

Musso, Mariel Fernanda

*Funciones ejecutivas y control ejecutivo : una revisión bibliográfica mirando la
arquitectura de la mente*

Revista de Psicología. Vol 5. N° 9, 2009

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central “San Benito Abad”. Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Musso, Mariel F. (2009). Funciones ejecutivas y control ejecutivo: una revisión bibliográfica mirando la arquitectura de la mente [Versión electrónica], Revista de Psicología, 5 (9). Recuperado el, de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/revistas/funciones-ejecutivas-control.pdf>

(Se recomienda ingresar la fecha de consulta. Ej: Recuperado el 13 de octubre de 2001,)

Funciones Ejecutivas y control ejecutivo: una revisión bibliográfica mirando la arquitectura de la mente.

Executive functions and executive control: a bibliographic review looking at the mind's architecture

Mariel Fernanda Musso
CONICET

Resumen

El término “funciones ejecutivas” comienza a ser utilizado por Lezak en los 80'. No se trata de un concepto unitario, incluyendo varias funciones cognitivas y autodirigidas que contribuyen a la autorregulación del individuo. Existen varias controversias acerca del constructo “funciones ejecutivas”, entre ellas: la unidad vs diversidad de los procesos cognitivos que implican las funciones ejecutivas, y la naturaleza del control ejecutivo; el presente artículo se focaliza sobre esta última cuestión. Se presentarán dos aproximaciones de acuerdo a distintos modos de explicación de la memoria de trabajo y del control ejecutivo. Finalmente, se propone enfocar el estudio de las funciones ejecutivas desde una visión integrada de la mente, para su mejor comprensión.

Abstract

In the 80s, Lezak starts using the term “executive functions”. It is not a unitary concept, including several cognitive and self-directed functions contributing to the individual's self-regulation. There are several controversies about the “executive functions” construct, among them: unity versus diversity of cognitive processes involving executive functions and nature of executive control; this paper deals with the latter one. Two approximations shall be introduced in compliance with different ways of explaining work memory and executive control. Finally, the proposal is to direct the study of executive functions from an integrated view of the mind for its best understanding.

Correspondencia: Mariel F. Musso
CONICET
e-mail: mariel.musso@hotmail.com

Palabras clave: Funciones ejecutivas, Cognición, Memoria de trabajo, Habilidades cognitivas, Mente

Key words: Executive functioning, cognition, working memory, cognitive ability

Introducción

Desde el punto de vista etimológico, el término función proviene del latín *functio*, *functionis*, que significa cumplimiento, ejecución de algo. Y ejecutar deriva del latín *exsequi*, seguir hasta el final (Larousse, 2004). El concepto de *función* en psicología tiene distintas acepciones. Entre ellas, nos interesa aquella que sirve para caracterizar determinados procesos, actividades y trabajos psíquicos o cognitivos.

El término *funciones ejecutivas* comienza a ser utilizado por Lezak en la década del 80'. Sin embargo, Luria ya había estudiado una serie de trastornos asociados a las lesiones frontales, que afectaban la iniciativa, la motivación, la formulación de metas y planes de acción y al autocontrol del comportamiento (Tirapu- Ustárriz, Muñoz- Céspedes & Pelegrín- Valero, 2002). Luria (1988) postula el concepto de *sistemas funcionales complejos* y si bien no utiliza el término de *funciones ejecutivas*, las describe al postular el tercer sistema funcional, responsable de la programación, regulación y verificación de la conducta. Este sistema permitiría al hombre crear intenciones, formular planes y programas de acciones, inspeccionar su ejecución y regular su comportamiento para que esté de acuerdo con estos planes; finalmente, le posibilitaría verificar su actividad consciente, comparando los efectos de sus acciones con las intenciones originales y corrigiendo cualquier error que haya cometido.

Desde una perspectiva más operacional, Lezak las describe como “capacidades mentales necesarias para formular metas, planificar la manera de lograrlas y llevar adelante ese plan de manera eficaz» (Lezak, 1982; p.281). Otros autores (Tirapu- Ustárriz, Pérez-Sayes, Erekatxo- Bilbao & Pelegrín- Valero, 2007) relacionan el constructo de “funciones ejecutivas” con la capacidad de encontrar soluciones para un problema novedoso, llevando a cabo predicciones de sus consecuencias.

Siguiendo a Benedet (1986), se pueden diferenciar dos tipos de denominaciones de las funciones ejecutivas. Por un lado, aquellas del tipo control cognitivo, procesos ejecutivos, control ejecutivo que, en el campo de la

neuropsicología, ponen el acento en los aspectos ejecutivos del proceso de solución de un problema desde la toma de conciencia del mismo hasta su solución final. En cambio, en el seno de la psicología del procesamiento de la información, desde fines de la década del 70 se habla de metacognición (Brown & De Loache, 1978; en Benedet, 1986), metamemoria (Flavell & Wellman, 1977; en Benedet, 1986) y metacomponentes (Sternberg, 1979; en Benedet, 1986), que hacen más hincapié en los aspectos relacionados con el conocimiento y la conciencia de los propios procesos cognitivos y de sus limitaciones. En el presente artículo se considera que las funciones ejecutivas involucran tanto procesos como mecanismos. El carácter de proceso se evidencia al tratarlas desde modelos integrales y operacionales, como los de proceso de resolución de problemas, o desde las categorías funcionales de Lezak (1982).

Desde modelos factoriales se han hallado diferentes componentes que subyacen al constructo funciones ejecutivas. Miyake y col. (2000, 2001) identificaron tres factores claramente diferenciados pero relativamente dependientes, definidos como: 1) actualización, 2) inhibición y 3) alternancia. La actualización se refiere a la capacidad de monitorear, manipular y actualizar la información en línea en la memoria de trabajo. La inhibición implica la capacidad para inhibir de forma controlada la producción de respuestas predominantes automáticas cada vez que la situación lo demande. La alternancia es la flexibilidad en el cambio de una operación mental a otra. A su vez, Pineda, Merchan, Rosselli & Ardila (2000) hallaron en sus estudios con jóvenes universitarios una estructura factorial compuesta por cuatro componentes independientes: 1) organización y flexibilidad, 2) velocidad de procesamiento, 3) control inhibitorio y 4) fluidez verbal. Si bien estos modelos factoriales son una importante herramienta para explorar el constructo, es necesario no perder de vista lo que reconocen tanto Pineda et. al (2000) como Tirapu-Ustároz, García-Molina, Luna-Lario, Roig-Rovira & Pelegrín-Valero (2008) acerca de sus limitaciones: la estructura factorial puede variar según el tipo de pruebas utilizadas, el modelo factorial elegido, la población estudiada y el modelo teórico que describe el funcionamiento ejecutivo.

Existen varias controversias acerca del constructo “funciones ejecutivas”. El tema de la unidad vs diversidad de los procesos cognitivos que implican las funciones ejecutivas, ha dado lugar a diferentes modelos teóricos acerca de las funciones y control ejecutivo. Algunos autores plantean la existencia de una base común o un mecanismo unificado que explicarían todas las alteraciones

ejecutivas (Cohen & Servan-Schreiber, 1992; Cohen, Braver & O'Reilly, 1996). Otros, en cambio, proponen modelos no unitarios de las funciones ejecutivas, ya que este constructo involucraría múltiples procesos y funciones (Duncan, Emslie, Williams, Jonson & Freer, 1996; Miyake & Shah, 1999). Profundizar cada uno de estos modelos excede el objetivo del presente artículo. Una importante y reciente revisión puede encontrarse en Tirapu-Ustárroz y col. (2008) donde se describen los distintos modelos de funciones y control ejecutivo, tales como los “modelos de sistema simple” y de “constructo único” (modelos unitarios), modelos factoriales y la “teoría integradora del córtex prefrontal” de Miller y Cohen (2001) como modelos de diversidad.

El presente artículo se propone abordar otro tema de debate acerca del constructo que refiere a la naturaleza del control ejecutivo: ¿cómo y por qué los procesos cognitivos humanos son capaces de controlar el procesamiento del pensamiento y regular el comportamiento? ¿Es necesario recurrir a un “homúnculo” implícito y/o central o es explicable a partir de sus mecanismos más elementales presentes en la misma arquitectura cognitiva global?. Se sistematizarán brevemente los distintos modelos de funciones ejecutivas y control ejecutivo considerando este criterio. Dichos modelos se estarán refiriendo a procesos cognitivos de control en adultos, y no desde una perspectiva del desarrollo, ya que su emergencia durante el desarrollo requiere considerar otros aspectos conceptuales y metodológicos que exceden al objetivo del presente artículo.

Naturaleza del control ejecutivo: Homúnculo vs Arquitectura

La coordinación y el control del procesamiento de la información puede considerarse una característica en común del amplio rango de procesos cognitivos implicados en el constructo *funciones ejecutivas* (Heyder, Suchan & Daum, 2004).

Antes de profundizar las posturas sobre este debate, es necesario plantear la relación entre “funciones ejecutivas” y memoria de trabajo (M.T.). Desde modelos factoriales y otros enfoques, la M.T. ha sido claramente identificada como un componente fundamental de las funciones ejecutivas (Miyake, Friedman, Emerson, Witzky & Howerther, 2000; Garon, Bryson & Smith, 2008).

Los estudios que utilizan pruebas de reconocimiento demorado brindan evidencia acerca de la relación entre memoria de trabajo y funciones ejecutivas (Tirapu- Ustárrroz y col., 2008). En estas pruebas se muestra, a través de imágenes de resonancia magnética funcional, que el córtex pre-frontal se relaciona con una actividad cognitiva compleja y no unitaria. Mientras que la codificación y manipulación de la información dependen fundamentalmente del área prefrontal dorsolateral, el mantenimiento de dicha información se relaciona preferentemente con la activación del córtex prefrontal ventrolateral (D'Esposito & Postle, 2002; Postle, Berger, Goldstein, Curtis & D'Esposito, 2001).

Una reciente reseña bibliográfica acerca de los estudios que se han venido realizando sobre Memoria de Trabajo (M.T.), plantea que este concepto ha evolucionado desde una memoria a corto plazo a un sistema de multi- componentes (Yuan, Steedle, Shavelson, Alonzo & Oppezzo, 2006). Comparando diferentes modelos contemporáneos sobre M.T. (Yuan y col., 2006) llegan a las siguientes conclusiones:

1. Existe un consenso acerca de que la Memoria de Trabajo (M.T.) incluye tanto información relevante como irrelevante a la tarea;
2. acuerdan en los componentes fonológicos y viso-espaciales de la M.T.;
3. existe un consenso en cuanto a considerar el almacenamiento de la memoria a corto plazo como una función de la M.T.;
4. no existe acuerdo acerca de la existencia de un control ejecutivo como un componente necesario de la M.T., y
5. existe una controversia respecto a si la función de control es activa o pasiva.

En la bibliografía se pueden encontrar dos grandes enfoques teóricos, según la forma de entender y explicar el funcionamiento de la Memoria de Trabajo (M.T.) y del control ejecutivo. Por un lado, podemos agrupar aquellos modelos teóricos que visualizan a ambos como módulos separados (ej., Baddeley, 1986). Por otro lado, se encuentran modelos que los integran visualizándolos como dos caras de la misma moneda, donde el control ejecutivo sería una propiedad emergente de toda la arquitectura neuro-cognitiva (Hazy; Frank & O'reilly, 2006).

El primer enfoque responde a modelos tradicionales basados en una arquitectura mental tipo ordenador, donde el procesamiento es centralizado y la memoria a largo plazo es fundamentalmente un almacén pasivo de representa-

ciones. Desde estos modelos se plantea la presencia de un conjunto de interfaces (buffers) separadas, dedicadas al almacenamiento temporario de ítems que son necesarios durante el procesamiento; este procesamiento es dirigido por un módulo llamado “ejecutivo central” (Baddeley, 1986).

Dentro de este enfoque se pueden incluir los modelos de M.T. de Baddeley (1986), el de Sistema Atencional Supervisor de Norman y Shallice (1986), el modelo jerárquico de Stuss y Benson (1986). Estas aproximaciones teóricas más clásicas difieren en los distintos componentes y la forma de interacción entre ellos. Sin embargo, todas comparten en común la idea de un componente de más alto nivel (sistema ejecutivo central para Baddeley, Sistema Atencional Supervisor para Norman y Shallice, el componente de control ejecutivo para Stuss y Benson).

Desde el segundo enfoque en cambio, se pueden considerar modelos más actualizados, consistentes con la biología y especializaciones neuronales en el sistema córtex prefrontal/ Ganglios basales (Hazy; Frank & O’ reilly, 2006), y de acuerdo con lo que se conoce sobre la arquitectura cognitiva humana (Anderson, 1983, 2007). Desde la postura teórica de Anderson (2007) el término arquitectura hace referencia a los enlaces entre ciertas estructuras orgánicas del cerebro y sus correlatos funcionales.

A continuación, se profundizarán los principales exponentes dentro de cada enfoque.

Modelo de M.T. de Baddeley

En 1974, Baddeley y Hitch plantearon una reconceptualización de la memoria a corto plazo, presentando un modelo de M.T. Este constructo es definido como un sistema que mantiene y manipula temporalmente la información, interviniendo en importantes tareas cognitivas, entre ellas la comprensión del lenguaje, el pensamiento y la lectura. Este modelo fue desarrollado posteriormente por el propio Baddeley (1992, 1994, 1996, 1998; en Tirapu- Ustárriz & col., 2002), quien identificó tres componentes: el sistema ejecutivo central (SEC), el bucle fonológico y la agenda viso-espacial. Recientemente Baddeley (2000) ha planteado un nuevo componente, el *almacén episódico* (*episodic buffer*), el cual almacenaría de forma limitada información multi-modal integrada en modelos mentales, escenas o episodios.

El *bucle fonológico* actúa como un sistema de almacenamiento transitorio del material verbal, asistido por un proceso de control basado en el repaso articulatorio. Esto le permite utilizar el lenguaje sub-vocal para mantener la información en la conciencia durante el tiempo deseado. Dicho sub-sistema es postulado para explicar la importancia de la codificación del lenguaje en la memoria a corto plazo (Tirapu- Ustárriz & col., 2002). Sin embargo, hemos de tener en cuenta que el bucle y sus procesos de repetición no son meramente un lenguaje sub-vocal, sino que dichos procesos de repetición se encuentran en funcionamiento mucho más profundamente; aparentemente, dependen de códigos centrales de control del habla, que pueden mantenerse en funcionamiento en ausencia de retroalimentación periférica (Tirapu- Ustárriz & col., 2002). Estudios con pacientes disártricos evidencian que los procesos de control articulatorio no dependen para su funcionamiento de la musculatura periférica del habla (Logie, Cubelli, Della Sala, Alberoni & Nichelli, 1988).

La *agenda viso-espacial* es otro gran sub-sistema postulado por el modelo de M.T. de Baddeley (1996). Este componente tiene la función principal de crear y manipular imágenes viso-espaciales. Este sistema sería análogo al bucle fonológico y podría alimentarse directamente de la percepción visual o indirectamente mediante la generación de una imagen visual (Tirapu- Ustárriz & col., 2002). Este sistema también parece participar de la creación y uso de mnemotécnicas de imágenes visuales, independientemente del efecto de la producción de imágenes en la memoria verbal a largo plazo. Aún son escasos los estudios experimentales que clarifiquen el rol de la agenda viso-espacial en la cognición de todos los días. Sin embargo, los resultados apuntan a la existencia de un sistema encargado de crear y manipular imágenes (Tirapu- Ustárriz & col., 2002). Es muy probable que la agenda viso-espacial esté representando un sistema de múltiples facetas, con dimensiones tanto visuales como espaciales, o bien dos sistemas independientes (Tirapu- Ustárriz & col., 2002). Resultados de estudios de neuroimagen, desde la psicofisiología y la literatura neuro-psicológica, plantean la existencia de componentes visuales y espaciales independientes de las imágenes, con localizaciones anatómicas diferenciadas en el cerebro (Tirapu- Ustárriz & col., 2002).

La mayor parte de los estudios sobre M.T. se han focalizado sobre el bucle fonológico, en primer lugar, y sobre la agenda viso-espacial, en segundo, ya que parecen más accesibles a la manipulación experimental que el ejecutivo

central; así mismo admiten más fácilmente una definición operacional (Tirapu-Ustárrroz y col., 2002). Mientras tanto, la naturaleza y funcionamiento del ejecutivo central son más debatidos. El *ejecutivo central* tiende a convertirse en un *paraguas* conceptual para intentar explicar procesos mentales complejos, como el modo en que la información se combina en el cerebro y cómo se seleccionan y operan las estrategias para resolver una determinada situación (Tirapu-Ustárrroz y col., 2002).

En cierto modo, como señala el propio Baddeley (1996; en Tirapu-Ustárrroz y col., 2002), el ejecutivo central funciona más como un sistema atencional que como un almacén de información. En términos generales, podría señalarse que el sistema ejecutivo central se comporta a la manera de un sistema atencional, por medio del cual se llevan a cabo tareas cognitivas en las que interviene la memoria de trabajo, y realiza operaciones de selección de estrategias y control.

En síntesis, el constructo de M.T. ha llegado a ser considerado como paradigma de toda forma de control cognitivo, que involucra tanto el mantenimiento activo de información como su procesamiento ejecutivo. La M.T. refiere entonces a la representación temporaria de información recién experimentada o recuperada desde la memoria a largo plazo, y que no existe en el entorno. Estas representaciones internas son de corta vida, pero pueden ser sujetas a operaciones que manipulan la información de un modo tal, que se vuelve útil para dirigir el comportamiento hacia una meta.

Memoria de Trabajo y arquitectura neuro-cognitiva

Desde otra perspectiva (Hazy; Frank & O'reilly, 2006), las funciones de la M.T. serían consideradas como una propiedad emergente de las interacciones entre áreas cerebrales especializadas, incluyendo tanto el mantenimiento activo de la información relevante a la tarea (córtex pre-frontal/Ganglios basales), como el rápido aprendizaje de asociaciones arbitrarias (Sistema Hipocampal). El procesamiento controlado emerge de un mecanismo "top-down": la influencia de representaciones, que desde el córtex pre-frontal son activamente mantenidas y activadas sobre otras partes del sistema (Cohen, Dunbar & McClelland, 1990; Cohen, Braver & O'Reilly, 1996; O'Reilly, Braver & Cohen, 1999; Miller & Cohen, 2001).

Este modelo corresponde mejor con lo que se conoce acerca de la micro-estructura del cerebro, en la cual el procesamiento y las funciones de memoria son distribuidas dentro y desempeñadas por las mismas redes de substrato neuronal (Rumelhart & McClelland, 1986). La información es distribuida a lo largo de toda una configuración relativamente estable por todo el córtex, y la M.T. tiende a ser la activación controlada de estas representaciones. Este modelo se asienta entonces sobre una arquitectura tripartita, compuesta por tres sistemas funcionalmente complementarios que pueden ser comprendidos a su vez, en términos de un set de *trueques computacionales* (*computational tradeoffs*), los cuales brindan un más preciso y frecuente conjunto de propiedades funcionales para estas áreas. Estos sistemas son:

1. El sistema del Córtex Posterior que desempeña la gran mayoría de procesamiento automático a nivel sensorial y motor en el cerebro. Este sistema exhibe un aprendizaje lento e integrativo que extrae o sintetiza la estructura estadística a largo plazo del entorno, representando el conocimiento acumulado y habilidades.
2. El sistema del hipocampo (HC) que se encuentra especializado para el aprendizaje rápido, el cual liga información arbitraria que puede ser recordada al servicio del procesamiento controlado.
3. El sistema del Córtex Prefrontal/Ganglios basales que está especializado para mantener activamente información contextual interna, la cual puede ser dinámicamente activada por el Ganglio Basal. Este sistema puede alterar o desestabilizar, de acuerdo a la información mantenida activamente en la corteza pre-frontal (ejemplo, metas, instrucciones, intenciones, expectativas). Este sistema incluye un sistema de aprendizaje basado en la dopamina (DA), que usa una versión de mecanismos de refuerzo que se piensa que son apoyados por el ganglio basal y relacionados a estructuras del mesencéfalo (Hazy; Frank & O'Reilly, 2006).

El modelo alternativo sobre M.T. de Goldman-Rakic (1984, 1987, 1988, 1998) coincidiría con este enfoque, aunque focalizado sobre una función. Dicho modelo plantea que el resultado del procesamiento del ejecutivo central, es el producto de la interacción de múltiples módulos de procesamiento de la información independientes, cada uno de los cuales contendría sus propios sistemas de control motor, sensorial y mnémico. Este procesamiento lineal permitiría hipotetizar la existencia de una red neuronal cortical independiente para cada subsistema de la M.T. Si bien este modelo no resuelve todas las

incertidumbres acerca del *ejecutivo central*, permite vislumbrar cómo estos subsistemas independientes colaboran en la producción de una conducta compleja. Los procesos cognitivos de alto nivel son producidos gracias a la activación simultánea de los diferentes subsistemas de la M.T. y su capacidad para recibir información de la memoria y de otras áreas corticales, condiciones del sistema que le permiten procesar información en paralelo (Tirapu-Ustárrroz y col., 2002). Dicho modelo se basa en las implicaciones de la arquitectura funcional del córtex pre-frontal. Existiría una asociación e interconexión de cada subsistema del córtex pre-frontal con diferentes e independientes áreas corticales: a) las áreas prefrontales relacionadas con la memoria de trabajo espacial, se conectarían con porciones del lóbulo parietal posterior; b) la memoria de trabajo responsable de las formas de los objetos, conectaría el córtex pre-frontal inferior con el lóbulo temporal; c) otra red conectaría con áreas de asociación sensorial (temporal y parietal), premotriz (cingulado) y límbica (Tirapu- Ustárrroz y col., 2002). El modelo de Goldman-Rakic sobre el funcionamiento del ejecutivo central, se basa en estudios experimentales con primates no humanos y, de acuerdo con el mismo, el ejecutivo central puede considerarse una propiedad emergente que coactiva múltiples procesadores de dominio específico. Estos procesadores se localizan en el córtex pre-frontal, pero se encuentran interconectados con regiones posteriores, que contienen información relevante para dicho dominio específico (Tirapu- Ustárrroz y col., 2002).

Si bien la aproximación de Hazy, Frank y O'Reilly (2006) coincide con la perspectiva de los modelos de M.T., ofrecidos por la teoría ACT-R (Adaptative Control of Thought- Racional) (Anderson, 1983, 2007; Lovett, Reder & Lebiere, 1999), difiere en algunos aspectos: estos últimos se asientan sobre modelos cognitivos e incluyen la distinción entre conocimiento declarativo y procedimental.

Un modelo de memoria de trabajo concebido desde la arquitectura cognitiva, como la teoría ACT-R, asume las siguientes características:

1. existe en este sistema un recurso atencional limitado, focalizado sobre la meta actual, que incrementa la accesibilidad del conocimiento que es relevante a la meta;
2. en tareas más complejas y de mayor demanda cognitiva, este recurso limitado es distribuido más ampliamente, de tal modo que se dificulta la recuperación de ítems relevantes a la meta.

3. la capacidad de este recurso atencional, depende de la habilidad para acceder a la información relevante a través de áreas de contenido (diferencias individuales) (Lovett, Reder & Lebiere, 1999).

Atención y control ejecutivo

Algunos autores han demostrado las relaciones entre atención y control ejecutivo, planteando que la atención constituye un componente esencial de éste (Benedet, 1986). Una reciente revisión en la literatura plantea la existencia de un factor común subyacente a todas las formas de auto-regulación: el aspecto ejecutivo de la atención (Fonagy & Target, 2002; Kopp, 1982; Posner & Rothbart, 1998; Ruff & Rothbart, 1996; citados en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007).

Dentro del segundo enfoque ya considerado, es posible ubicar el modelo de redes atencionales de Posner y Rothbart (2007). Estos investigadores proponen un modelo de atención basado en la psicología Hebbiana (redes neuronales), con diferentes niveles de análisis, incluyendo el nivel genético, neuroquímico, neuronal, cognitivo y conductual. Construyendo puentes entre estos niveles será posible lograr mayores niveles de comprensión y predicción (Posner & Rothbart, 2007).

Una ventaja de los enfoques utilizando redes neuronales es que permiten el desarrollo de modelos computacionales precisos que posibilitan tanto el resumen de muchos hallazgos en el campo como la predicción de nuevos resultados. Actualmente, modelos simbólicos, tales como sistemas basados en reglas (Newell, 1990, citado en Posner & Rothbart, 2007) prometen ser una buena vía para capturar datos de tiempo de reacción, entre otros datos. En estos modelos, las funciones cognitivas son representadas como cadenas de producción de reglas y pueden ser identificadas con operaciones mentales postuladas por estudios cognitivos. Por otro lado, modelos subsimbólicos, tales como los modelos conexionistas (por ejemplo, O'Reilly & Munakata 2000, citado en Posner & Rothbart, 2007) permiten una implementación más realista a nivel biológico de las operaciones, y enlaces más estrechos con estudios de neuroimagen.

Las propiedades computacionales de las redes neuronales (Rumerhart & McClelland, 1986, citado en Posner & Rothbart, 2007) brindan mejores condiciones para desarrollar teorías detalladas integrando información tanto desde estudios fisiológicos, cognitivos como conductuales.

Desde diferentes áreas de investigación se ha encontrado evidencia acerca de la existencia de tres redes cerebrales, que contribuyen a la atención, que cumplen funciones de: 1) alerta, 2) orientación y 3) control ejecutivo (Posner & Dehaene, 1994; Posner & Petersen, 1990).

El sistema de alerta es el aspecto más básico de la atención y describe el estado de arousal de un organismo. Posner & Petersen (1990) han sugerido que el sistema de alerta involucra estructuras frontales y parietales del hemisferio derecho y que esta actividad es modulada por el neurotransmisor norepinefrina (NE) (Marrocco & David, 1998, citado en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007). Este sistema de alerta está comprometido también en la atención sostenida, es decir en la capacidad de mantener el estado de alerta durante un lapso prolongado de tiempo (Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007).

El sistema de orientación se encarga de la selección de la información sensorial. Varias investigaciones han encontrado que daños en regiones posteriores del cerebro alteran el sistema de orientación (Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007). Específicamente, lesiones en la intersección ténporo-parietal y del lóbulo parietal producen un síndrome de desatención o extinción (Friedrich y col., 1998; Karnath y col., 2001; citados en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007). Estudios farmacológicos relacionan el sistema de orientación al neurotransmisor acetilcolina (ACh) (Davidson & Marrocco, 2000; Posner & Fan, en prensa; citados en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007).

Por último, el sistema ejecutivo de la atención involucra los mecanismos para la resolución de conflictos entre pensamientos, sentimientos y respuestas. Esta última red es la que está comprometida en el aspecto volitivo y controlado del sistema atencional. Estudios con pacientes y de neuroimagen han mostrado que dos áreas frontales están involucradas en situaciones conflictivas: el córtex cingulado anterior (CCA) y el córtex prefrontal lateral (CPFL, incluido el córtex prefrontal dorsolateral y otras áreas). La CCA es responsable del monitoreo del conflicto, mientras que la estructura lateral (CPFL) mantiene los requerimientos de la tarea y es responsable de la inhibición de las respuestas irrelevantes (Bunge, 2004; Bunge y col., 2002b; Bunge y col., 2001; McDonald y col., 2000; citados en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007). La actividad en la cabeza del caudado (por resonancia magnética dependiente del nivel de oxígeno en sangre) ha correlacionado

con el éxito en tareas de inhibición go-no go (Durstun y col., 2002; citado en Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007). El sistema dopaminérgico es el comprometido en este sistema y conexiones neuronales (Berger; Kofman; Livneh & Henik, 2007).

Discusión

La bibliografía analizada nos demuestra la multidimensionalidad y complejidad del constructo de “funciones ejecutivas”. Varios componentes, mecanismos, funciones y procesos se han estudiado dentro de este sistema que posibilita la auto-regulación: memoria de trabajo, mecanismos de inhibición, la alternancia, la flexibilidad cognitiva, la planificación, el automonitoreo y la verificación.

Por otro lado, el presente artículo se propuso abordar una de las controversias actuales del constructo de “funciones ejecutivas” referida a la naturaleza del control ejecutivo. Se han analizado distintos modelos teóricos desde dos enfoques fundamentales: el control ejecutivo proveniente de un componente central, o como una propiedad resultante de sus microprocesos. Este último enfoque fue encontrando mayor evidencia en las últimas dos décadas, a partir del estudio de la micro-estructura del cerebro humano y según la evidencia experimental se presenta como una mejor alternativa. Dentro de este último enfoque, modelos teóricos como el ACT-R (Anderson, 1993, 2007) permitirían especificar la arquitectura de la mente, como un emergente entre los procesos cognitivos y la estructura física del cerebro. En este nivel de abstracción se puede explicar así cómo se logran ciertas funciones. Comprender de este modo las funciones ejecutivas desde una mirada de la arquitectura cognitiva humana implica no sólo entender el aspecto físico de los substratos neuronales a estas funciones, ni tampoco describirlas de forma aislada, sino la construcción de modelos que integren múltiples módulos al resolver un problema y al procesar información. De esta manera, el control ejecutivo puede ser explicado a partir de los mecanismos más básicos que lo subyacen, sin la necesidad de recurrir a un “homúnculo” implícito. Este objetivo se convierte en uno de los grandes desafíos para próximas investigaciones en el área de la neuropsicología y de la inteligencia, tanto humana como artificial.

Agradecimientos

La autora agradece a su Directora de Tesis Doctoral y Post-doctoral, Dra. María Cristina Richaud de Minzi, por su constante asesoramiento brindado en la elaboración del trabajo. Al Dr. Eduardo C. Cascallar por ampliar la perspectiva de análisis del trabajo y su constante guía.

Bibliografía

- ANDERSON, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ANDERSON, J. R. (2007) *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?*. New York: Oxford University Press.
- BADDELEY, A. D. & HITCH, G. A. (1994). Developments in the concepts of working memory. *Neuropsychology*, 8, 484-493.
- BADDELEY, A. D. & HITCH, G. J. (1974). Working memory. In G. H., Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 8. (pp. 47- 89). New York: Academic Press.
- BADDELEY, A. D. (1986) *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- BADDELEY, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- BADDELEY, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(A), 5-28
- BADDELEY, A. D. (1998). *Human memory: Theory and practice* (revised ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- BADDELEY, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- BENEDET, M. J. (1986). *Evaluación Neuropsicológica [Neuropsychological Assessment]*. España: Editorial Desclee de Brouwer.
- BERGER, A.; KOFMAN, O.; LIVNEH, U., & HENIK, A. (2007). Multidisciplinary perspectives on attention and the development of self-regulation. *Progress in Neurobiology* 82, 256-286.
- BROWN, A., L. & DELOACHE, J. S. (1978). Skills, plans and self-regulation. In R. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 3-35). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- COHEN, J. D., BRAVER, T. S. & O'REILLY, R. C. (1996). A computational approach to prefrontal cortex, cognitive control, and schizophrenia: Recent developments and current challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Lond) B*, 351, 1515-1527.

- COHEN, J. D., DUNBAR, K. & MCCLELLAND, J. L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing model of the Stroop effect. *Psychological Review*, 97 (3), 332–361.
- COHEN, J. D. & SERVAN-SCHREIBER, D. (1992). Context, cortex, and dopamine: a connectionist approach to behavior and biology in schizophrenia. *Psychological Review*, 99, 45-77.
- D'ESPOSITO, M. & POSTLE, B. R. (2002). Working memory function in lateral prefrontal cortex. In D. T. Stuss, R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press.
- DUNCAN, J., EMSLIE, H., WILLIAMS, P., JOHNSON, R. & FREER, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: the organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 30, 257-67.
- FLAVELL, J.H. Y WELLMAN, H.M. (1977). Metamemory. In R.V. Kail, Jr. y J.W. Hagen (eds.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp.3-33). Hillsdale, NJ: LEA.
- GARON, N., BRYSON, S. E. & SMITH, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, 134 (1), 31-60.
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1984). The frontal lobes: uncharted provinces of the brain. *Trends in Neuroscience*, 7, 425-9.
- GOLDMAN-RAKIC, P. (1987). Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. In F. Plum(ed.). *Handbook of Physiology, The Nervous System, Vol. V: Higher Functions of the Brain. Section 1* (pp 373–417). Bethesda, MD: American Physiological Society.
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1988). Topography of Cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 11, 137-156
- GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1998). The prefrontal landscape: Implications of functional architecture for understanding human mentation and the central executive. In A. C. Roberts, T. W. Robbins, & L. Weiskrantz (Eds.). *The prefrontal cortex: Executive and cognitive function* (pp. 87-102). Oxford: Oxford University Press.
- HAZY, T. E., FRANK, M. J. & O'REILLY, R. C. (2006). Banishing the Homunculus: Making Working Memory Work. *Neuroscience*, 139, 105–118.
- HEYDER, K., SUCHAN, B. & DAUM, I. (2004). Executive Control of Human Action. *Acta Psychologica*, 115 (2/3), 271-289.
- LAROUSSE, DICCIONARIO (2004). *El pequeño Larousse ilustrado*. Colombia: Ediciones Larousse. 10ª Edición.
- LEZAK, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17, 281-297.

- LOGIE, R. H., CUBELLI, R., DELLA SALA, S., ALBERONI, M. & NICHELLI, P. (1988). Anarthria and verbal shortterm memory. In J. Crawford & D. Parker (eds.), *Developments in clinical and experimental neuropsychology*. New York: Plenum Press.
- LOVETT, M. C., REDER, L. M., & LEBIERE, C. (1999). Modeling working memory in a unified architecture: An ACT-R perspective. In A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of Working Memory* (pp. 135-182). Cambridge, MA: Cambridge.
- LURIA, A. (1988). *El cerebro en acción* (5ta. edición). [*The working brain*]. Barcelona: Martínez Roca.
- MILLER, E. K. & COHEN, J. D. (2001) An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167–202.
- MIYAKE, A. & SHAH, P. (1999). Toward unified theories of working memory: emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. In A. Miyake & P. Shah (eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (p. 442-81). New York: Cambridge University Press.
- MIYAKE, A., FRIEDMAN, N. P., EMERSON, M. J., WITZKY, A. H. & HOWERTHER, A. (2000). The unity and diversity of executive function and their contribution to complex frontal lobe task: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- MIYAKE, A., FRIEDMAN, N. P., RETTINGER, D. A., SHAH, P. & HEGARTY, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 621-40.
- NORMAN, D. A. & SHALLICE, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. Reprinted in revised form in R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.). *Consciousness and self-regulation*, Vol. 4 (pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- O'REILLY, R. C., BRAVER, T. S. & COHEN, J. D. (1999). A biologically based computational model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp 375–411). New York: Cambridge University Press.
- PINEDA, D. A., MERCHAN, V., ROSSELLI, M. & ARDILA, A. (2000). Estructura factorial de la función ejecutiva en estudiantes universitarios jóvenes. [Factorial structure of the executive function in university students]. *Revista de Neurología*, 31 (12), 1112-1118.
- POSNER, M. I. & DEHAENE, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17, 75-79.

- POSNER, M. I., & PETERSEN, S.E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- POSNER, M. I. & ROTHBART, M. K.(2007). Research on attention Networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-23.
- POSTLE, B. R., BERGER, J. S, GOLDSTEIN, J. H, CURTIS, C. E. & D'ESPOSITO, M. (2001). Behavioral and neuropsychological correlates of episodic coding, proactive interference and list length effects in a running span verbal working memory task. *Cognitive, affective & Behavioral Neuroscience*, 1, 10-21.
- RUMELHART, D. E. & MCCLELLAND J. L. (1986). *Parallel distributed processing. Volume 1*, Foundations. Cambridge, MA: MIT Press.
- STERNBERG, R. J. (1979). Six authors in search of character: A play about intelligence test in the year 2000. *Intelligence*, 3, 283-293.
- STROOP, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- STUSS, D. T. & BENSON, D. F. (1986). *The frontal lobes*. Nueva York: Raven Press.
- TIRAPU- USTÁRROZ, J., GARCÍA- MOLINA, A., LUNA- LARIO, P., ROIG-ROVIRA , T. & PELEGRÍN- VALERO, C. (2008). Modelos de funciones y control ejecutivo (I). [Executive functions Models and executive control- I]. *Revista de Neurología*, 46 (11), 684-692
- TIRAPU- USTÁRROZ, J., MUÑOZ- CÉSPEDES, J. M., PELEGRÍN- VALERO, C. (2002). Funciones ejecutivas: necesidad de una integración conceptual. [Executive Functions: a conceptual integration]. *Revista de Neurología*, 34 (7), 673- 685.
- TIRAPU- USTÁRROZ, J., PÉREZ- SAYES, G., EREKATXO- BILBAO, M. & PELEGRÍN- VALERO, C. (2007). ¿Qué es la teoría de la mente? [What is the Theory of the Mind?] *Revista de Neurología*, 44, 479-89.
- YUAN, K., STEEDLE, J., SHAVELSON, R., ALONZO, A. & OPPEZZO, M. (2006). Working memory, fluid intelligence, and science learning. *Educational Research Review*, 1 (2), 83-98.
- ZELAZO, P. D., CARTER, A., REZNICK, S. & FRYE, D. (1997). Early Development of Executive Function: A problem- Solving Framework. *Review of General Psychology*, 1 (2), 198-226.