

FUNCIONES EJECUTIVAS: NOCIONES DEL DESARROLLO DESDE UNA PERSPECTIVA NEUROPSICOLÓGICA

EXECUTIVE FUNCTION: NOTIONS OF DEVELOPMENT FROM A NEUROPSYCHOLOGICAL PERSPECTIVE

ESPERANZA BAUSELA HERRERAS

Cómo referenciar este artículo/How to reference this article:

Bausela Herreras, E. (2014). La atención selectiva modula el procesamiento de la información y la memoria implícita [Selective attention modulates information processing and implicit memory]. *Acción Psicológica*, 11(1), X-XX. <http://dx.doi.org/10.5944/ap.1.1.13789>

Resumen

Desde la perspectiva del desarrollo podemos observar como los niños van siendo cada más capaces de controlar por sí mismos sus propias acciones, respuestas y regular su propia conducta (autorregulación de la conducta) o como pasan de una moral heterónoma a una moral autónoma. Esta capacidad de autorregulación de la conducta va ligada al desarrollo de procesos cognitivos de orden superior (memoria de trabajo, planificación, inhibición de respuestas automáticas...), relacionados todos ellos con un mismo constructo, Funciones ejecutivas. El objetivo de este artículo es analizar cómo se ha conceptualizado este constructo, centrándonos en uno de las paradojas que ha dominado la literatura en la última década. Desde esta perspectiva se consideran las Funciones ejecutivas como una unidad y al mismo tiempo integrada por una diversidad de funciones independientes. Esbozaremos, de forma más concreta, las líneas generales del modelo jerárquico propuesto por Miyake y colaboradores. Para estos autores las tres dimensiones que integran las Funciones ejecutivas son: flexibili-

dad atencional, control inhibitorio y memoria de trabajo. En coherencia con este modelo, analizamos el sustrato neurológico en el que se sustentan. Finalmente, comparamos diferentes teorías del desarrollo de las Funciones ejecutivas con el modelo jerárquico propuesto por Miyake y colaboradores.

Palabras clave: memoria de trabajo; crecimiento; activación; autorregulación; inhibición; flexibilidad.

Abstract

From a development perspective we can see how the children will be better able to control every self their own actions, responses and regulate their own behavior (self-regulation of behavior) or as a heteronymous moral pass to an autonomous morality. This capacity for self-regulation of behavior is linked to the development of other cognitive processes (working memory, planning, inhibition of automatic responses...), all of them related to the same construct, executive functioning. In this paper we will discuss briefly how this construct has been

Correspondencia: Universidad Internacional de La Rioja. Mail: esperanza.bausela@unir.net.

Recibido: 09/01/2014

Aceptado: 15/02/2014

conceptualized, focusing on one of the paradoxes that has dominated the literature in the last decade, which considers executive functioning as a unit while integrating a variety of independent functions, more specifically, the general lines of the hierarchical model proposed by Miyake and colleagues who identified three independent dimensions are integrated in executive functioning: attention flexibility, inhibitory control and working memory; consistent with this model, we analyze neurological substrate on which they are based; Finally, we compare different theories of the development of executive functioning with the hierarchical model proposed by Miyake and colleagues.

Keywords: working memory; activation; self-regulation; inhibition; shifting and development.

Introducción

A lo largo del desarrollo los niños van siendo más capaces de controlar por sí mismos sus pensamientos, acciones y regular su propia conducta. Este cambio ha ido asociado y vinculado con el desarrollo de las funciones ejecutivas.

Las funciones ejecutivas pueden ser definidas como las rutinas responsables de la monitorización y regulación de los procesos cognitivos durante la realización de tareas cognitivas complejas (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter y Wager, 2000). Su funcionamiento se ha asociado fuertemente con el Córtex prefrontal, como indican los estudios de personas con lesiones en la corteza Prefrontal, como el caso clásico de Phineas Gage. Este tipo de pacientes muestra rendimiento bajo en pruebas como el Wisconsin (Longo, Kerr, Smith, 2013) y Torre de Londres (Shannon, Kisleya, Hasker, Nathaniel, Campbell y Davalosb, 2013).

El objetivo de este artículo es analizar el desarrollo de las Funciones ejecutivas, con el fin de evidenciar la paradoja de *unidad y diversidad* de las Funciones ejecutivas, es decir, conocer si en el desarrollo de las Funciones ejecutivas podemos hablar de trayectoria o trayectorias en su desarrollo.

Funciones ejecutivas

Tradicionalmente, ha sido considerado un término paraguas, que aglutina una serie de procesos de orden superior (tales como control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad atencional...) que gobiernan la acción hacia un objetivo; y que permite emitir respuestas adaptativas a situaciones novedosas o complejas.

Los elementos claves que incluyen las Funciones ejecutivas son: (i) anticipación y desarrollo de la atención, (ii) control de impulsos y auto-regulación, (iii) flexibilidad mental y utilización de la realimentación, (iv) planificación y organización, (v) selección de forma efectiva de estrategias para resolver problemas y (vi) monitorización (Anderson, 2008).

En relación a estos procesos que integran las Funciones ejecutivas se ha postulado una propuesta que considera este constructo desde una perspectiva dicotomía: *procesos fríos* (identificados como procesos cognitivos) y *procesos calientes* (procesos que representan respuestas afectivas a situaciones que son significativas y que implican regulación de los afectos y de las emociones) (Zelazo, Qu y Müller, 2004). Estos procesos son especialmente importante en situaciones novedosas que requieren un ajuste rápido y flexible a las demandas del contexto (Zelazo, Muller, Frye y Marcovitch, 2003).

Varios modelos han sido propuestos para explicar las Funciones ejecutivas (ver Tirapu, García, Ríos y Ardila, 2011), aunque ninguno ha sido adoptado universalmente. Muy brevemente, podemos resumir estos modelos señalando que los primeros modelos tendían a conceptualizar el Funciones ejecutivas desde una perspectiva *«unitaria»* tales como el modelo propuesto por Baddeley (1986) *«Ejecutivo Central»* o el modelo de *«Sistema de Supervisión Activa»* de Norman y Shallice (1986). Sin embargo, se ha demostrado que el enfoque modular es demasiado simple para un constructo que está compuesto de distintos e inter-relacionados componentes o dimensiones.

Las evidencias de que las Funciones ejecutivas están fraccionadas se apoyan en: (i) los resul-

tados que se han encontrado en pacientes con daños en el lóbulo frontal, quienes rara vez exhiben una disfunción ejecutiva global (ver Pennington y Ozonoff, 1996); (ii) pueden presentar déficits específicos en procesos ejecutivos que pueden ser localizados en diferentes zonas de la corteza prefrontal (Stuss et al., 2002); (iii) las medidas de procesos ejecutivos correlacionan pobremente (Miyake et al., 2000); y (iv) el desarrollo de las trayectorias de específicos de los procesos ejecutivos varían a lo largo del mismo no existiendo una tendencia única (Anderson, 2002). Como consecuencia de ello, conceptos tales como «Ejecutivo Central» y «Sistema Supervisor» han sido modificados en un intento por fragmentar diferentes subcomponentes de varios sistemas de control (Shallice y Bruggess, 1996).

Sin embargo, mientras que las Funciones ejecutivas puede constar de diferentes procesos, éstos pueden estar interrelacionados y podrían ser conceptualizados como un *sistema integrador supervisor de un sistema de control* (ver Alexander y Stuss, 2000).

En el desarrollo de la literatura de las Funciones ejecutivas, el modelo propuesto por Miyake et al. (2000), ha sido un modelo con una gran influencia en esta última década. En este modelo se consideran *tres factores nucleares* independientes: inhibición, memoria de trabajo y cambio. Es un modelo especialmente atractivo para los psicólogos del desarrollo ya que valora estos componentes desde edades muy tempranas. En este modelo se excluyen funciones consideradas comúnmente ejecutivas tales, como razonamiento, habilidad de planificación y organización.

Además, hay que destacar el *Sistema de Control Ejecutivo* propuesto por Anderson (2002, 2008). Las Funciones ejecutivas depen-

de de funciones cognitivas del más alto nivel y de más bajo nivel, por ello no pueden ser consideradas de forma aislada. No hay un consenso sobre las funciones que lo integran, pero si hay un acuerdo en considerar estas funciones especialmente importantes en la conducta cotidiana. Desde esta perspectiva se categorizan las diferentes funciones ejecutivas en cuatro dominios interdependientes: procesamiento de la información, control atencional, flexibilidad cognitiva y establecimiento de objetivos. Estos cuatro dominios interaccionan y tienen relaciones bidireccionales. Este esquema es especialmente útil para categorizar las diferentes medidas de las Funciones ejecutivas que están disponibles (ver Figura 1): (I) El *control atencional (Attentional control)* se refiere a la capacidad para atender selectivamente a un estímulo específico. (II) La *flexibilidad cognitiva (Cognitive flexibility)* incluye la habilidad para pasar a nuevas actividades, hacer frente a cambios en las rutinas, aprender de los errores y elaborar estrategias alternativas, multitareas y procesos de almacenamiento temporal (*memoria de trabajo*). (III) *Establecer objetivos (Goal setting)* se refiere a la iniciativa, razonamiento conceptual y habilidad de planificación (anticipar futuros eventos, formulación de un objetivo, desarrollo de pasos para conseguir un objetivo) y organización (habilidad para organizar compleja información o secuenciar en fases el dominio de una estrategia de forma lógica y sistemática). (IV) El *procesamiento de la información (Information processing)* se centra en la velocidad, fluencia y eficiencia para completar tareas nuevas o para resolver un problema.

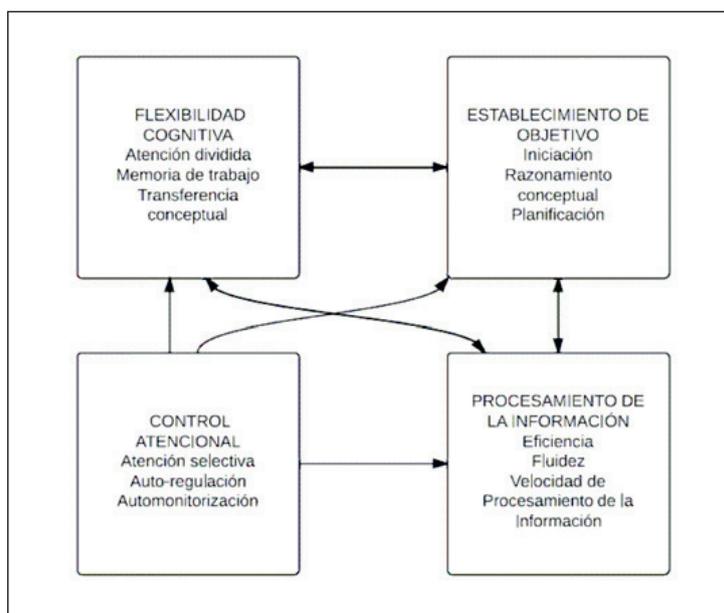


Figura 1. Sistema de control ejecutivo (Anderson, 2002; Anderson y Reidy, 2012)

Unidad o diversidad de funciones ejecutivas

Como hemos comentado al inicio de este artículo nos vamos a centrar en una de las paradojas en torno a cómo se organizan las diferentes dimensiones que integran las Funciones ejecutivas –*unidad o diversidad del Funciones ejecutivas*– existiendo diferentes evidencias en relación a esta postura.

Así, los *estudios de neuroimagen*, por ejemplo, proporcionan evidencias que apoyan las múltiples facetas de la naturaleza de las Funciones ejecutivas; también, nos muestran que diferentes componentes de las Funciones ejecutivas están relacionados con diferentes partes de la corteza prefrontal, por ejemplo: (i) la habilidad para mantener la información en la *memoria de trabajo* ha sido relacionada con la zona lateral de la corteza prefrontal (Narayanan, Prabhakaran, Bunge, Christoff, Fine y Gabrieli, 2005); (ii) la *flexibilidad* ha sido relacionado con la zona medial de la corteza prefrontal (Crone, Wendelken, Donohue y Bunge, 2005); (iii) finalmente, la habilidad de *inhibición de respuestas* ha sido relacionada con la corteza orbitofrontal (Aron, Robbins y

Poldrack, 2004) y con otras estructuras –evitando una postura localizacionista– (Krämer, Solbakkb, Funderudb, Løvstadc, Endestad y Knight, 2013).

No podemos olvidar que las tareas o pruebas para evaluar las Funciones ejecutivas, en ocasiones, son «*medidas impuras*», es decir, con un simple indicador se pretende evaluar un constructo, por ejemplo, la memoria de trabajo se ha evaluado tradicionalmente con la prueba de dígitos de las escalas de Wechsler. Esto puede conllevar a errores, ya que con un sólo indicador (por ejemplo, memoria de trabajo) no es posible obtener evidencias suficientes del nivel de desarrollo de las Funciones ejecutivas.

Miyake et al. (2000) proponen una vía para solucionar el problema de la «*impuridad*» de las tareas, adoptando un acercamiento a las *variables latentes*, consistente en extraer la varianza común a dichas tareas. El acercamiento de la variable latente minimiza el problema de la impuridad de las tareas, y es además, especialmente útil en los estudios de desarrollo (Nunnally y Bernstein, 1994). En la Figura 2 presentamos los tres factores latentes y los diferentes instrumentos que fueron aplicados y que han permitido la extracción de los mismos.

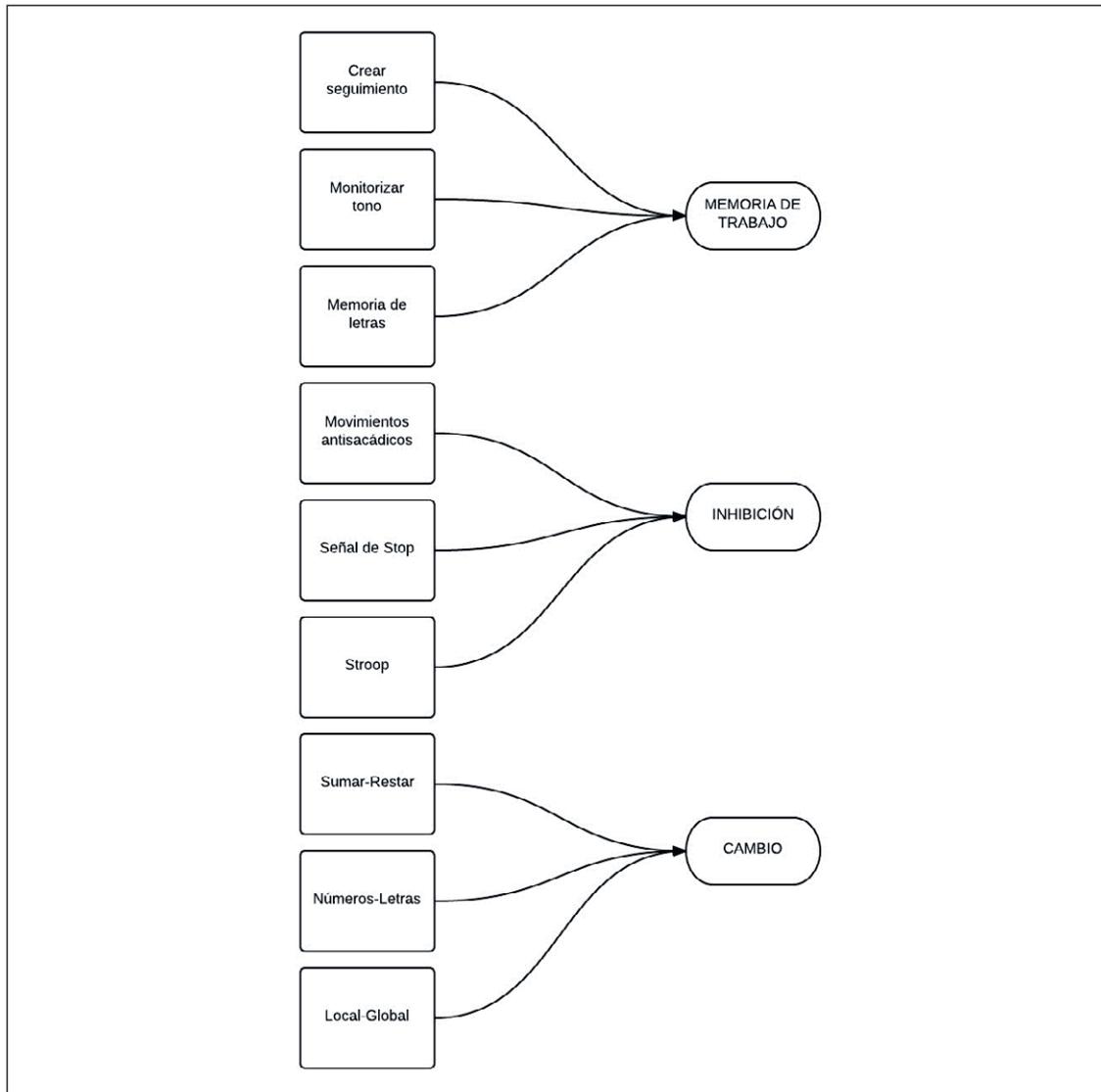


Figura 2. Tareas usadas por Miyake et al. (2000) y dimensiones subyacentes (latentes) a las mismas

Usando el *análisis factorial confirmatorio*, Miyake et al. (2000) examinaron la independencia de tres componentes de las Funciones ejecutivas, siendo éstos confirmados a través de dicho análisis: memoria de trabajo, flexibilidad y respuesta inhibitoria. Según los propios autores se centraron en estos tres factores ya que: (i) son fácilmente operacionalizados, (ii) pueden ser estudiados usando tareas comunes, (iii) están implicados en el rendimiento de tareas complejas, tales como, Test de Wisconsin y Torre de Londres.

Similares resultados fueron obtenidos por Lehto, Juujärvi, Kooistra y Pulkkinen (2003) en una muestra de niños de 8 a 13 años. En otro estudio desarrollado por Manly, Anderson, Nimmo, Turner, Watson y Robertson (2001) con niños de 6 a 16 años, usaron el análisis factorial, también distinguieron tres factores: atención selectiva, control atencional y atención focalizada. Estos factores fueron han sido comparado, respectivamente con: inhibición, flexibilidad y actualización.

Los estudios de análisis factorial confirmatorio mencionados en líneas precedentes sugieren que algunas funciones ejecutivas pueden ser vistas como distintos constructos en niños que en adultos. Lehto et al. (2003, p. 75) manifestaron que el uso de conjuntos diferentes de tareas, y la naturaleza «impura» de las medidas complica la comparación de los resultados de los diferentes análisis factoriales a través de los diferentes grupos de edad.

Los resultados de estos estudios, también, muestran que aunque correlacionan moderadamente entre ellos son constructos independientes (ver Fisk y Sharp, 2004): memoria de trabajo, flexibilidad e inhibición.

Modelo jerárquico de las Funciones ejecutivas de Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, and Howerter (2000)

Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, and Howerter (2000) en su estudio apuestan, como hemos comentado en líneas precedentes, por una postura que considera tres aspectos de las funciones ejecutivas –flexibilidad, actualización e inhibición–, concluyendo, que aunque son claramente distintos, comparten un aspecto común subyacente. Apoyándose en estos resultados se establece que las funciones ejecutivas son independientes, pero hay constructos que correlacionan moderadamente, esto sugiere apostar por *el paradigma de la unidad y la no unidad* de los componentes de las Funciones ejecutivas.

Algunas investigaciones con muestras de niños, han proporcionado evidencias de un esquema o marco conceptual integrador en esta

misma dirección. Así, Hughes (1998) obtuvo, en una muestra de preescolares, tres factores –flexibilidad atencional, control inhibitorio y memoria de trabajo– sugiriendo que los componentes de las Funciones ejecutivas son diferentes incluso en las edades más tempranas.

Welsh et al. (1991) enfatiza la independencia de estos tres factores, dejando un pequeño margen a la discusión, de si estos factores están interrelacionados.

El análisis factorial confirmatorio con niños mayores, también, parece apoyar la propuesta de Miyake et al. (2000), sobre la propuesta-paradoja de la *unidad y diversidad de las Funciones ejecutivas*.

Lehto et al., (2003), también, encontraron los tres factores propuestos por Miyake y colaboradores en una muestra de niños de 8 a 13 años. Huizinga, Dolan y Van der Molen (2006) emplearon también el análisis factorial confirmatorio en una muestra de 7, 11, 15 y 21 años, coincidieron parcialmente con el modelo propuesto por Miyake et al. (2000), en concreto, con las variables de memoria de trabajo y flexibilidad, no así con la variable de inhibición. Este modelo es consistente a través de diferentes grupos de edad, sugiriendo la estabilidad del desarrollo de las Funciones ejecutivas a través de las diferentes etapas (infancia, adolescencia e inicio de la edad adulta).

Seguidamente presentamos las tareas desarrolladas por Miyake et al. (2000) aplicadas a la etapa preescolar (ver Tabla 1), que pueden ser utilizadas para evaluar el desarrollo de las Funciones ejecutivas desde edades muy tempranas y los tres factores que subyacen a las mismas.

Tabla 1

Descripción de las tareas de Funciones ejecutivas aplicadas a niños para evaluar la memoria (traducido de Garon, Bryson y Smith, 2008)

Tarea	Descripción	Rango de edad
Tareas simples de memoria (mantener la información en la memoria después de un tiempo)		
Demora de respuesta	Un objeto es escondido en uno o más lugares y después de un tiempo se pide al niño que encuentre el objetoVD: Número de respuestas correctas y demora tolerada	5 meses
Amplitud de dígitos/palabras	Se pide al niño que repita una lista de palabras o dígitosVD: Longitud de la secuencia a repetir correctamente	3 años
Amplitud Corso bloques	Experimentador golpea nueve bloques de madera siguiendo un patrón y se pide al niño que repita la secuenciaVD: Longitud de la secuencia repetida correctamente	3 años
Tareas complejas de memoria (mantener información en la memoria y actualizar y manipular la información)		
Recipientes fijos	Diversos objetos son escondidos debajo de unos recipientes. El niño debe destapar cada recipiente y evitar regresar a uno de los recipientes que ya ha sido descubierto.VD: El número medio de veces que ha abierto todas las cajas. El número medio de intentos consecutivos para alcanzar la misma posición.	15 meses
Recipientes giratorios	Se sigue el mismo procedimiento que el anterior salvo que se da la vuelta cada vez que se hace una elección.VD: Número de intentos para abrir todas las cajas; número medio de intentos consecutivos para alcanzar la misma posición.	15 meses
Señalización auto-ordenado	Se muestran al niño dos dibujos en una hoja y después se le pide que seleccione una de ellas. Entonces se le muestra otra hoja con los dos dibujos en un orden diferente y se le pide que seleccione uno que no haya sido escogido. El número de dibujos se incrementa hasta que el niño comete dos errores consecutivos. VD: El número más alto de dibujos en los cuales ha tenido éxito.	3 años
Desplazamiento invisible	Un juguete es escondido debajo de una pequeña caja. La caja es movida debajo de una o dos cajas más grandes y el objeto queda dentro. Al niño entonces se le muestra la caja pequeña vacía. Después de un tiempo, el niño busca el objeto.VD: Número correcto	15 meses
Amplitud de dígitos en orden inverso	Se pide al niño que repita una lista de dígitos o de palabras en orden inverso.VD: Longitud de la secuencia repetida correctamente.	3 años

Nota. VD (Variables dependientes).

Anderson y Redy (2012), apoyándose en el modelo desarrollado por Miyake et al. (2000) proponen un protocolo de pruebas más breve

que se centra en tres dominios: control atencional, flexibilidad cognitiva y establecimiento de objetivos (véase Tabla 2).

Tabla 2

Descripción de aspectos a evaluar en la etapa preescolar (adaptado de Anderson y Ridy, 2012)

Dominio ejecutivo	Tipo de medida	Nombre del test
<i>Control Atencional.</i>	Demora de la gratificación.	Demora de un <i>snack</i> , de un regalo.
	Control de impulsos.	Estatua.
	Tareas de Go-No Go.	Oso-Dragón//Dice Simón.
	Respuestas de inhibición (motor).	Tareas de golpear con la mano.
	Respuestas de inhibición (verbal).	Día-Noche//Hierba-Nieva.
<i>Flexibilidad Cognitiva.</i>	Memoria de trabajo (actualización).	Alternancia demorada.
	Memoria de trabajo (búsqueda auto-ordenada).	Memoria espacial de trabajo (CANTAB).
	Memoria de trabajo (manipulación).	Amplitud de dígitos en orden inverso.
	Cambio.	<i>Shape School</i> .
	Flexibilidad atencional.	Dimensión de cambio de clasificación de tarjetas.
<i>Establecimiento de objetivo.</i>	Planificación.	Torre de Hanoi.
	Razonamiento conceptual.	Clasificación de objetos tareas de niños.

Van der Ven et al. (2013) investigan el factor latente en la estructura de las Funciones ejecutivas, seleccionando tareas en las cuales se puede considerar el *input* de la prueba (vi-

sual, visoespacial y verbal), controlando la velocidad de la línea base y usando tanto la velocidad como la precisión en las puntuaciones (véase Tabla 3).

Tabla 3

Características de las tareas seleccionadas para evaluar: inhibición, cambio y actualización (adaptado de Van der Ven et al., 2013)

Tarea	Input	Respuesta
Inhibición.		
Stroop Animal.	Visual.	Verbal.
Local-Global.	Visoespacial.	Verbal.
Tarea de Simon.	Visoespacial.	Motor.
Cambio.		
Cambio Animal.	Visual.	Verbal.
Trail Making Test (color).	Visoespacial.	Motor.
Tarea de clasificación.	Visual.	Motor.
Actualización.		
Amplitud de dígitos en orden inverso.	Verbal.	Verbal.
Impar fuera.	Visoespacial.	Motor.
Realizar un registro.	Visual.	Verbal.

Desarrollo del sustrato neurológico de las funciones ejecutivas

Históricamente las regiones anteriores del cerebro, concretamente, la corteza prefrontal, ha sido vinculada con los procesos ejecutivos mostrando un mayor retraso en su desarrollo. Esta premisa ha sido ampliamente aceptada en diferentes estudios de pacientes con daño en la región prefrontal (Stuss, 1992), así como, en los estudios con neuroimagen funcional (Baker et al., 1996).

El funcionamiento del cortex prefrontal es dependiente de conexiones aferentes y eferentes con otras regiones del cerebro (Heyder, Suchan y Daum, 2004), consecuentemente, el daño en alguna de estas conexiones prefrontales puede ir asociada con disfunción ejecutiva (Alexander y Stuss, 2000). Esto nos permite afirmar que la integridad de la corteza prefrontal es necesaria pero no suficiente para un funcionamiento intacto de las Funciones ejecutivas (Delia Sala, Gray, Spinnler y Trivelli, 1998). La disfunción ejecutiva no siempre refleja una patología de la región prefrontal y, por otro lado, su funcionamiento puede estar condicionado por el desarrollo de otras zonas del cerebro con las que mantiene relaciones bilaterales.

Podemos considerar que el desarrollo cognitivo refleja, por consiguiente, el desarrollo del cerebro (Casey, Tottenham, Listan y Durstont, 2005). Así, durante la infancia las áreas corticales primarias, tales como la corteza visual y auditiva, y las áreas de asociación tales como la corteza prefrontal, tienen altos niveles de densidad sináptica y experimentan un periodo dinámico de reducción sináptica en diferentes trayectorias (Huttenlocher y Dabholkar, 1997). Concurrentemente, el total de volumen cerebral se incrementa y alcanza el 95% de la talla del adulto a la edad de 6 años (Lenroot y Giedd, 2006); sin embargo, la trayectoria del volumen cerebral difiere de acuerdo a los diferentes tipos de regiones y tejidos. Giedd et al. (1999) demuestran que desde los 4 años, el volumen de sustancia blanca se incrementa constantemente, mientras que el volumen de materia gris en las regiones frontales y parietales se

incrementa y llega a su punto máximo durante la mitad de la infancia antes de reducirse.

Taki et al. (2012) examinan el cambio en el volumen de la sustancia blanca en la infancia desde los 5 años, demostrando que el incremento en el volumen de la sustancia blanca es lineal en muchas regiones a través del cerebro. El incremento en el volumen de la sustancia blanca puede estar relacionado con un incremento en la mielinización (Tsujimoto, 2008). La mielinización de la mayor parte de las zonas del cerebro empieza en el periodo postnatal, siendo el periodo de mayor desarrollo el que acontece en los 2 primeros años de vida y continúa en la infancia y en la adolescencia (Gao et al., 2009). La maduración de la sustancia blanca –incluyendo la mielinización y el incremento de la complejidad de los circuitos neuronales– apoya el desarrollo de los procesos cognitivos, junto con los cambios que se acompañan en la sustancia gris (Tau y Perterson, 2010).

El lóbulo frontal se desarrolla mucho más tarde, se inicia en la infancia y continúa en la adolescencia. Los estudios de neuroimagen funcional en preescolares muestran que las áreas de la corteza prefrontal se muestran activas durante tareas de Funciones ejecutivas. Por ejemplo, Tsujimoto, Yamamoto, Kawaguchi, Koizumi y Sawaguchi (2004) examinaron la activación de la región cortex prefrontal durante tareas de memoria de trabajo en niños de 5 y 6 años, y se encontraron, además, que los patrones de activación fueron similares a los de los adultos que también participaron en dicho estudio.

Usando el EEG, Wolfe y Bell (2004) demostraron que la corteza prefrontal media se activa cuando los niños de 4.5 años desarrollan tareas de memoria de trabajo y control inhibitorio. Moriguchi y Hiraki (2011) demuestran que niños de 3 y 4 mejoran el rendimiento en tareas de cambio conceptual y muestran un concomitante incremento en la activación de la región prefrontal inferior. Diferentes procesos ejecutivos son apoyados por circuitos neuronales generales que maduran y cambian con los años.

Los estudios de neuroimagen funcional demuestran que la maduración de las conexiones neuronales involucran un movimiento desde las regiones locales interconectadas a las regiones de conectividad distribuida, que trabajan como base de la misma función, y pueden reflejar la maduración de las habilidades cognitivas (Fair et al., 2009).

Comparación del modelo jerárquico de Miyake et al. (2000) con otras teorías del desarrollo de las Funciones ejecutivas

Como hemos comentado en líneas precedentes las Funciones ejecutivas se desarrollan a lo largo de la infancia y durante los años preescolares, siendo el foco de atención el desarrollo de la autorregulación, el control de impulsos, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva. Sin embargo, hay evidencias que indican que en los niños más pequeños también se observa el desarrollo de otras funciones ejecutivas, tales como, planificación, organización y toma de decisiones (ver Welsh, Pennington y Groisser, 1991).

Podemos destacar inicialmente el estudio desarrollado por Hughes (2011) quien realiza una revisión exhaustiva de las dos últimas décadas sobre el estudio del desarrollo de las funciones ejecutivas, centrándose en los si-

guientes aspectos: (i) resultados típicos y atípicos de grupos a través del desarrollo, (ii) avances en las herramientas de evaluación (construcción de cuestionarios...) y de análisis estadístico (estructura de las Funciones ejecutivas (ver Moriguchi, 2008; Van der Ven, Kroesbergen, Boom y Leseman, 2013) y trayectorias del desarrollo de las Funciones ejecutivas); (iii) interacción entre las Funciones ejecutivas y otros sistemas cognitivos, (iv) integración de las perspectivas cognitivas y neurocognitivas en las Funciones ejecutivas, (v) factores ambientales (positivos y negativos) que afectan al desarrollo de las Funciones ejecutivas.

Garon, Bryson y Smith (2008) realizan un estudio comparativo de tres modelos de desarrollo de las Funciones ejecutivas comparándolo con el modelo propuesto por Miyake et al. (2000): (i) Zelazo y Frye (1998) define las Funciones ejecutivas como dirigir la conducta hacia una meta; (ii) Munakata (2001) se centra en el estudio de dos dimensiones: flexibilidad del comportamiento y de la acción; (iii) Diamond (2006) se centra en la habilidad para usar representaciones y guiar el comportamiento a pesar de las experiencias previas. En la Tabla 4 se comparan los anteriores modelos con el modelo propuesto por Miyake et al. (2000).

Tabla 4

Comparación de las tres teorías del desarrollo del Funciones ejecutivas con el modelo jerárquico propuesto por Miyake et al. (2000) (traducido y adaptado de Garon, Bryson y Smith, 2008)

Teoría	Control y complejidad cognitiva	Representación escalonada	Disociación del Función ejecutivo	Modelo jerárquico del Funciones ejecutivas
<i>Autores</i>	Zealazo y Frye (1998)	Munakata (2001)	Diamond (2006)	Miyake et al. (2000)
<i>Definición del Funciones ejecutivas</i>	Comportamiento dirigido a objetivos	Flexibilidad del comportamiento y del pensamiento	Habilidad para usar una representación y para guiar el comportamiento a pesar de la experiencia previa	Propósito general del mecanismo de control que modula la cognición
<i>Organización de los componentes del Funciones ejecutivas</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Durante el desarrollo, las reglas se convierten gradualmente más organizadas y jerárquicamente organizadas. - los 2 años pueden representar una regla arbitraria. - A los 3 años pueden representar un par de reglas arbitrarias. - Una regla de orden superior puede representarse a los 4 años, permitiendo al niño integrar reglas incompatibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Múltiples sistemas de representación. - Las representaciones son graduales, todo o nada.-Dos principales tipos de: representaciones latentes y activas. - Las representaciones latentes se desarrollan más tempranamente y reflejan un aprendizaje gradual. - Las representaciones activas se desarrollan más tardíamente y proporcionan un apoyo de arriba-abajo. - Las representaciones activas son usadas para mantener y manipular la información. - Las representaciones activas se vinculan con la memoria y la atención. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tres componentes separados. - Memoria de trabajo, inhibición, y flexibilidad son procesos disociables. - Estos tres elementos muestran patrones de desarrollo separados. - Estos componentes interactúan. La atención es crucial en los tres componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evidencias de ambos: unidad y diversidad - Inhibición, memoria de trabajo y flexibilidad son separados, pero correlacionan moderadamente - Mejor modelo, es parcialmente disociable los componentes del Funciones ejecutivas, con un mecanismo común subyacente. - El <i>mecanismo común</i> podría ser atención/activación o inhibición.
<i>Aspectos que cambian en el desarrollo del Funciones ejecutivas</i>	Jerarquía de reglas de representación	Debilidad de representaciones activas	Coordinación de los componentes del Funciones ejecutivas	No dirigida

Conclusión

Los estudios coinciden y apoyan el modelo propuesto por Miyake et al. (2000), pero también, sugieren que el grado de unidad e independencia de estos factores puede cambiar a lo largo de las *diferentes etapas del desarrollo*. Los estudios en neurociencias aportan datos indispensables para comprender el desarrollo de las funciones ejecutivas. Conociendo los correlatos neurológicos podemos inferir como el comportamiento cambia con el tiempo. Los cambios en los correlatos neurológicos pueden ser interpretados a la luz del conocimiento de la estructura y funcionamiento del cerebro y, particularmente, de la corteza prefrontal. Los cambios en las estructuras neurológicas pueden estar correlacionados con cambios en el rendimiento en tareas que nos permiten determinar la relevancia de los cambios estructurales en la maduración de las Funciones ejecutivas.

Paralelamente, es necesario disponer de pruebas que nos permitan conocer cómo evoluciona el desarrollo de las diferentes dimensiones que integran las Funciones ejecutivas desde las edades más tempranas, apoyándonos en el paradigma de la *unidad y diversidad de las funciones ejecutivas*.

Es igualmente, relevante, desarrollar futuros estudios del desarrollo de la trayectoria o trayectorias de las Funciones ejecutivas.

Referencias bibliográficas

- Alexander, M., y Stuss, D. (2000). Disorders of frontal lobe functioning. *Seminars in Neurology*, 20(4), 427-437.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8, 71-82.
- Anderson, P. J. (2008). Towards a developmental model of executive function. En V. Anderson, R. Jacobs y P. J. Anderson (Eds.), *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective* (pp. 3-22). Nueva York: Psychology Press.
- Anderson, P. J. y Reidy, N. (2012). Assessing executive function in preschoolers. *Neuropsychological Review*, 22, 345-360.
- Aron, A. R., Robbins, T. W. y Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170-177.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baker, S. C., Rogers, R. D., Owen, A. M., Frith, C. D., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J. y Robbins, T. W. (1996). Neural systems engaged by planning: A PET study of the Tower of London task. *Neuropsychologia*, 34(6), 515-526.
- Casey, B. J., Tottenham, N., Listan, C. y Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 104-110.
- Crone, E. A., Wendelken, C., Donohue, S. E. y Bunge, S. A. (2005). Neural evidence for dissociable components of task-switching. *Cerebral Cortex*, 16(4), 475-486.
- Delia Sala, S., Gray, C., Spinnler, H. y Trivelli, C. (1998). Frontal lobe functioning in man: the riddle revisited. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13(8), 663-682.
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. En E. Bialystock y F. I. M. Craik (Eds.), *The early development of executive functions. Lifespan cognition: Mechanisms of change* (pp. 70-95). Oxford: England: Oxford University Press.
- Fair, D. A., Cohen, A. L., Power, J. D., Dosenbach, N. U., Church, J. A., Miezin, F. M.,... Petersen, S. E. (2009). Functional brain networks develop from a «local to distributed» organization. *PLoS computational biology*, 5(5), e1000381.
- Gao, W., Lin, W., Chen, Y., Gerig, G., Smith, J. K., Jewells, V. y Gilmore, J. H. (2009). Temporal and spatial development of axonal maturation and myelination of white matter in the developing brain. *American Journal of Neuroradiology*, 30(2), 290-296.
- Garon, N., Bryson, S. E. y Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31-60.
- Giedd, J., Blumenthal, J., Jeffries, N., Castellanos, F., Liu, H., Zijdenbos, A.,... Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863.

- Heyder, K., Suchan, B. y Daum, I. (2004). Cortico-subcortical contributions to executive control. *Acta Psychologica*, 115(2-3), 271-289.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253.
- Huizinga, M., Dolan, C. V. y Van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Huttenlocher, P. R. y Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.
- Krämera, U. M., Solbakkb, A. K., Funderudb, I., Løvstadc, M., Endestad, T. y Knight, R. T. (2013). The role of the lateral prefrontal cortex in inhibitory motor control. *Cortex*, 49, 837-849.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L. y Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Lenroot, R. K. y Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718-729.
- Longo, C. A., Kerr, E. N., Smith, M. L. (2013). Executive functioning in children with intractable frontal lobe or temporal lobe epilepsy. *Epilepsy and Behavior*, 26(1), 102-108. doi: 10.1016/j.yebeh.2012.11.003.
- Manly, T., Anderson, V., Nimmo-Smith, I., Turner, A., Watson, P. y Robertson, I. H. (2001). The differential assessment of children's attention: The Test of Everyday Attention for Children (TEA-Ch), normative sample data and ADHD performance. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(8), 1065-1081.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. y Wager, T. D. (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.
- Moriguchi, Y. (2008). Development of executive function during preschool years. *Japanese Psychological Review*, 51(3), 447-459.
- Moriguchi, Y. y Hiraki, K. (2011). Longitudinal development of prefrontal function during early childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1, 153-162.
- Munakata, Y. (2001). Graded representations in behavioral dissociations. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 309-315.
- Narayanan, N. S., Prabhakaran, V., Bunge, S. A., Christoff, K., Fine, E. M. y Gabrieli, J. D. E. (2005). The role of the prefrontal cortex in the maintenance of verbal working memory: An event-related fMRI analysis. *Neuropsychology*, 19(2), 223-232.
- Norman, D. A. y Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behaviour. En R. J. Davidson, G. E. Schwartz y D. E. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (Vol. 4, pp. 1-14). Nueva York: Plenum.
- Nunally, J. C. y Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3.ª Ed.). Nueva York: McGraw Hill.
- Pennington, B. F. y Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(1), 51-87.
- Shallice, T. y Burgess, P. W. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organisation of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 351, 1405-1412.
- Shannon, S. M., Kisleya, M. A., Hasker, P. D., Nathaniel, T. D., Campbell, A. M. y Davalosb, D. B. (2013). Cognitive function predicts neural activity associated with pre-attentive temporal processing. *Neuropsychologia*, 51, 211-219.
- Stuss, D. T. (1992). Biological and psychological-development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20(1), 8-23.
- Stuss, D. T., Alexander, M. P., Floden, D., Binns, M. A., Levine, B., Mcintosh, A. R., Hevenor, S. J. (2002). Fractionation and localization of distinct frontal lobe processes: evidence from focal lesions in humans. En D. T. Stuss y R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. Nueva York: Oxford University Press.

- Taki, Y., Hashizume, H., Thyreau, B., Sassa, Y., Takeuchi, H., Wu, K., Kawashima, R. (2012). Linear and curvilinear correlations of brain gray matter volume and density with age using voxel-based morphometry with the Akaike information criterion in 291 healthy children. *Human brain mapping*. doi:10.1002/hbm.22033.
- Tau, G. Z. y Peterson, B. S. (2010). Normal development of brain circuits. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 147-168.
- Tirapu, J., García, A., Ríos, M. y Ardila, A. (Eds.). (2011). *Neuropsicología del córtex prefrontal y de las funciones ejecutivas*. Barcelona, España: Viguera.
- Tsujimoto, S. (2008). The prefrontal cortex: functional neural development during early childhood. *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, 14(4), 345-358.
- Tsujimoto, S., Yamamoto, T., Kawaguchi, H., Koizumi, H. y Sawaguchi, T. (2004). Prefrontal cortical activation associated with working memory in adults and preschool children: an event-related optical topography study. *Cerebral Cortex*, 14(7), 703-712.
- Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J. y Leseman, P. P. M. (2013). The structure of executive functions in children: A closer examination of inhibition, shifting, and updating. *British Journal of Developmental Psychology*, 31, 70-87.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F. y Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7, 131-149.
- Wolfe, C. D. y Bell, M. A. (2004). Working memory and inhibitory control in early childhood: Contributions from electrophysiology, temperament, and language. *Developmental Psychobiology*, 44, 68-83.
- Zelazo, P. D. y Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: The development of executive function. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 121-126.
- Zelazo, P., Muller, U., Frye, D. y Marcovitch, S. (2003). The development of executive function: Cognitive complexity and control—revised. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68, 93-119.
- Zelazo, P., Qu, L. y Muller, U. (2004). Hot and cool aspects of executive function: relations in early development. En W. Schneider, R. Schumann y B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind* (pp. 71-93). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.