

D

Desarrollo de las Funciones Ejecutivas y de la Corteza Prefrontal

**Asucena Lozano Gutiérrez &
Feggy Ostrosky**

Laboratorio de Psicofisiología y
Neuropsicología, Facultad de
Psicología, Universidad Nacional
Autónoma de México. México, D.F.,
México.

Correspondencia: Dra. Feggy Ostrosky.
Universidad Nacional Autónoma de México,
Rivera de Cupia 110-71, Lomas de
Reforma, México, D.F. 11930. Teléfono y
Fax: (+525) 5251-76-56. Correo electrónico:
feggy@servidor.unam.mx

Agradecimientos: Esta investigación se
lleva a cabo con el apoyo parcial de la
Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

Resumen

En las últimas décadas el estudio de los lóbulos frontales y las funciones ejecutivas ha recibido particular atención en el campo de la neuropsicología y la literatura acerca del desarrollo de estos procesos durante la infancia ha ido en aumento. Estos estudios han destacado que el desarrollo de tales procesos durante los primeros años de vida es de gran importancia para el funcionamiento cognitivo, conducta, control emocional e interacción social del niño y que incluso factores tales como los socioculturales pueden influir en su desarrollo. En este artículo se hace una revisión acerca de las funciones ejecutivas más estudiadas durante la infancia, su asociación con la corteza prefrontal, así como los cambios estructurales y funcionales que se dan en esta región durante este periodo y los efectos de factores socioculturales durante su desarrollo. El contar con una perspectiva amplia sobre las características neuropsicológicas de las FE durante la infancia, así como de los factores que pueden favorecer o limitar su desarrollo, permitirá no sólo identificar la secuencia de desarrollo normal de estas funciones sino también la creación de instrumentos adecuados para su evaluación así como de técnicas de diagnóstico temprano que permitan la implementación de intervenciones oportunas durante esta etapa.

Palabras clave: Funciones ejecutivas, neurodesarrollo, nivel socioeconómico.

Executive Functions and Prefrontal Cortex Development

Summary

In recent decades the study of the frontal lobes and executive functions has received particular attention in the field of neuropsychology and literature about the development of these processes during childhood has increased. These studies have highlighted that the development of these processes during the first years of life, is relevant for cognitive functioning, behavior, emotional control and social interaction of children; even socioeconomic factors may affect its development. In this article we review the more studied executive functions during childhood, their association with the prefrontal cortex, as well as structural and functional changes that occur in this region during this period and the effects of sociocultural factors during development. Having a broad perspective on the neuropsychological characteristics of the executive functions during childhood, as well as the factors that may promote or limit their development will not only allow to identify the sequence of normal development of these functions, but also the creation of appropriate tools for assessment and diagnostic techniques that allow early implementation of appropriate interventions during this period.

Key words: Executive functions, neurodevelopment, socio economical status.

Introducción

El término de funciones ejecutivas (FE) se ha aplicado a un constructo global que involucra a una serie de procesos interrelacionados que participan en la síntesis de estímulos externos, formulación de metas y estrategias, preparación de la acción y verificación de los planes y acciones; dichos procesos dan como

resultado una conducta propositiva y dirigida a metas (Gioia, Isquith, & Guy, 2001).

Los procesos asociados a las FE son diversos e incluyen principalmente la anticipación, selección de metas, planeación, iniciación de la actividad, autoregulación, flexibilidad mental, control de la atención, uso de la retroalimentación, inhibición y mantenimiento de información en línea, los cuales se desarrollan durante la niñez y la adolescencia (Anderson, 2002). Aunado a estos procesos considerados como “fríos” o cognoscitivos, Zelazo y Müller (2002) señalan que aquellas funciones “calientes”, que se involucran más valores afectivos y motivacionales y están asociadas con la corteza orbitofrontal (COF), serían parte muy importante del funcionamiento ejecutivo.

Estas FE se han conceptualizado como interrelacionados e interdependientes que en conjunto actúan como un sistema integrado de supervisión o control (Stuss & Alexander, 2000) y juegan un papel importante en el funcionamiento cognitivo, conducta, control emocional e interacción social del niño (Anderson, 2002).

El estudio del desarrollo de las funciones ejecutivas desde edades tempranas permite no sólo comprender las características de este proceso, sino también facilita la detección y prevención de alteraciones comunes en los trastornos de neurodesarrollo. En los niños, los déficits cognitivos asociados con alteraciones en las funciones ejecutivas incluyen un control de impulsos pobre, dificultades en el monitoreo o regulación del desempeño, problemas en la planeación y organización, dificultad en establecer estrategias adecuadas y eficientes, perseveración y

poca flexibilidad cognitiva, así como poca capacidad en la memoria de trabajo. Dentro del marco del desarrollo psicológico y cognitivo, la mayoría de estas conductas no pueden considerarse como anormales en ciertas etapas, por lo que es de gran importancia identificar claramente cuáles son las características de las FE que se esperan en cierto periodo (Anderson, 2002).

Corteza Prefrontal

Si bien las funciones ejecutivas pueden estudiarse desde una aproximación puramente funcional, considerar su sustrato anatómico proporciona valiosa información respecto a su organización y funcionamiento. En términos anatómicos, la corteza prefrontal (CPF) ocupa un lugar privilegiado para orquestar las FE, puesto que es la región cerebral de integración por excelencia, gracias a la información que envía y recibe de virtualmente todos los sistemas sensoriales y motores (Munakata, Casey, & Diamond, 2004).

La CPF comprende casi 30% del total de la corteza en humanos y es considerada como un área de asociación, es decir, integra la información proveniente de otras regiones. Esta área representa la estructura neocortical más desarrollada en los seres humanos y se localiza en las superficies lateral, medial e inferior del lóbulo frontal. Se divide en tres regiones: corteza prefrontal dorsolateral (CPF_{DL}), corteza prefrontal medial (CPF_M) y corteza orbitofrontal (COF) (Fuster, 2002).

La CPF_{DL} es la más grande y la más reciente de la corteza frontal en la escala filogenética (Stuss & Levine, 2000). En términos generales esta región se ha relacionado con los procesos de planeación, memoria de trabajo, solución de problemas, flexibilidad, inhibición (tareas

go/no-go) y organización temporal (secuenciación) (Casey et al., 1997; Diamond, 2002; Fuster, 2002; Hoshi & Tanji, 2004; Konishi et al., 2002). La porción anterior de la CPF_{DL}, cuya organización funcional es exclusiva del ser humano, está relacionada con los procesos de mayor jerarquía cognitiva, como la metacognición, la cognición social, la conciencia del yo y el autoconocimiento (Stuss & Levine, 2000).

A diferencia del área dorsolateral, involucrada en aspectos cognitivos, la COF está relacionada con aspectos afectivos y motivacionales de las funciones ejecutivas. Se ha observado mediante estudios con primates no humanos y pacientes con lesión focal que esta zona está comprometida con la adaptación y el aprendizaje de cambios que conciernen relaciones estímulo-respuesta; dichos procesos resultan ser relevantes en los diferentes contextos sociales cotidianos. Asimismo, está relacionada a la toma de decisiones con contenido motivacional (Kerr & Zelazo, 2004).

De acuerdo con Bechara, Damasio y Damasio (2000) la región ventromedial del área orbitofrontal se relaciona con la detección de condiciones de riesgo, mientras que la región lateral se relaciona con el procesamiento de los matices negativo-positivo de las emociones. Asimismo, el área medial y orbital de la corteza prefrontal están involucradas en los procesos de inhibición afectivo conductual (Fuster, 2002).

Por último, la CPF_M está íntimamente relacionada con los procesos de inhibición de respuestas, la regulación de la atención, de la conducta y de estados motivacionales, incluyendo la agresión. Las porciones más anteriores de esta región están involucradas en los procesos de

mentalización (Shallice, 2001). Adicionalmente, el cíngulo anterior funciona de manera integral con esta región participando en la detección de errores y solución de conflictos (Miller & Cohen, 2001).

La corteza prefrontal presenta conexiones aferentes y eferentes hacia estructuras posteriores y subcorticales. La CPDL mantiene conexiones aferentes con el hipocampo a través del fascículo uncinado y conexiones profusas con las áreas asociativas de la corteza occipital, parietal y temporal, y de manera más particular, con el cíngulo anterior que está involucrado con las emociones, con el enfrentamiento ante la incertidumbre y está conectado con los núcleos del tallo cerebral encargados del nivel de alerta (Goldberg, 2001) y con el núcleo caudado (Diamond, 2002; Fuster, 2002).

Las tres subregiones de la corteza prefrontal (lateral, medial y orbital) mantienen conexiones entre sí y con el núcleo del tálamo anterior y dorsal, estructura de relevo de la información sensorial (Fuster, 2002). La COF y CPFM reciben aferencias desde el hipocampo e información acerca del estado fisiológico y motivacional del organismo a través del sistema límbico y en particular de la amígdala e hipotálamo (Goldberg, 2001).

Las eferencias de la CPF van de regreso a las áreas sensoriales de asociación, hacia el neocórtex (caudado y putamen), el cual a su vez proyecta vía el tálamo de regreso a la CPF y hacia la corteza motora y pre motora y al colículo superior. Estas eferencias hacia las estructuras motoras proporcionan vías a través de las cuales la CPF puede influir en el inicio y la regulación del movimiento. Por su parte, el área orbitofrontal y medial forman parte de un

círculo fronto estriatal con conexiones extensas y directas hacia la amígdala y el hipotálamo las cuales proporcionan un mecanismo para influir en las funciones autónomas y endócrinas y para regular la conducta emocional (Kerr & Zelazo, 2004).

Neurodesarrollo de la Corteza Prefrontal

Los cambios en la arquitectura del sistema nervioso y en el desarrollo cognitivo ocurren de manera concurrente a través del crecimiento del niño (Diamond, 2002).

La niñez se caracteriza por ser una etapa en la que se advierte un desarrollo acelerado de las funciones ejecutivas, el cual no se considera lineal, sino que atraviesa etapas o períodos de aceleración que estarían asociados a los cambios tanto estructurales como funcionales del sistema nervioso central y de manera más específica, a los de la CPF (Diamond, 2001). Las FE, que soporta la CPF, son las operaciones cognitivas que más tardan en desarrollarse ontogenéticamente. Los lóbulos frontales continúan evolucionando hasta la tercera década de la vida, según lo indicado por el aumento de mielina (aumento de sustancia blanca) y la pérdida de material gris cortical que permiten una comunicación más eficiente entre diferentes áreas del cerebro (Tsujimoto, 2008).

La maduración es el conjunto de cambios dirigidos por procesos genéticos de acuerdo a tiempos específicos, los cuales resultan fundamentales para tener las condiciones necesarias, aunque no suficientes, para un adecuado desarrollo cognitivo (Munakata et al., 2004).

La maduración del sistema nervioso ocurre con la interacción de diversos procesos, algunos de los cuales ocurren antes del nacimiento y otros continúan hasta la edad adulta. Estos procesos siguen un patrón

jerárquico, por lo que primero ocurren en áreas de proyección y posteriormente en las áreas asociativas. De este modo, la corteza prefrontal, junto con la región supralímbica, son las últimas áreas en completar su desarrollo (Lenroot & Giedd, 2006).

Los procesos madurativos que dan forma al sistema nervioso central son de dos tipos: progresivos y regresivos. Como procesos progresivos están la proliferación celular (incremento del número de células), la arborización dendrítica (nacimiento y crecimiento de dendritas) y la mielinización (recubrimiento de los axones de las neuronas con mielina). Los fenómenos regresivos se refieren principalmente a la apoptosis y la poda neuronal (Capilla et al., 2004). Aunque el cerebro humano alcanza el 90% del tamaño adulto a los cinco años, algunos procesos madurativos continúan hasta la edad adulta (Lenroot & Giedd, 2006).

La mielinización permite que los impulsos nerviosos se conduzcan con mayor velocidad, lo que reduce el efecto de la variabilidad de las distancias en diferentes redes, y por ende, facilita el disparo sincronizado de las neuronas (Salami, Itami, Tsumoto, & Kimura, 2003). Este proceso sigue el modelo jerárquico mencionado anteriormente, ocurriendo primero en áreas sensoriomotoras y finalmente en áreas asociativas (Giedd et al., 1999), en la CPF este proceso no se completa sino hasta la tercera década de vida (Sowell, Thompson, Tessner, & Toga, 2001). La mielinización resulta relevante para el desarrollo de las FE ya que dependen tanto de la maduración de la corteza prefrontal, como de la madurez de las conexiones con otras regiones tanto

corticales como subcorticales (Capilla et al., 2004).

Por su parte, el patrón de maduración de la sustancia gris presenta la forma de una U invertida, es decir, el volumen de la sustancia gris frontal aumenta durante la infancia y al llegar a la adolescencia alcanza su nivel máximo (a los 11 años en mujeres y a los 12 años en hombres), declinando a partir de este punto (Lenroot & Giedd, 2006).

La poda sináptica es importante para eliminar las conexiones no funcionales que no se repiten en el niño, el cual tiene más conexiones sinápticas que el adulto. A través de un estudio post mortem se observó que el proceso de poda es continuo desde los 5 hasta los 16 años en la capa III de la corteza prefrontal (Huttenlocher, 1979). También por estudios post mortem se sabe que entre los 2 y los 7 años la densidad neuronal en la capa III de la CPF disminuye de un 55% a un 10% del valor promedio de un adulto. A los 3 años y medio, la densidad sináptica en la CPF alcanza su valor más alto, siendo aproximadamente 50 % mayor que en adultos y un decremento sustancial no ocurre sino hasta la adolescencia media o tardía (Huttenlocher & Dabholkar, 1997).

También se ha mostrado que el metabolismo cerebral local de la glucosa en la CPF aumenta desde el nacimiento alcanzando el valor adulto a los dos años y al llegar a los 3 ó 4 años presenta tasas metabólicas máximas, aproximadamente 2.5 veces superiores a las del cerebro adulto. Este nivel se mantiene hasta los 9 años aproximadamente, cuando empieza a decrecer hasta establecerse en el nivel del adulto durante la segunda década de vida (Tsujimoto, 2008). Se especula que los altos niveles metabólicos se deben al gasto

realizado por las oligodendroglías durante la mielinización, o bien, al gasto energético que conlleva la existencia de una mayor cantidad de sinapsis (Casey, Galvan, & Hare, 2005).

Estos cambios estructurales y funcionales de la CPF, no garantizan por sí solos la aparición y adecuado desarrollo de las funciones cognitivas asociadas a esta región cerebral. El desarrollo de las funciones ejecutivas depende tanto de la maduración a través de procesos biológicos como de la cantidad y calidad de las experiencias de aprendizaje que proporciona el medio ambiente, por lo que se ha postulado que factores tales como los socioculturales pueden influir en su desarrollo (Hackman & Farah, 2008).

Nivel socioeconómico y desarrollo de las funciones ejecutivas

El nivel socioeconómico (NSE) se refiere al conjunto de bienes materiales y características no económicas como el prestigio social y educación, se encuentra asociado al nivel de estrés y calidad de vida, así como a aspectos generales de salud y habilidad cognitiva (Braverman et al., 2005). Dentro del marco de las neurociencias cognitivas se ha abordado el estudio del NSE debido a la asociación entre esta variable y diferencias en los procesos cognitivos y rendimiento académico observables incluso en niños pequeños (Hackman & Farah, 2008).

Dos de los hallazgos más consistentes son las diferencias en el lenguaje y funcionamiento ejecutivo que se han destacado en los estudios realizados con personas de NSE bajo. Por ejemplo, la amplitud del vocabulario de los niños de 3 años de padres profesionistas fue del doble del de los niños cuya familia depende de la

ayuda de programas sociales de beneficencia. Al igual que el vocabulario, el procesamiento fonológico y la sintaxis también muestran diferencias asociadas al NSE (Farah et al., 2006).

Respecto a las FE y su asociación con el NSE se ha observado que los niños pertenecientes a un NSE bajo tienen un menor desempeño en tareas que miden memoria de trabajo y control inhibitorio, así como en el control ejecutivo de la atención (Ardila, Rosselli, Matute, & Guajardo, 2005; Mezzacappa, 2004). La memoria y el procesamiento espacial no han mostrado efectos del NSE excepto cuando se incluyen tareas de recuerdo demorado (Noble, McCandliss, & Farah, 2007).

Estudios electrofisiológicos han identificado patrones de actividad diferente en niños de NSE bajo, como inmadurez en la CPF y una relativa hipo actividad frontal izquierda (Otero, 1997). Los potenciales relacionados a eventos también han mostrado que aún cuando los niños de NSE bajo y medio tienen un desempeño conductual similar en tareas de atención selectiva, hay diferencias en las respuestas electrofisiológicas que indican que los niños de NSE bajo presentan más dificultades para suprimir estímulos irrelevantes (D'Angiulli, Herdman, Stapells, & Hertzman, 2008).

Los estudios de neuroimagen también han aportado resultados que indican que hay una menor especialización del hemisferio izquierdo para el lenguaje, lo cual se refleja en dificultades en tareas de procesamiento fonológico y una tarea de lectura (Noble, Wolmetz, Ochs, Farah, & McCandliss, 2006). Aunque no se encontraron diferencias significativas, un estudio de neuroimagen estructural identificó una tendencia de menor volumen del giro frontal

inferior izquierdo en niños de NSE bajo (Raizada, Richards, Meltzoff, & Kuhl, 2008).

Estos datos muestran que el NSE influye en el grado en que diferentes sistemas neurales son reclutados durante el procesamiento cognitivo y que existen diferencias funcionales e incluso estructurales que se reflejan en el desempeño en diferentes tareas.

Aunque los mecanismos exactos por los que el NSE afecta el desarrollo cognitivo no han sido del todo aclarados, sí resaltan algunas variables como posibles causas de las diferencias observadas. Entre estas variables se encuentran la pobreza, la calidad y cantidad de educación, variables del medio ambiente como la exposición a sustancias tóxicas, estimulación cognoscitiva, nutrición, estilos parentales o estrés crónico. En relación a las diferencias observadas en el funcionamiento ejecutivo, se ha planteado que dado el largo periodo de desarrollo de estas funciones, son particularmente susceptibles a las influencias de estas variables desfavorables (Hackman & Farah, 2008).

Desarrollo de las funciones ejecutivas

Dada la complejidad inherente que implica el concepto de funciones ejecutivas y su desarrollo prolongado, se consideró que en edades tempranas no era posible evaluarlas o que incluso no estarían presentes. No obstante, la literatura existente muestra que es posible identificar el surgimiento y desarrollo de las FE en niños pequeños y aún en bebés (Anderson, 2002) por lo que se han adaptado y creado tareas que incluyen estímulos familiares y que mantienen tanto instrucciones como modalidades de respuesta relativamente simples (Carlson, 2005). A través de estas tareas se ha identificado que las FE

cambian sustancialmente durante la infancia (Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006; Diamond, 2002).

A continuación se hará una breve descripción de las FE que han sido las más estudiadas en niños.

1. *Establecimiento de metas y planeación.* La planeación ha sido definida como la capacidad para llegar a metas u objetivos ya sea en el corto o largo plazo, integrando y secuenciando de manera eficiente una serie de pasos que permitan llegar a la meta deseada (Baker et al., 1996). De acuerdo con Goldberg (2001) el establecimiento de metas es el proceso mental más centrado en el yo, pues se deriva del “yo necesito” por lo que su aparición en la evolución del ser humano debió estar ligada a la emergencia de representaciones mentales del “yo”.

De este modo, alcanzar un objetivo implica no sólo una organización temporal del comportamiento y control de la secuencia adecuada de varias operaciones mentales, sino también el mantenimiento de la representación del objetivo que se pretende lograr y los planes adecuados para hacerlo anticipando necesidades y circunstancias. Estos procesos han sido relacionados con la actividad de la corteza prefrontal dorsolateral (Baker et al., 1996).

Los niños de entre 4 y 8 años, mejoran disminuyen progresivamente el número de movimientos que deben realizar para completar tareas como la Torre de Londres o la Torre de Hanoi (Atance & Jackson, 2009; Luciana & Nelson, 1998). Gracias al incremento en la capacidad de formar representaciones mentales y su manipulación, los niños en este periodo pueden adquirir otras habilidades más complejas como secuenciar y organizar sus conductas para lograr metas y objetivos a

corto y largo plazo (Diamond, 2002).

2. *Memoria de trabajo u operativa.* En múltiples situaciones de la vida cotidiana tenemos la necesidad de recordar algo con el fin de resolver un problema. En tales situaciones, nuestro cerebro debe seleccionar qué tipo de información es relevante y evocarla, ignorando todo el cúmulo de información que hemos almacenado pero que no nos sirve en ese momento. Adicionalmente, conforme la tarea avanza el cerebro debe de hacer cambios pertinentes, como dejar ir el recuerdo que hacía un momento era importante y evocar otro tipo de información. A dicho proceso de selección de recuerdos relevantes en una situación determinada se le denomina “memoria de trabajo” (Goldberg, 2001).

Baddeley (2003) la define como un sistema para mantener temporalmente y de forma activa una capacidad limitada de información para lograr metas inmediatas o a corto plazo. Este sistema está formado por un ejecutivo central el cual coordina las actividades de dos sistemas esclavos: el bucle fonológico, el cual se encarga de mantener en línea información de tipo verbal a través de la repetición articuladora; y el boceto visoespacial que procesa información de tipo viso espacial. El ejecutivo central se encarga además, de asignar los recursos atencionales cuando se realizan dos o más tareas simultáneas y de acceder a información almacenada en la memoria a largo plazo y seleccionar las estrategias adecuadas de evocación. Estas funciones del ejecutivo central se han relacionado con la actividad de la CPF, mientras que el bucle fonológico estaría relacionado con áreas temporales y parietales izquierdas y el boceto viso espacial con áreas homólogas derechas.

Diversos estudios han puesto en evidencia el gran progreso de esta capacidad durante la infancia y su impacto en otras áreas del desarrollo cognoscitivo (Baddeley, 2003; Carlson, 2005). Luciana y Nelson (1998) evaluaron a niños de 4 a 8 años (n=181) y a un pequeño grupo de adultos (n=24) con una versión computarizada de los *Cubos de Corsi*, en la que los participantes deben señalar en orden inverso al indicado una serie de cubos. Observaron un efecto de la edad y una interacción de la edad con el sexo ya que mientras los niños mantuvieron un lapso mayor de memoria visual a los 4, 6 y 7 años, las niñas tuvieron una mejor ejecución a los 5 y a los 8 años. Carlson evaluó a niños de 3, 4 y 5 años en la tarea de *Dígitos en Regresión*: sólo el 9 % de los niños de 3 años podían repetir tres dígitos de modo inverso, porcentaje que ascendió a 37 para los niños de 4 años y a 69 para los de cinco.

Estos datos indican que durante la infancia existe una mejora importante en la capacidad de memoria de trabajo tanto en la modalidad visoespacial como auditivo verbal, que se extiende incluso más allá de los 6 y 7 años por lo que su desarrollo es más tardío que otros procesos tales como el control inhibitorio, con el cual se encuentra relacionado (Lieberman, Giesbrecht, & Muller, 2007).

3. *Flexibilidad.* Nuestro entorno cambia constantemente y nuestros esquemas mentales deben ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a los cambios de cierto contexto. La flexibilidad cognitiva se refiere a la habilidad de cambiar entre sets de respuestas, aprender de los errores, cambiar a estrategias más efectivas y dividir la atención. Los déficits en este dominio incluirían las respuestas perseverativas (Anderson, 2002). De acuerdo a estudios

de neuroimagen, se ha encontrado que el giro frontal medial se activa de manera selectiva ante tareas que involucran este proceso (Konishi et al., 2002). El éxito de los niños en tareas de flexibilidad depende en gran medida de la cantidad de dimensiones (color, forma, número) que contengan los estímulos que deban atender y el número de cambios que deban hacer entre tales dimensiones (Perner & Lang, 2002).

De los 3 a los 5 años los niños manifiestan una importante mejoría en actividades de cambio de tareas en las que se requiere un mantenimiento activo de la información e inhibición. Se ha sugerido que tal ejecución involucra en gran medida el funcionamiento de la corteza prefrontal dorsolateral sólo cuando el cambio de tarea implica el cambio del foco atencional a una dimensión diferente pues esto implica el procesamiento de información novedosa y por lo tanto mayor concentración (Diamond, 2002). Estos cambios tienen implicaciones significativas en la conducta del niño ya que le permiten formular y usar juegos de reglas más complejos para regular su conducta (Zelazo, 1996).

4. *Control inhibitorio*. Esta función alude a nuestra capacidad de inhibir y controlar respuestas afectivas, cognitivas y conductuales. Por tanto, no constituye un constructo unitario. Así, podemos distinguir entre *la inhibición en la atención*, que se refiere tanto a la atención selectiva como al cambio en el foco atencional, y *la inhibición de la acción* que comprende por un lado la inhibición de una conducta y, por el otro, el cambio de un patrón de respuesta dominante a otro (Capilla et al., 2004).

La habilidad para mantener el foco de nuestra atención en un punto, nos permite la concentración en determinada actividad

inhibiendo las señales que proceden de otras fuentes de información, es decir, evitando la distracción. Mientras que la inhibición de conductas dominantes a favor de otras que no lo son requiere un cambio del set cognitivo.

Esta capacidad de control inhibitorio se ha asociado con el funcionamiento de la corteza prefrontal medial, en especial el giro cingular anterior y la COF (Shimamura, 2000) y se da en virtud de las eferencias que tienen estas regiones de la CPF con otras regiones posteriores y subcorticales para dar prioridad a cierta información o representación relevante en un momento dado.

En una tarea tipo Stroop adaptada para niños preescolares, se ha encontrado que los niños entre 3½ a 4½ años presentan dificultades para guiar sus acciones inhibiendo la respuesta dominante. El desempeño mejora conforme la edad, y los niños de 6 años prácticamente no presentan dificultades para realizarla (Diamond, 2002; Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994).

Otros estudios que han utilizado tareas que implican la capacidad de demorar una conducta con carga afectiva, por ejemplo, ignorar una recompensa pequeña inmediata a favor de una más grande pero lejana en el tiempo o evitar mirar una recompensa deseada, mostraron que los participantes de 3 años, a diferencia de los de 4 años, tuvieron dificultades para inhibir su deseo de obtener recompensas inmediatas (Carlson, 2005).

Estos hallazgos indican que la edades entre los 3 y los 4 años existe un progreso del proceso inhibitorio tanto de respuestas dominantes cognitivas y motoras, como de respuestas de espera con contenido motivacional, y que en niños mayores de 4

años, prácticamente se encuentran establecidas estas habilidades, por lo que se ha considerado que el control inhibitorio puede ser un proceso que permite el desarrollo adecuado de otras FE (Barkley, 1997).

4. *Procesamiento riesgo beneficio*. Muchas de las preguntas que nos planteamos día a día no tienen una respuesta simple que pueda formularse de manera absoluta. Resulta evidente que constantemente tenemos que hacer valoraciones sobre la presencia y probabilidad de ocurrencia de riesgos, beneficios y desventajas que conlleva la realización de un acto. Todos estos juicios involucran una carga afectiva que hemos adquirido en base a experiencias propias o ajenas, y por ende, somos capaces de hacer en cierta medida una anticipación de lo que sucedería en una u otra situación (Goldberg, 2001).

La COF juega un papel importante en este proceso ya que ha sido relacionada con los aspectos, emocionales y motivacionales del comportamiento. Esta región de la corteza prefrontal, participa en la detección de los cambios en las contingencias de reforzamiento y de este modo, se modifican los planes de acción necesarios para adecuarse a los cambios del contexto de acuerdo a la relevancia afectiva de los reforzadores involucrados (Zelazo & Müller, 2002).

Uno de los paradigmas más utilizados para evaluar la percepción costo-beneficio en adultos y que ha resultado sensible para detectar disfunciones en la zona orbitofrontal, es la tarea de *Cartas de Iowa*. Kerr y Zelazo (2004) adaptaron esta prueba para niños en edad preescolar y encontraron que los niños de 4 años hacían más elecciones ventajosas que los niños de 3 años y observaron que la diferencia entre

ambos grupos de edad era significativa. Además, los niños de 4 años mostraron un aumento en su elección de cartas ventajosas conforme iba avanzando la prueba. Por su parte, Garon y Moore (2004) mostraron que en niños de 3 a 6 años, no hubo un efecto de la edad sobre la elección de las cartas ventajosas pero sí hubo un efecto de este factor sobre la conciencia de los niños sobre cuáles eran las mejores cartas, mostrando que los tres grupos diferían al respecto, teniendo una mayor conciencia los niños más grandes.

Estos datos indican que los niños pequeños aún no han desarrollado el proceso de toma de decisiones a partir de la percepción costo-beneficio y que incluso en los niños mayores hay una falla en el desempeño durante la tarea al elegir más cartas desventajosas aún cuando pueden reportar verbalmente qué cartas les daban más recompensas a largo plazo.

Conclusiones

Históricamente se había considerado que durante la infancia los lóbulos frontales se mantenían silentes. Pero el hecho de que la corteza prefrontal sea una de las regiones que tardan más en madurar no implica que el desarrollo en estadios tempranos no sea significativo, por el contrario, la evidencia sugiere que los procesos ocurridos en la infancia temprana respecto al desarrollo neuronal y funcional de la corteza prefrontal son muy relevantes (Diamond, 2002).

Actualmente dentro del campo de la neuropsicología se reconoce la importancia de los lóbulos frontales y las FE. Estas funciones son las operaciones cognitivas que tardan más tiempo en desarrollarse ontogenéticamente y en los últimos años ha existido un gran avance en el conocimiento

acerca de su surgimiento y refinamiento en niños pequeños.

La niñez es una etapa de transición ya los cambios en las capacidades de lenguaje, pensamiento simbólico y auto conocimiento permiten el desarrollo de una conducta regulada y dirigida a metas (Carlson, 2005; Espy, Kaufmann, McDiarmid, & Glisky, 1999), además de ser una etapa que se caracteriza por una gran plasticidad cerebral (Munakata et al., 2004), lo que la hace relevante para el estudio del surgimiento de diferentes procesos considerados como FE.

En general, estos datos muestran que el desarrollo de las FE en los niños no es necesariamente lineal y pueden darse en brotes durante ciertos periodos. Tales cambios estarían estrechamente relacionados con la maduración progresiva de regiones cerebrales anteriores, posteriores y subcorticales, así como con el refinamiento de conexiones en la región prefrontal y las conexiones entre esta corteza y áreas motoras, sensoriales y de asociación (Durstun & Casey, 2006).

El contar con una perspectiva amplia sobre las características neuropsicológicas de las FE así como de los factores que pueden favorecer o limitar su desarrollo, permitirá no sólo identificar la secuencia de desarrollo normal de estas funciones sino también la creación de instrumentos adecuados para su evaluación así como de técnicas de diagnóstico temprano que permitan la implementación de intervenciones oportunas durante esta etapa.

Referencias

Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, 8(2), 71-82.

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

Atance, C., & Jackson., L. (2009) The development and coherence of future-oriented behaviors during the preschool year. *Journal of Experimental Child Psychology*, 4, 379-391.

Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews: Neuroscience*, 4, 829-839.

Baker, S. C., Rogers, R. D., Owen, A. M., Frith, C. D., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S., & Robbins, T.W. (1996). Neural systems engaged by planning: A PET study of the Tower of London task. *Neuropsychologia*, 34(6), 515-526.

Barkley, R. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.

Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10, 295-307.

Braveman, P. A., Cubbin, C., Egerter, S., Chideya, S., Marchi, K.S., Metzler, M., & Posner, S. (2005). Socioeconomic status in health research: One size does not fit all.

Journal of American Medical Association, 294, 2879-2888.

Capilla, A., Romero, D., Maestú, M., Campo, P., Fernández, S., González-Marqués, J., et al. (2004). Emergencia y desarrollo cerebral de las funciones ejecutivas. *Actas Españolas de Psiquiatría*, 32, 377-386.

Carlson, S. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28, 595-616.

Casey, B. J., Galvan, A., & Hare, T. A. (2005). Changes in cerebral functional organization during cognitive development. *Current Opinion in Neurobiology*, 15, 239-244.

Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., & Giedd, J. N., (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go/no-go task. *Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.

D'Angiulli, A., Herdman, A., Stapells, D., & Hertzman, C. (2008). Children's event-related potentials of auditory selective attention vary with their socioeconomic status. *Neuropsychology*, 22, 293-300.

Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition and task switching. *Neuropsychologia*, 44, 2037-2087.

Diamond, A. (2001). A model system for studying the role of dopamine in prefrontal

cortex during early development in humans. En C. Nelson, & M. Luciana (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (pp. 433-472). Cambridge, EE.UU.: MIT Press.

Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. En D. T. Stuss, & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). Londres, UK: Oxford University Press.

Durston, S., & Casey, B. J. (2006). What have we learned about cognitive development from neuroimaging? *Neuropsychologia*, 44, 2149-2157.

Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D., & Glisky, M. L. (1999). Executive functioning in preschool children: Performance on A-not-B and other delayed response formats. *Brain and Cognition*, 41, 178-199.

Farah, M. J., Shera, D. M., Savage, J. H., Betancourt, L., Giannetta, J. M., Brodsky, N. L., et al. (2006). Childhood poverty: Specific associations with neurocognitive development. *Brain Research*, 1110, 166-174.

Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocology*, 31, 373-385.

Garon, N., & Moore, C. (2004). Complex decision-making in early childhood. *Brain and Cognition*, 55, 158-170.

Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3 1/2-7

years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.

Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., & Zijdenbos, A., (1999). Brain development during childhood and adolescence: A longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.

Gioia, G. A., Isquith, P. K., & Guy, S. C. (2001). Assessment of executive function in children with neurological impairments. En R. Simeonsson, & S. Rosenthal (Eds.), *Psychological and Developmental Assessment* (pp. 317–356). Nueva York, NY, EE. UU.: The Guilford Press.

Goldberg, E. (2001). *The executive brain, frontal lobes and the civilized mind*. Nueva York, EE.UU.: Oxford University Press.

Hackman, D. A., & Farah, M.J. (2008). Socioeconomic status and the developing brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 65-73.

Hoshi, E., & Tanji, J. (2004). Area-selective neuronal activity in the dorsolateral prefrontal cortex for information retrieval and action planning. *Journal of Neurophysiology*, 91, 2707-2722.

Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes and effects of aging. *Brain Research*, 163(2), 195-205.

Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 387, 167-178.

Kerr, A., & Zelazo, P. D. (2004). Development of “Hot” executive function: The children's gambling task. *Brain and Cognition*, 55, 148-157.

Konishi, S., Hayashi, T., Uchida, I., Kikyo, H., Takahashi, E., & Miyashita, Y. (2002). Hemispheric asymmetry in human lateral prefrontal cortex during cognitive set shifting. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(11), 7803-7808.

Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 30, 718-729.

Liebermann, D., Giesbrecht, G. F., & Muller, U. (2007). Cognitive and emotional aspects of self-regulation in preschoolers. *Cognitive Development*, 22(4), 511-529.

Luciana, M., & Nelson, C. A. (1998). The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four to eight year old children. *Neuropsychologia*, 36(3), 273-293.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.

Munakata, Y., Casey, B. J., & Diamond, A. (2004). Developmental cognitive neuroscience: Progress and potential, *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 122-128.

Mezzacappa, E. (2004). Alerting, orienting, and executive attention: developmental properties and sociodemographic correlates

in an epidemiological sample of young, urban children. *Children Development*, 75, 1373-1386.

Noble, K. G., Wolmetz, M. E., Ochs, L. G., Farah, M. J, & McCandliss, B. D. (2006). Brain-behavior relationships in reading acquisition are modulated by socioeconomic factors. *Developmental Science*, 9, 642-654.

Noble, K. G., McCandliss, B. D., & Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental Science*, 10, 464-480.

Otero, G. A. (1997). Poverty, cultural disadvantage and brain development: A study of pre-school children in Mexico. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 512-516.

Perner, J., & Lang, B. (2002). What causes 3-year-olds' difficulty on the dimensional change card sorting task? *Infant and Child Development*, 11, 93-105.

Raizada, R. D., Richards, T. L., Meltzoff, A., & Kuhl, P. K. (2008). Socioeconomic status predicts hemispheric specialisation of the left inferior frontal gyrus in young children. *Neuroimage*, 40, 1392-1401.

Salami, M., Itami, C., Tsumoto, T., & Kimura, F. (2003) Change of conduction velocity by regional myelination yields constant latency irrespective of distance between thalamus and cortex. *Proceedings*

of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100, 6174-6179.

Shimamura, A. P. (2000). Toward a cognitive neuroscience of metacognition. *Consciousness and Cognition*, 9, 313-323.

Sowell, E. R., Thompson, P. M., Tessner K. D., & Toga, A. W. (2001). Mapping continued brain growth and gray matter density reductions in dorsal frontal cortex: Inverse relationships during post adolescent brain maturation. *Journal of Neuroscience*, 21, 8819-8829.

Stuss, D. T., & Alexander, M. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63, 289-298.

Stuss, D. T., & Levine, B. (2000). Adult clinical neuropsychology, lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*, 53, 401-403.

Tsujimoto, S., (2008). The prefrontal cortex: Functional neural development during early childhood. *The Neuroscientist*, 14, 345-358.

Zelazo, P. D. (1996) The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1, 297-301.

Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. En U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 445-469). Oxford: Blackwell.