la naturaleza concreta de este tipo de trastorno. La corteza orbitofrontal parece estar unida predominantemente con estructuras límbicas y basales del cerebro anterior. El daño al lóbulo frontal medial causa apatía o abulia (una forma severa de apatía). Lesiones agudas bilaterales del área medial frontal pueden causar mutismo acinético, en el cual el individuo está despierto y presenta conciencia de sí mismo, pero no es capaz de iniciar acciones (Ross & Stewart, 1981). De acuerdo con Fuster (1997, 2002) las áreas ventromediales de la corteza prefrontal están involucradas en la expresión y control de las conductas emocionales e instintivas.

(2) *Síndrome dorsolateral*. Cummings (1993) señaló que el circuito dorsolateral es el más importante de las funciones ejecutivas. Los déficit más notables son la incapacidad de organizar una respuesta conductual ante un estímulo complejo o novedoso. Los síntomas son un continuo y reflejan la capacidad de cambiar los conjuntos cognitivos, aplicar estrategias existentes y organizar la información en forma tal que se ajuste a las demandas ambientales. Varios investigadores, incluyendo a Luria (1969), han descrito perseveraciones, conductas centradas en el estímulo, ecopraxia y ecolalia. La lateralización ha sido identificada en las alteraciones ejecutivas. Se ha señalado que las áreas ventrales y dorsales de la corteza prefrontal interactúan en el mantenimiento de la toma de decisiones de forma racional y “no riesgosa” (Manes et al., 2002). De acuerdo con Fuster (1997, 2002) la función ejecutiva más general de la corteza prefrontal lateral es la organización temporal de las acciones dirigidas hacia

una meta dentro del campo de la conducta, cognición y lenguaje.

Es evidente que estos dos síndromes prefrontales pueden tener dos manifestaciones clínicas completamente diferentes (metacognitivo y emocional) dependiendo de la localización específica del daño. Esta misma distinción ha sido propuesta por diferentes autores.

¿Hay algo especial en el cerebro humano?

La corteza prefrontal es una extensión de la corteza motora. No es difícil asumir que su función primaria se refiere a algún tipo de movimiento elaborado, o más bien, a una representación de movimientos. Durante mucho tiempo se ha asumido que la corteza prefrontal es significativamente más grande en los humanos que en cualquier otro primate (e.g., Blinkov & Glezer, 1968). Se ha supuesto que esta diferencia en volumen representa una razón importante para dar cuenta de las diferencias en las formas complejas de cognición (funciones ejecutivas).

Sin embargo, tal supuesto ha resultado ser incorrecto. Algunas mediciones del lóbulo prefrontal no han encontrado diferencias entre la corteza prefrontal humana y la de primates no humanos. Semendeferi, Damasio, Frank, y Van Hoesen (1997) y Semendeferi, Lu, Schenker, y Damasio (2002) midieron el volumen total del lóbulo frontal y de sus regiones principales (incluyendo la corteza y la materia blanca justo debajo de ésta) en humanos, chimpancés, gorilas, orangutanes, gibones y macacos, utilizando reconstrucciones cerebrales en tercera dimensión a partir de escaneos de resonancia magnética (RM). Aunque el volumen absoluto del cerebro y del lóbulo frontal fue más grande en los

humanos, el tamaño relativo del lóbulo frontal fue similar en todos los homínidos: macacos (28.1%), gibones (31.1%), orangutanes (35.3%), gorilas (32.4%), chimpancés (35.9%) y humanos (36.7%). Se encontró que los humanos no poseen un lóbulo frontal más grande que lo esperado en comparación con el cerebro de un primate. Más aún, el tamaño relativo de regiones del lóbulo frontal (dorsal, mesial y orbital) fue similar entre los primates estudiados. Los autores sugieren que las habilidades cognitivas especiales atribuidas a la ventaja frontal, pueden ser debidas a diferencias individuales en áreas corticales y a una interconexión más amplia, ninguna de las cuales requirió de un tamaño relativamente mayor del lóbulo frontal durante la evolución de los homínidos.

Schoenemann, Sheehan, y Glotzer (2005) encontró que una diferencia importante entre los humanos y otros primates era el volumen de la materia blanca. Utilizando RM de 11 especies de primates, los autores midieron el volumen de la materia gris, blanca y el volumen total del lóbulo prefrontal y de todo el cerebro en cada espécimen. En términos relativos, se encontró que la materia blanca prefrontal fue la mayor diferencia entre los humanos y los no humanos, mientras que la materia gris no mostró diferencias significativas. Una mayor interconexión cerebral puede representar entonces una característica crucial del cerebro humano. No obstante, hay que tener en mente que los humanos utilizados en este estudio fueron personas contemporáneas, procedentes de zonas urbanas, con niveles educativos altos, etc., no los sujetos humanos que vivían en las condiciones pre-históricas de hace 150,000 años.

Tentativamente se puede concluir que es dudoso que el tamaño de la corteza prefrontal de cuenta completamente de las funciones ejecutivas humanas. Otros factores deben ser considerados, tales como la conectividad (¿mayor estimulación?).

¿Existe alguna habilidad fundamental que explique las funciones ejecutivas?

Han existido desacuerdos alrededor de la unidad o diversidad de las funciones ejecutivas (e.g., De Frias, Dixon, & Strauss, 2006; Duncan, Emslie, Williams, Johnson, & Freer, 1996; Grafman, 2006; Kimberg, d'Esposito, & Farah, 1997; Parkin & Java, 1999). Sin embargo, no es evidente cuál podría ser ese factor unitario particular que satura las diferentes pruebas que miden funciones ejecutivas. La inhibición conductual ha sido considerada como un candidato potencial, ya que se ha identificado como único factor responsable del desempeño exitoso en varias pruebas de funciones ejecutivas (Barkley, 1997) o en combinación con la memoria de trabajo (Pennington & Ozonoff, 1996). Salthouse (1996, 2005) sugirió que el razonamiento y la velocidad perceptual representan un factor que subyace a todas las funciones ejecutivas. Salthouse (2005) observó que el desempeño en dos pruebas comunes de funciones ejecutivas, la prueba de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin y la fluidez verbal, están fuertemente correlacionadas con la habilidad de razonamiento y de velocidad perceptual.

Otros autores ponen en duda la existencia de tal factor unitario. Godefroy, Cabaret, Petit-Chenal, Pruvo, y Rousseaux (1999) señala que ciertos pacientes frontales muestran un buen desempeño en algunas pruebas que evalúan funciones ejecutivas pero no en otras. La correlación entre

diferentes pruebas ejecutivas frecuentemente es de moderada a baja, y muchas veces carece de significancia estadística (Friedman et al., 2003; Lehto, 1996; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003).

Miyake, Friedman, Emerson, Witzky, y Howerter (2000) adoptan una posición intermedia. Estudiaron tres aspectos que a menudo se postulan como funciones ejecutivas (cambio, actualización, e inhibición) y concluyeron que a pesar de ser distinguibles entre sí, comparten un aspecto común. Basados en los resultados de su estudio, los autores postulan que las funciones ejecutivas son “constructos separados pero moderadamente correlacionados” sugiriendo que existen componentes unitarios y no unitarios en el sistema ejecutivo.

Otros autores han señalado diferentes subcomponentes de las funciones ejecutivas: volición, planeación, acción propositiva y desempeño efectivo (Lezak, 1983); control de la interferencia, flexibilidad, planeación estratégica y la habilidad de anticipar y comprometerse en actividades dirigidas hacia una meta (Denckla, 1994); manipulación concurrente de la información, flexibilidad cognitiva, formación de conceptos, y conducta dirigida por claves (Lafleche & Albert, 1995), control atencional, flexibilidad cognitiva, establecimiento de metas (Anderson, 2001); flexibilidad de pensamiento, inhibición, solución de problemas, planeación, control de impulsos, formación de conceptos, pensamiento abstracto y creatividad (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001); planeación, iniciación, perseveración y alteración de las conductas dirigidas a una meta (Hobson & Leeds, 2001); formación de conceptos, razonamiento, flexibilidad cognitiva (Piguet et al., 2002); solución de problemas

novedosos, modificación de la conducta como resultado de nueva información, generar estrategias, secuenciar acciones complejas (Elliot, 2003). La mayoría de los subcomponentes en estas interpretaciones de las funciones ejecutivas se refieren exclusivamente al componente metacognitivo y no al componente conductual/emocional.

Se podría conjeturar que la “representación de las acciones” puede constituir al menos un factor básico de las funciones ejecutivas. Nos referiremos únicamente a la “representación de las acciones” y la “percepción del tiempo”, quizás derivada ambas de una sola habilidad central (¿secuenciación?).

Las funciones ejecutivas como internalización de las acciones

Parece evidente que la corteza prefrontal está involucrada en la representación de movimientos. Dos observaciones parecen obvias:

1. Observaciones anatómicas. La corteza prefrontal representa una extensión y evolución de las áreas motoras frontales. Se puede conjeturar que el lóbulo prefrontal participa en actividades motoras complejas y elaboradas.
2. Observaciones clínicas. Diversas alteraciones del control motor se observan en caso de patología prefrontal, tales como las perseveraciones, conductas de utilización, paratonia, reflejos primitivos, etc.

Varios autores han sugerido que el pensamiento, el razonamiento y otras formas de cognición compleja (metacognición) dependen de la

interiorización de las acciones. Se revisará la propuesta de Vigotsky de que el pensamiento (y en general, los procesos cognitivos complejos) están asociados con el lenguaje interno (Vygotsky, 1934/1962, 1934/1978); Vygotsky representa al autor más clásico que sugiere esta interpretación de la cognición compleja. Se hará una mención breve de un autor más reciente, Lieberman (2002a, 2002b) quien propone que el lenguaje, en particular, y la cognición, en general, surgen de secuencias complejas de actividades motoras.

Vygotsky (1934/1978) desarrolló el concepto de *organización extracortical de las funciones mentales superiores* para explicar la interacción de los factores biológicos y culturales en el desarrollo de la cognición humana. En este análisis de Vygotsky, “funciones mentales superiores” es más o menos el equivalente a lo que denominamos aquí como “funciones ejecutivas metacognitivas”. Un factor importante en la organización sistemática de los procesos cognitivos superiores es la inclusión de instrumentos externos (objetos, símbolos, signos), los cuales poseen una historia de evolución independiente dentro de cada cultura. Es este principio de construcción de los sistemas funcionales del cerebro humano a lo que Vygotsky llamó el principio de *organización extracortical de las funciones mentales superiores*, el cual implica que todos los tipos de actividad humana consciente se forman siempre con el apoyo de herramientas y ayudas externas. De acuerdo al concepto de *organización extracortical de las funciones mentales superiores* el papel de los instrumentos externos para establecer conexiones funcionales entre varios sistemas cerebrales es, en principio, universal. Sin

embargo, diferentes mediadores y recursos, o detalles pueden ser diferentes (e.g., la dirección de la escritura y el grado de correspondencia entre grafema y fonema; orientación por medio de mapas o por la conducta de las gaviotas, etc.); se pueden desarrollar y de hecho se desarrollan en diferentes culturas. Por tanto, el análisis de los procesos cognitivos debe, necesariamente tomar en cuenta estas diferencias transculturales (Kotik-Friedgut & Ardila, 2004).

La idea central de Vygotsky es que las formas de cognición superiores (“funciones cognitivas ejecutivas”) dependen de cierta mediación (lenguaje, escritura o alguna otra); los instrumentos usados para mediar estos procesos cognitivos complejos se desarrollan culturalmente. De acuerdo con Vygotsky, la invención (o descubrimiento) de estos instrumentos, resultarán en nuevos tipos de evolución (evolución cultural) que no requieren ningún cambio biológico adicional. Pensar, es interpretado como una actividad motora encubierta (“habla interna”).

Vygotsky asume que el pensamiento y el lenguaje interno se desarrollan de manera diferente e independiente partiendo de raíces genéticas distintas. Antes de los dos años de edad, el desarrollo del pensamiento y el lenguaje es separado. Convergen y se unen alrededor de los dos años de edad y el pensamiento a partir de este punto y en adelante es mediado por el lenguaje (pensamiento verbal). Como consecuencia, el lenguaje se vuelve el principal instrumento para la conceptualización y el pensamiento. De acuerdo con Vygotsky, el lenguaje se desarrolla primero como un habla comunicativo/social externa, después como un lenguaje egocéntrico y finalmente como

un lenguaje interno. La vocalización se vuelve innecesaria porque el niño “piensa” las palabras en lugar de pronunciarlas. El habla interna es para uno mismo; el habla social es para otros. Hay varias formas de lenguaje interno. Vygotsky consideraba que el desarrollo del pensamiento es determinado por el lenguaje. Mientras que en el habla social/externa el pensamiento está contenido en las palabras, en el habla interna las palabras se desvanecen conforme se desarrolla el pensamiento. El lenguaje externo es el proceso de convertir el pensamiento en palabras. El lenguaje interno es lo contrario, es convertir el habla en pensamiento. El habla interna, por ejemplo, sólo contiene predicados. Los sujetos son superfluos. Las palabras son usadas de manera económica. Una palabra en el habla interna puede estar tan llena de significado para el individuo que tomaría muchas palabras poder expresarlo con el habla externa.

Vygotsky separaba dos tipos de conceptos: espontáneos y científicos. Los conceptos espontáneos se desarrollan en paralelo junto con el lenguaje, mientras que los conceptos científicos son los que se aprenden en la escuela. Los niños desarrollan progresivamente conciencia reflexiva a través del desarrollo de los conceptos científicos. La escuela está íntimamente relacionada con el aprendizaje de un nuevo instrumento conceptual: la lectura. El lenguaje escrito es una extensión del lenguaje oral y representa la forma más elaborada del lenguaje.

El significado de las palabras representa la unidad más pequeña del pensamiento y del lenguaje. Estos significados cambian a lo largo de la vida, dependiendo de las experiencias personales. El significado de las palabras es sólo una parte del sentido

completo de la palabra. El sentido de la palabra es la suma de todos los eventos psicológicos (experiencias, contexto, emociones, etc.) que surgen en nuestra conciencia. Luria extendió las ideas de Vygotsky y trató de encontrar los correlatos neurológicos de los diferentes componentes de los procesos cognitivos. Estableció claramente que las funciones mentales son *“...sociales en su origen y complejas y jerarquizadas en su estructura y todas ellas están basadas en un sistema complejo de métodos y medios...”* (Luria, 1973; pp. 30).

En resumen, Vygotsky argumentó que los procesos psicológicos complejos (funciones ejecutivas metacognitivas) derivan de la internalización del lenguaje. El pensamiento se basa en el desarrollo de un instrumento (el lenguaje o cualquier otro), el cual representa un producto cultural.

Lieberman (2002a, 2002b) se refiere específicamente a los orígenes del lenguaje. Postula que los circuitos neuronales que unen la actividad de poblaciones de neuronas separadas en estructuras subcorticales y en la neocorteza a través de todo el cerebro humano, son las que regulan las conductas complejas como caminar, hablar y comprender el significado de las oraciones. El sustrato neuronal que regulaba el control motor (ganglios basales, cerebelo, corteza frontal) en el ancestro común de los simios y el hombre, probablemente se modificó para permitir la habilidad cognitiva y lingüística. Es decir, la actividad motora es el punto de partida para la cognición. El habla comunicativa jugó un papel central en este proceso. Las bases neuronales de la habilidad lingüística humana son complejas e involucran otras áreas, además del área de Broca y Wernicke. Otras áreas corticales y estructuras subcorticales forman parte de

los circuitos neuronales implicados en el léxico, producción y percepción del lenguaje y la sintaxis. Los ganglios basales subcorticales apoyan a los circuitos corticales-estriatales-corticales para regular la producción del habla, la sintaxis compleja y la adquisición de patrones motores y cognitivos que subyacen a la producción del lenguaje y la sintaxis. Probablemente están involucrados en el aprendizaje de referentes semánticos y patrones de sonidos que son identificados como palabras en el diccionario cerebral.

El cerebelo y la corteza prefrontal también están involucrados en el aprendizaje de actos motores. Las regiones frontales de la corteza están implicadas en prácticamente todos los actos cognitivos y en la adquisición de criterios cognitivos; las regiones corticales posteriores son elementos claramente activos del diccionario cerebral. La corteza del cíngulo anterior participa virtualmente en todos los aspectos del lenguaje y del habla. El conocimiento real de las palabras parece reflejar el conocimiento conceptual almacenado en regiones cerebrales que tradicionalmente han sido asociadas con la percepción visual y el control motor.

Algunos aspectos de la habilidad lingüística humana, tales como la estructura conceptual básica de las palabras y la sintaxis simple, son filogenéticamente primitivas y probablemente estuvieron presentes en los primeros homínidos. La producción del lenguaje, la sintaxis compleja y un amplio vocabulario se desarrollaron en el curso de la evolución de los homínidos. La capacidad de lenguaje, que permite una sólida comunicación vocal, es probablemente una característica del humano moderno.

Estos dos autores (Vygotsky y Lieberman), aunque utilizan dos aproximaciones diferentes, han postulado que tanto el desarrollo del lenguaje, como el de la cognición compleja están relacionados con algunos programas motores, secuenciación, internalización de acciones y otros procesos similares.

Conceptualización del tiempo como resultado de la representación espacial: observaciones lingüísticas

La habilidad de integrar actividades a través del tiempo y el espacio puede representar una característica fundamental de las funciones ejecutivas (Fuster, 1997, 2002). La planeación exitosa requiere de la habilidad de secuenciar una serie de actividades en un orden específico.

Sin duda, la representación del tiempo en el lenguaje (cómo se expresa el tiempo en palabras) deriva de las representaciones espaciales (cómo se representa el espacio en palabras). Los elementos básicos de la temporalidad son “antes” y “después”, en relación a “ahora”; es decir, una secuencia de tres momentos (adverbios de tiempo): pasado (antes), presente (ahora) y futuro (después), dependiendo de tres localizaciones espaciales. El tiempo se deriva de la percepción del cambio de A a B: el animal (u otro objeto) estaba en la posición A y ahora está en la posición B. Obviamente esto requiere de la memoria de trabajo. En otras palabras, hay una secuenciación de actividades. La causalidad es el resultado de esta secuencia. Cuando dos eventos están en una secuencia, se asume causalidad. Esta interpretación de la causalidad fue propuesta hace tiempo por Hume (Smith, 1941).

Aquí hay algunos ejemplos para ilustrar que la interpretación del tiempo deriva de la interpretación espacial, tomados del español y el inglés.

En español:

Antes, está obviamente relacionado con “ante” (enfrente de) y “delante” (en la parte anterior). *Adelante*, es lo que está situado antes, enfrente. *Antes*, en otras palabras, simplemente significa que espacialmente está situado enfrente; por extensión, también significa que ocurrió antes.

Después, significa “posteriormente” en lugar; y también “posteriormente en tiempo” (Real Academia Española, 2001). En español la palabra *después* posee un significado espacial y temporal.

En español, el tiempo pasado se refiere al lugar donde alguien ha estado, posee un significado básicamente espacial. La palabra “ahora” se refiere a “este momento” (a esta hora); es interesante que en otras lenguas “ahora” se exprese igual; por ejemplo, en ruso, *-seichas-* también se forma con las palabras “en este momento (esta hora).”

Anterior (enfrente de) y **posterior** (atrás de), al igual que en inglés, poseen un significado tanto espacial como temporal.

En inglés:

After, significa tanto “atrás de un lugar” y “atrás en tiempo” (Webster’s New World, 2000). Es decir, la misma palabra contiene un significado espacial y temporal. Supuestamente el significado espacial es el significado básico y original.

Before, significa “adelante, enfrente de, delante, en el pasado, previamente” (Webster’s New World, 2000). También posee un significado espacial y temporal.

Es decir, la secuencia básica temporal contiene tres elementos espaciales: *Antes* (enfrente) – *Ahora* (en este momento) – *Atrás* (posterior).

El tiempo es conceptualizado como espacio, o más bien, como una secuencia o movimiento: de la posición uno (el animal u objeto estaba en una posición) a la posición dos (el animal u objeto se movió a la posición dos). Es comprensible que necesitemos representar el tiempo de manera similar a la que representamos el espacio. Como únicamente nos movemos en un espacio bidireccional, la representación del tiempo debe ser horizontal. *¡El tiempo se representa siempre de manera horizontal, en el eje de las X!* Nunca de manera vertical, en el eje de las Y. Al revisar gráficas que incluyen una dimensión temporal, es evidente que el tiempo **siempre** se representa en el eje de las X, es decir en el plano horizontal. Interesantemente, cuando se requiere organizar una secuencia de eventos de manera vertical, la tarea se vuelve muy difícil. Ryan, Tree, y Miller (2004) compararon los puntajes de la subprueba de ordenamiento de dibujos del WAIS-III a través de la administración estandarizada (horizontal) o a través de la administración vertical (de arriba hacia abajo). Con la administración estandarizada se obtuvieron significativamente mayores puntajes que con la administración vertical. Es decir, las secuencias temporales deben ser representadas horizontalmente.

De este modo, la conceptualización del tiempo comienza con la representación de un objeto que puede ser colocado en dos posiciones espaciales diferentes: posición A y posición B. Una persona (un animal u objeto) estaba inicialmente en una posición espacial y después se encuentra en una

posición espacial diferente. Por tanto, hay movimiento, un cambio. Comprender el tiempo supone comprensión- y representación- del movimiento. Se puede especular que la comprensión del tiempo supone una representación interna del movimiento de los objetos. En consecuencia, la conceptualización del tiempo requiere de la representación interna de las acciones. Una función básica de la corteza prefrontal puede ser la de representar acciones. Esto puede representar el punto de partida para el pensamiento, el lenguaje interno y la conceptualización temporal.

Se ha propuesto que la cognición espacial pudo haber evolucionado en paralelo con la evolución cultural y las demandas ecológicas. La capacidad para representar elementos y acciones en el espacio podría subyacer a varias habilidades. El hombre contemporáneo puede estar utilizando estas habilidades espaciales en nuevas tareas conceptuales que no existían en tiempo prehistóricos, tales como las matemáticas, la lectura, la escritura, la mecánica, la música, etc. (Ardila, 1993). La secuencia de acciones puede ser el origen de la temporalidad y el pensamiento.

Las funciones ejecutivas en el hombre prehistórico

Algunos estudios recientes se han aproximado a la cuestión de la evolución de la corteza prefrontal (Risberg, 2006; Roth & Dicke, 2005; Winterer & Goldman, 2003). Usualmente se acepta que el *Homo sapiens* apareció hace unos 150, 000 años, y durante este tiempo, la evolución de su cerebro ha sido mínima. Esto significa que los humanos que existían hace 150,000 años tenían básicamente la misma organización neurológica que el hombre contemporáneo, incluyendo los

fundamentos biológicos de las funciones ejecutivas.

¿Cómo fueron utilizadas las funciones ejecutivas por el hombre prehistórico? Algunos artículos se han enfocado en esta pregunta (e.g., Bednarik, 1994, 2003; Coolidge & Wynn, 2001, 2005; Sugarman, 2002; Wayne, 2006).

Coolidge y Wynn (2001) asumen que es posible comparar muchas de las características de las funciones ejecutivas con actividades reconstruidas a partir de evidencia arqueológica. Se analiza la aplicación potencial de varias funciones ejecutivas: (1) Memoria secuencial, en donde la producción y uso de proyectiles hechos de hueso es un marcador potencial. El producto final depende de una serie de acciones secuenciadas. Es una tecnología de múltiples pasos. (2) Tareas de inhibición, en las que algunas acciones y gratificaciones son demoradas, son más difíciles de identificar arqueológicamente. La agricultura requiere de tal inhibición. Ayudas como las trampas, que funcionan ocasionalmente, son tecnologías de inhibición y probablemente estuvieron presentes en el mesolítico europeo. Los ejemplos del paleolítico son menos convincentes. Frederick considera que nada del paleolítico medio requeriría de tareas de inhibición. (3) La organización y planeación, es otra función ejecutiva básica que probablemente fue requerida para actividades tales como la migración y colonización.

Coolidge y Wynn (2001) concluyen que los registros arqueológicos apoyan la hipótesis que las funciones ejecutivas son una adquisición crítica y tardía en la evolución cognitiva humana. Mithen (1994, 1996) ha propuesto la accesibilidad a módulos mentales como el detonador de la cultura

humana en la era de la transición del paleolítico medio/superior, hace alrededor de 60,000 a 30,000 años. Identificó estos módulos mentales como inteligencia general, inteligencia social, inteligencia histórica natural, inteligencia técnica y lenguaje.

Se puede especular que la habilidad para resolver algunos problemas del ambiente tiene que ser descubiertos por cada generación y no puede ser transmitida a menos que exista una herramienta de transmisión (e.g., el lenguaje). El punto crucial en el origen de las funciones ejecutivas es la posibilidad de transmitir y acumular progresivamente el conocimiento acerca del mundo.

Las funciones ejecutivas como un producto cultural

No existe entonces evidencia convincente de que el hombre del paleolítico haya utilizado funciones ejecutivas (Coolidge & Wynn, 2001), comprendidas como “la habilidad para planear...etc.” (primera interpretación de las funciones ejecutivas). Durante miles de años probablemente las habilidades prefrontales fueron usadas exclusivamente para satisfacer los impulsos básicos de acuerdo a estrategias socialmente aceptables (jerarquía en el grupo, etc.).

¿Cuáles son las claves del desarrollo cultural y cómo fueron creadas? Se puede conjeturar que algunas invenciones fueron cruciales para impulsar la evolución cultural (e.g., Vygotsky, 1934/1962). Por ejemplo, se ha postulado que la fluidez cognitiva es un requisito básico para ejecutar actividades humanas complejas (Gardner, 1983). El lenguaje puede ser considerado como el elemento crucial que impulsó el desarrollo de la evolución cultural. El

lenguaje permite la transmisión del conocimiento. Sin él, los niños pueden aprender de los padres por imitación, pero este aspecto se limita a algunas actividades muy elementales, tales como hacer un hacha de piedra. El lenguaje es el principal instrumento para representar al mundo y para el pensamiento (Vygotsky, 1934/1978). Obviamente el desarrollo del lenguaje fue un proceso lento que tomó miles de años, pero el elemento crítico del lenguaje humano es el uso de la gramática, la cual probablemente apareció hace unos 50,000 años. Probablemente, el hombre de Neandertal no poseía un lenguaje con gramática y de acuerdo a la evidencia arqueológica, no utilizaba funciones ejecutivas. El lenguaje gramatical pudo haberse desarrollado de la internalización de las acciones (Ardila, 2006).

El lenguaje escrito representa una extensión del lenguaje oral. La escritura apareció hace apenas 6,000-8,000 años y su difusión ha sido tan lenta que aún hoy en día cerca del 20% de la población mundial es analfabeta (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2007). El desempeño en pruebas que evalúan funciones ejecutivas está correlacionado significativamente con el nivel educativo (e.g., Ardilla, Ostrosky-Solis, Rosselli, & Gomez, 2000; Ardila & Rosselli, 2007; Ardila, Rosselli, & Rosas, 1989; Ostrosky, Ardila, Rosselli, Lopez, & Mendoza, 1998; Reis & Castro-Caldas, 1997; Rosselli, Ardilla, & Rosas, 1990). Por ejemplo, Gómez-Pérez y Ostrosky-Solís (2006) observaron que mientras las pruebas de memoria son sensibles al envejecimiento, las pruebas relacionadas con funciones ejecutivas son más sensibles especialmente al nivel educativo. Se puede argumentar que los analfabetas poseen

funciones ejecutivas básicas (e.g., habilidad de representar acciones internamente) pero carecen de un instrumento importante para organizar las funciones ejecutivas.

Conclusiones tentativas

El análisis de las funciones ejecutivas representa una de las preguntas más estudiadas en las neurociencias contemporáneas. El énfasis en el razonamiento, habilidades de abstracción, anticipación de las consecuencias de la conducta y habilidades similares, ha contribuido a la idea errónea de que la conducta humana está guiada por la racionalidad. La historia humana evidentemente contradice esta idea.

Esta interpretación de la conducta humana está unida a la suposición de que el cerebro humano es único y “superior” al cerebro de otras especies. Nos referimos a nuestra especie como “hombre sabio” (*Homo sapiens*). Al analizar las funciones ejecutivas, tenemos que concluir que existen dos tipos diferentes de estas funciones; metacognitivas y emocionales, las cuales dependen de sistemas cerebrales diferentes. Se puede argumentar que sólo el primer tipo de funciones puede ser considerada como función ejecutiva; sin embargo, usualmente ambos tipos son considerados dentro de la mayoría de definiciones de funciones ejecutivas, asumiendo cierta unidad.

La evaluación actual de las funciones ejecutivas se ha centrado en la abstracción, solución de problemas y habilidades metacognitivas similares. Cuando las situaciones sociales y las motivaciones biológicas están involucradas, la habilidad para solucionar problemas de manera racional parece disminuir de manera

significativa. Las estrategias actuales de evaluación de las funciones ejecutivas presentan limitaciones importantes en su validez ecológica.

El análisis arqueológico ha descubierto sólo algunas evidencias del uso de funciones metacognitivas en el hombre prehistórico. Concluimos que las habilidades metacognitivas representan una adquisición humana reciente, no dependiente de cambios biológicos recientes. Se ha sugerido que el desarrollo de algunos instrumentos culturales, resultaron en un nuevo tipo de evolución. El lenguaje no sólo permite conceptualizar la experiencia inmediata, sino también, gracias a su capacidad de transmitir conocimiento, ha sido propuesto como el principal instrumento cultural de metacognición. La complejidad del lenguaje ha incrementado históricamente con el desarrollo del lenguaje escrito. Sin duda alguna, otros instrumentos culturales también han contribuido al desarrollo de habilidades metacognitivas; por ejemplo, las matemáticas, el dibujo y la tecnología (de la rueda a las computadoras). Las normas sociales (dadas por la ética, el sistema legal, las tradiciones culturales, etc.), también representan instrumentos importantes para las funciones ejecutivas metacognitivas.

Referencias

Anderson, V. (2001). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Developmental Neuropsychology*, 4, 119-136.

Ardila, A. (1993). Historical evolution of spatial abilities. *Behavioral Neurology*, 6, 83-88.

Ardila, A. (2006). Orígenes del lenguaje: un análisis desde la perspectiva de las afasias. *Revista de Neurología*, 43, 690-698.

Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., Rosselli, M., & Gomez, C. (2000). Age related cognitive decline during normal aging: The complex effect of education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 15, 495-514.

Ardila, A., Rosselli, M., & Rosas, P. (1989). Neuropsychological assessment in illiterates: Visuospatial and memory abilities. *Brain and Cognition*, 11, 147-166.

Ardila, A., & Rosselli, M. (2007). *Neuropsicología clínica*. Mexico: Manual Moderno.

Ardila, A., & Surloff, C. (2007). *Dysexecutive syndromes*. San Diego: Medlink: Neurology.

Baddeley A. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.

Barbas, H. (2006). Organization of the principal pathways of prefrontal lateral, medial, and orbitofrontal cortices primates and implications for their collaborative interaction in executive functions. En J. Risberg, & J. Grafman (Eds.), *The frontal lobes. Development, function and pathology* (pp.21-68). Cambridge: Cambridge University Press.

Barkley, R. A. (1997). *ADHD and the nature of self-control*. New York: Guilford Press.

Bednarik, R. G. (1994). Art origins. *Anthropos*, 89, 169-180.

- Bednarik, R. G. (2003). The earliest evidence of palaeoart. *Rock Art Research*, 20, 89-135.
- Blinkov, S. M., & Glezer, I. I. (1968). *Das Zentralnervensystem in Zahlen und Tabellen*. Jena: Fischer.
- Coolidge, F. L., & Wynn, T. (2001). Executive Functions of the Frontal Lobes and the Evolutionary Ascendancy of Homo Sapiens. *Cambridge Archaeological Journal*, 11, 255-260.
- Coolidge, F. L., & Wynn, T. (2005). Working Memory, its Executive Functions, and the Emergence of Modern Thinking. *Cambridge Archaeological Journal*, 15, 5-26.
- Cummings, J. L. (1993). Frontal-subcortical circuits and human behavior. *Archives of Neurology*, 50, 873-880.
- Damasio, A., & Anderson, S. W. (1993). The frontal lobes. En K. M. Heilman, & E. Valenstein (Eds.), *Clinical neuropsychology* (4a. ed., pp. 401-446). New York: Oxford University Press.
- De Frias, C., Dixon, R., & Strauss, E. (2006). Structure of four executive functioning tests in healthy older adults. *Neuropsychology*, 20, 206-214.
- Delis, D., Kaplan, E., & Kramer, N. (2001). *Delis-Kaplan Executive Function System*. Psychological Assessment Resources, Inc.
- Denckla, M. B. (1994). Measurement of executive function. En G. R. Lyon (Ed.), *Frames of reference for the assessment of learning disabilities: new views on measurement issues* (pp.117-142). Baltimore, MD: Paul H Brooks.
- Denckla, M. B. (1996). A theory and model of executive function: a neuropsychological perspective. En G. R. Lyon, & N. A. Krasnegor (Eds.), *Attention, memory and executive function* (pp. 263-77). Baltimore, MD: Paul H Brooks.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35, 125-129.
- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R., & Freer, C. (1996) Intelligence and the frontal lobes: the organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 30, 257-303.
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders. *British Medical Bulletin*, 65, 49-59.
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: patient EVR. *Neurology*, 35, 1731-1741.
- Feuchtwanger, E. (1923). *Die Funktionen des Stirnhirns*. Berlin: Springer.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172-179.
- Fuster, J. M. (1989). *The prefrontal cortex*. New York: Raven Press.
- Fuster, J. M. (1997). *The prefrontal cortex-anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. Philadelphia: Lippincott-Raven.

- Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31, 373-385.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J.P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobes. Modularity of the central-supervisory system? *Cortex*, 35, 1-20.
- Goldberg, E. (2001). *The executive brain*. New York: Oxford University Press.
- Goldstein, K. (1944). The mental changes due to frontal lobe damage. *Journal of Psychology*, 17, 187-208.
- Gómez-Pérez, E., & Ostrosky-Solís, F. (2006). Attention and memory evaluation across the life span: heterogeneous effects of age and education. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 477-494.
- Grafman, J. (2006). Human prefrontal cortex: processes and representations. En J. Risberg, & J. Grafman (Eds.), *The frontal lobes. Development, function and pathology* (pp. 69-91). Cambridge: Cambridge University Press.
- Happaney, K., Zelazo, P. D., & Stuss, D. T. (2004). Development of orbitofrontal function: current themes and future directions. *Brain and Cognition*, 55, 1-10.
- Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Massachusetts Medical Society Publications*, 2, 327-346.
- Hobson, P., & Leeds, L. (2001) Executive functioning in older people. *Reviews in Clinical Gerontology*, 11, 361-372.
- Kimberg, D., D'Esposito, M., & Farah, M. (1997). Cognitive functions in the prefrontal cortex-working memory and executive control. *Current Directions in Psychological Science*, 6, 185-192.
- Kotik-Friedgut, B., & Ardila, A. (2004). Systemic-dynamic Lurian theory and contemporary cross-cultural neuropsychology. En T. Akhutina, L. Moskovich, & T. Dorothy (Eds.), *A.R. Luria and contemporary psychology*. (pp. 55-61). New York: Nova Science Publishers.
- Laiacina, M., De Santis, A., Barbarotto, R., Basso, A., Spagnoli, D., & Capitani, E. (1989). Neuropsychological follow-up of patients operated for aneurysms of anterior communicating artery. *Cortex*, 25, 261-273.
- Lafleche, G., & Albert, M. (1995). Executive function deficits in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 9, 313-320.
- Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 29-50.
- Levin, H. S., Eisenberg, H. M., & Benton, A. L. (1991). *Frontal Lobe Function and Dysfunction*. New York: Oxford University Press.
- Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2a. ed.). New York: Oxford University Press.

- Lieberman, P. (2002a). *Human language and our reptilian brain*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lieberman, P. (2002b). On the nature and evolution of the neural bases of human language. *Yearbook of Physical Anthropology*, 45, 36-62.
- Luria, A. R. (1966). *Human brain and psychological processes*. New York: Harper & Row.
- Luria, A. R. (1969). Frontal lobe syndromes. En P. J. Vinken, & G. W. Bruyn (Eds.), *Handbook of clinical neurology* (Vol. 2, pp. 725-757). Amsterdam: North Holland.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain*. London: Penguin books.
- Luria, A. R. (1980). *Higher cortical functions in man* (2a. ed.). New York: Basic
- Manes, F., Sahakian, B., Clark, L., Rogers, R., Antoun, N., Aitken, M., & Robbins T. (2002). Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain*, 125, 624-39.
- Miller, B. L., & Cummings, J. L. (1998). *The human frontal lobes: Functions and disorders*. New York: The Guilford Press.
- Mitchell, R. L., & Phillips, L. H. (2007). The psychological, neurochemical and functional neuroanatomical mediators of the effects of positive and negative mood on executive functions. *Neuropsychologia*, 45, 617-629.
- Mithen, S. (1994). From domain specific to generalized intelligence: A cognitive interpretation of the Middle/Upper Palaeolithic transition. En C. Renfrew, & E. B. W. Zubrow (Eds.), *The ancient mind: Elements of cognitive archaeology* (pp. 29-39). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mithen, S. (1996). *The prehistory of the mind*. London: Thames and Hudson.
- 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.
- Ostrosky, F., Ardila, A., Rosselli, M. Lopez, G., & Mendoza, V. (1998). Neuropsychological test performance in illiterates. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13, 645-660.
- Parkin, A., & Java, R. (1999). Deterioration of frontal lobe function in normal aging: Influences of fluid intelligence versus perceptual speed. *Neuropsychology*, 13, 539-545.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37, 51-87.
- Perecman, E. (Ed). (1987). *The frontal lobes revisited*. New York: The IRBN Press.
- Piguet, O., Grayson, G., Browe, A., Tate, H., Lye, T., Creasey, H., & Ridley, L. (2002). Normal Aging and Executive Functions in "Old-old" Community Dwellers: Poor performance is not an inevitable outcome.

International Psychogeriatric Association, 14, 139-159.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Recuperado Abril, 2007, de http://portal.unesco.org/education/en/ev.phpURL_ID=12874&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

Pribram K. H., & Luria, A. R. (Eds.). (1973). *Psychophysiology of the frontal lobes*. New York: Academic Press.

Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua Española* (22^a ed.). Madrid: Espasa.

Reis, A., & Castro-Caldas, A. (1997). Illiteracy: A cause for biased cognitive development. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5, 444-450.

Risberg, J. (2006). Evolutionary aspects of the frontal lobes. En J. Risberg, & J. Grafman (Eds.), *The frontal lobes. Development, function and pathology* (pp. 1-20). Cambridge: Cambridge University Press.

Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. (1998). *The prefrontal cortex: Executive and cognitive functions*. Oxford: Oxford University Press.

Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. (2002). *The prefrontal cortex: Executive and cognitive functions* (2a. ed.). Oxford: Oxford University Press

Ross, E. D., & Stewart, R. M. (1981). Akinetic mutism from hypothalamic damage: successful treatment with dopamine agonists. *Neurology*, 31, 1435-1439.

Rosselli, M., Ardila, A., & Rosas, P. (1990). Neuropsychological assessment in illiterates II: Language and praxic abilities. *Brain and Cognition*, 12, 281-296.

Roth, G., & Dicke, U. (2005). Evolution of the brain and intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 250-257.

Ryan, J. J., Tree, H. A., & Miller, L. J. (2004). Wechsler Adult Intelligence Scale-Third Edition Picture Arrangement subtest: impact of vertical administration. *Applied Neuropsychology*, 11, 215-217.

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.

Schoenemann, P. T., Sheehan, M. J., & Glotzer, L. D. (2005). Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nature Neuroscience*, 8, 242-252.

Semendeferi, K., Damasio, H., Frank, R., & Van Hoesen, G. W. (1997). The evolution of the frontal lobes: a volumetric analysis based on three-dimensional reconstructions of magnetic resonance scans of human and ape brains. *Journal of Human Evolution*, 32, 375-388.

Semendeferi, K., Lu, A., Schenker, N., & Damasio, H. (2002). Humans and great apes share a large frontal cortex. *Nature Neuroscience*, 5, 272-276.

Smith, N. K. (1941). *The philosophy of David Hume*. Macmillan.

Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.

Stuss, D. T., & Knight, R. T. (2002). *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press.

Sugarman, R. (2002). Evolution and executive functions: Why our toolboxes are empty? *Revista Española de Neuropsicología*, 4, 351-377.

Vygotsky, L. S. (1934/1962). *Thought and*

language. Cambridge, MA: MIT Press.

Vygotsky, L. S. (1934/1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wayne, C. (2006). The evolutionary origins of volition. En D. Spurrett, H. Kincaid, D. Ross, & L. Stephens (Eds.), *Distributed cognition and the will: Individual volition and social context*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Webster's new world college dictionary. (2000). (3a. ed.). Cleveland: IDG Books Worldwide, Inc.

Winterer, G., & Goldman D. (2003). Genetics of human prefrontal function. *Brain Research: Brain Research Review*, 43, 134-163.