

Filogenia y desarrollo de funciones ejecutivas*

Phylogeny and executive functions development

Recibido: 4 de noviembre de 2016/Aceptado: 2 de marzo de 2017
<http://doi.org/10.17081/psico.20.38.2557>

Diego Alejandro Calle Sandoval¹

Universidad de San Buenaventura Medellín, Extensión Armenia, Colombia

Palabras clave:

Filogenia, Corteza prefrontal y Funciones ejecutivas.

Key words:

Phylogeny, Prefrontal cortex and Executive functions.

Resumen

El presente documento reflexiona acerca del valor filogenético que tiene para la especie humana el desarrollo de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas. Dicho análisis parte de la revisión de estudios empíricos sobre la génesis de estas en la infancia y la patología de las mismas durante el desarrollo, así como de las evidencias etológicas y paleoantropológicas del proceso de hominización. Igualmente, se discute en el artículo la forma como estas funciones neuropsicológicas le permiten al *homo sapiens* compensar su carácter biológico de inmadurez y falta de especialidades anatómicas.

Abstract

This paper aims to reflect on the phylogenetic value that the development of the pre-frontal cortex and its executive functions represent for human beings. This analysis is based on the review of empirical studies related to genesis and pathology during childhood, as well as ethological evidence and the process of paleo-anthropological hominization. This paper also analyzes the way these neuropsychological functions allow *Homo sapiens* to compensate for their biological character of immaturity and lack of anatomical specialties. .



Referencia de este artículo (APA):

Calle, D. (2017). Filogenia y desarrollo de funciones ejecutivas. *Psicogente*, 20(38), 368-381. <http://doi.org/10.17081/psico.20.38.2557>

* Parte de la investigación "Desarrollo neuropsicológico de las funciones ejecutivas en niños de 4 y 5 años víctimas de la violencia en el Quindío".

1. Doctor en Psicología con orientación en Neurociencias Cognitivas, Docente investigador, Facultad de Psicología USB Medellín. Email: diego.calle@tau.usbmed.edu.co. <http://orcid.org/0000-0002-4917-5819>

Introducción

La etología, el neodarwinismo y las Neurociencias Cognitivas de las últimas décadas han permitido zanjar la antigua división filosófica entre lo natural y lo social cultural (Calle, 2012). Desde esta perspectiva, el presente documento intenta trazar una línea continua que explique las ventajas evolutivas de las funciones ejecutivas en el desarrollo cerebral de la especie humana. Inicialmente, se expondrá el valor filogenético de las funciones ejecutivas y su sustrato anatómico, la corteza prefrontal. Luego se presentarán evidencias sobre la importancia del desarrollo de estas funciones y su evolución durante el proceso de hominización desde hallazgos neuropsicológicos y etológicos.

Evolución cerebral y hominización

Los primates sobresalen por su nivel de cognición e índice de encefalización. Ello se relaciona con una aumentada neotenia la cual exige la consolidación de un vínculo social fuerte entre la madre y la cría (Gould, 1981; Gehlen, 1980; Arsuaga y Martínez, 2004). Dicha unión se diversifica con el contacto social entre miembros de su grupo. Así como sucede en otras especies de primates, los humanos desarrollan a lo largo de la vida capacidades políticas y sociales diversas: relaciones de parentesco, jerarquías, alta capacidad de empatía que nos permite llegar a comprender el mundo interno de los demás, podemos resolver problemas, planificar, organizar y tomar decisiones (Calle, 2014). Estudios con chimpancés demuestran que estos son capaces de simular y engañar a la vez de cooperar, consolar y apaciguar (De Waal, 2007). Además, emplean herramientas y llamados de alarma con un contenido semántico determinado. Evidencia de lo anterior es el aprendizaje de signos y símbolos por observación e instrucción (Álvarez-Munárriz,

2005; De Waal, 2007; Churchland, 2010). En Japón, un grupo de etólogos registró la conducta de crianza y amamantamiento en macacos por parte de las abuelas maternas, luego de la muerte de las madres biológicas (Mazayuki, Kenji & Kazumori, 2009). Todo lo anterior significa que el rasgo neoténico o inmadurez aumentada y enlentecimiento del desarrollo es más evidente en los primates. Una característica de estos es la salida de los tres molares de dentición definitiva. La emergencia del primer molar es evidencia de la primera infancia o etapa de construcción del apego caracterizada por la lactancia (Cyrulnik, 2005). La segunda dentición definitiva coincide con la llegada de la pubescencia. Por su parte, la tercera muela definitiva (cordal) aparece en la mayoría de los primates con el final del desarrollo y el inicio de la adultez (Arsuaga y Martínez, 2004). Aunque las tres grandes etapas del desarrollo son en esencia las mismas en todos los primates, la duración de cada una de ellas varía de una especie a otra. En los humanos la evolución molar se extiende a lo largo de casi veinte años, casi el doble de otros grandes antropomorfos. Tal es el caso del chimpancé. En este, el primer cambio aparece a los tres años de vida, mientras que en nosotros es luego de los seis; la segunda dentición aparece en los simios a los seis, en los humanos luego de los once y, finalmente, la última muela surge a los once y medio en el primero, mientras que en los seres humanos aparece luego de los dieciocho años. Por tanto, es probable que el nivel de neotenia alcanzado por la especie humana sea superior al de sus antepasados, más si se tiene en cuenta que el período de desarrollo en esas especies nunca alcanzó los niveles de retardación de nuestra especie (Wilson, 2012). Dicho fenómeno coincide con el nivel de pensamiento abstracto propio de nuestra especie y con la dependencia por establecer vínculos afectivos y relaciones sociales (Calle, 2012).

La anterior hipótesis sobre la retardación biológica y la neotenia de nuestra especie, se relaciona de manera estrecha con los hallazgos anatómicos y fisiológicos de la corteza prefrontal en las últimas décadas.

La corteza prefrontal comprende las regiones anteriores de la corteza motora y pre-motora, ocupando así un importante volumen del tamaño total del cerebro. Estas áreas poseen múltiples conexiones con las demás estructuras, por ello se le considera una zona de integración y planificación (Fuster, 2008). Al respecto, Arteaga, Pimienta y Escobar (2004) consideran que el lóbulo frontal se divide en región pre-central, pre-motora y corteza prefrontal. Esta a su vez había sido dividida por Pribram y Luria (1973), de acuerdo a las proyecciones talámicas que recibe, en: región dorsolateral, región medial y región orbital. Desde el punto de vista celular dichas regiones están compuestas de unidades granulares y piramidales, en especial en las porciones ventral-orbital (Miller & Cohen, 2001). Fuster (2008) le otorga al prefrontal la función de integración de la conducta dadas sus múltiples conexiones con las áreas sensitivas, motoras anteriores, límbicas, talámicas y del tallo cerebral; es decir, que integra a la corteza anterior con la posterior. Un ejemplo es la acción conjugada del dorsolateral prefrontal y el parietal en la integración temporal de la conducta viso-espacial (Calle, 2015).

Filogenéticamente, la corteza prefrontal aumenta en densidad y tamaño en los primates, siendo el índice más elevado el del chimpancé: 17 % del cerebro total y 29 % del humano (Fuster, 2008). Pandya & Barnes (1987) consideran que las regiones prefrontales poseen un origen dual proveniente de dos trenes evolutivos. Por un lado, la porción dorsal procede del desarrollo de la arquicorteza, en especial de la formación hipocampal y el giro cíngulo; por otro lado, la región ventral pro-

viene de la paleocorteza, en especial de adentro o cerca de la corteza olfatoria y la región insular. Este origen constituye lo que actualmente se conoce como región orbital, medial y ventral del prefrontal. En este sentido, Koechlin, Corrado, Pietrini & Grafman (2000) y Ardila (2012) afirman que la parte medial es filogenética y ontogenéticamente más antigua que la dorsal. Por tanto, es plausible sugerir que la capacidad de predecir eventos y el aprendizaje procedimental secuencial aparece en el desarrollo antes que la habilidad para el análisis de contingencias que implican la respuesta voluntaria. Lo anterior se vincula con los descubrimientos de la neurohistología y sus procesos casi paralelos de proliferación, migración, crecimiento y diferenciación celular durante la gestación, en donde las áreas más tardías en términos evolutivos, como la porción prefrontal, son las menos desarrolladas al nacer (Grañana, 2014). Igualmente, la mielinización, que es muy baja al nacimiento, se va dando de manera paulatina por etapas en la evolución de los niños (Fuster, 2008). Dichos períodos demuestran como áreas tardías por mielinizar las regiones prefrontales, lo cual las relaciona con los procesos cognitivos más complejos como las funciones ejecutivas (Calle y Grañana, 2015).

Miller y Cohen (2001), en su teoría integrada de la función prefrontal, proponen la capacidad de contextualización de la respuesta como una función de dicha corteza, al igual que el mantenimiento de la actividad encaminada hacia una meta preestablecida en medio de eventos y estímulos distractores. En este sentido, la anticipación cognitiva o predicción de la respuesta constituye una función básica del prefrontal humano y un éxito evolutivo gracias a la capacidad de anticipación (Llinas, 2002). De esta manera, la corteza prefrontal evolucionó para ser el centro integrador y regulador de los procesos sensoriales, motrices y emocionales, es decir, que no

solo integra, sino que direcciona los procesos a partir de su influencia en términos temporales como la función planificación. En este sentido, sus tres porciones participan de manera integrada en el control ejecutivo de la respuesta social, en la resolución de problemas y la toma de decisiones.

Evidencia clínica de las funciones ejecutivas

Tirapu (2011) afirma que las funciones ejecutivas incluyen varios procesos cognitivos como anticipación, selección de metas, planificación, monitoreo, autorregulación y toma de decisiones. Por su parte, Sánchez-Carpintero y Narbona (2004) mencionan que las funciones ejecutivas intervienen cuando la acción se encuentra dirigida hacia una meta predeterminada. Esta intervención se da con un gradiente temporal entre la iniciación de la acción y el análisis de las consecuencias. Por tanto, estas funciones neuropsicológicas se vinculan estrechamente con la capacidad de control voluntario del comportamiento, la emoción y el pensamiento (Flórez y Ostrosky, 2012).

Al respecto Schoenbaum & Setlow (2001) resaltan el pobre desempeño de pacientes con lesión orbitomedial en pruebas que requieren una decisión en situaciones sociales, de familiaridad y supervivencia; en contraste con su buen rendimiento ante tareas que implican decisiones sin componente emocional. Dicha dificultad confirma que el funcionamiento de la corteza prefrontal orbital corresponde a las significaciones y representaciones subjetivas que tienen que ver con la carga valorativa emocional, producto de la conexión entre esta y la porción basolateral de la amígdala. Bechara, Damasio & Damasio (2000) proponen que el proceso de toma de decisiones está influenciado por señales originadas en procesos biorreguladores que incluyen la represen-

tación y expresión de emociones. Los autores afirman que la corteza orbitofrontal es una zona neural crítica en la toma de decisiones. No obstante, resaltan que el accionar de dicha área está mediado a su vez por gran cantidad de conexiones con estructuras somato-sensoriales, la ínsula y la amígdala. Otros investigadores, Coombes, Corcos, Pavuluri & Villancourt (2011), sometieron a 15 sujetos a estímulos visuales con escenas cargadas de componentes emocionales y otras sin dicha variable. Registraron sus respuestas con videos y pruebas de imaginación cerebral. Los hallazgos confirman lo revisado en la última década sobre la activación de los circuitos que unen la región límbica, la corteza cingulada y las regiones prefrontal medial y motor suplementario de la zona anterior de la corteza cerebral. Lo anterior indica que la región ventromedial participa también en procesos de toma de decisiones que requieren un componente emocional y motivacional como las conductas sociales. Prueba de ello son las patologías sociopáticas en las que se observan defectos en la maduración de dicha región prefrontal. Damasio (2011) contempla tres razones por las cuales un paciente con síndrome ventromedial falla en la toma de decisiones: primero, la hipersensibilidad a la recompensa; segundo, la insensibilidad al castigo, ya que no considera las consecuencias negativas de la elección; y tercero, la no estimación de los efectos futuros que pueden acarrear las decisiones inadecuadas.

Tonks, Williams, Frampton, Yates & Slater (2007) hallaron evidencia de patología en el reconocimiento e interpretación de las emociones en niños con lesión prefrontal. La muestra estuvo constituida por 13 menores entre 9 y 17 años. Al compararlos con un grupo sin lesión cerebral, se notó una disminución en la capacidad de controlar impulsos y de reconocer las emociones de los demás ante pruebas de falsas creencias y reconocimiento de miradas, hecho que fortalece el nexo

entre corteza prefrontal y función ejecutiva. Al respecto, Perner, Lang & Kloo (2002) hallaron las probables relaciones entre el desarrollo de la teoría de la mente y el control ejecutivo en la primera infancia. En general, se ha especulado si la teoría de la mente (TOM) es precursora del control ejecutivo o si es a la inversa. Los estudios con menores de cinco años señalan interdependencia simultánea en el que ambos se desarrollan en el pequeño (Calle y Grañana, 2015). A nivel clínico, entonces, la empatía, la conducta antisocial y los trastornos del Espectro Autista vinculan la región prefrontal, en especial la orbitofrontal, con la toma de decisiones y la cognición social en niños y adolescentes (Spencer *et al.*, 2012; Grañana, 2014). En otras etapas del desarrollo como la adultez se han reportado ya resultados semejantes en los que las pruebas de imagen cerebral vinculan la reducción de la región ventromedial y orbital ante situaciones que requieren de la teoría de la mente como estrategia de respuesta en sujetos adultos diagnosticados con desorden del espectro autista (Schulte-Rüther *et al.*, 2011).

Ante variables sociales, existen evidencias de una estrecha relación entre el ambiente y el desarrollo neuropsicológico de la corteza prefrontal y la función ejecutiva. Arnsten (1999) describe como desde los 4 años los niños responden a las primeras experiencias escolares con un aumento de los niveles de cortisol ante la separación de los padres. No obstante, estos disminuyen al paso de los días. Cuando perduran más de lo debido, los altos niveles de catecolaminas en la corteza afectan el óptimo funcionamiento de las estructuras prefrontales, hecho que redundará en dificultades de conducta como la impulsividad y dificultades de aprendizaje (Labín, Tabor-da & Brenella, 2015).

Ramírez-Giraldo y Arroyo (2014) caracterizaron las alteraciones neuropsicológicas en adolescentes infrac-

tores institucionalizados en un programa del Sistema de Responsabilidad Penal para Adolescentes de Sincelejo, Colombia. Los menores, cuyas edades oscilaban entre los 12 y 17 años, fueron valorados por un protocolo de Neurociencias estandarizado en población colombiana que mide diversas funciones cognitivas. Los resultados indicaron que estos menores poseen déficit leve en procesos como velocidad del procesamiento de información, procesos viso-perceptivos, atención dirigida, dividida y lento aprendizaje. Por otro lado, no mostraron alteraciones significativas en memoria, función ejecutiva y fluidez verbal. De igual forma, tampoco se observaron características predominantes hacia el consumo de drogas y alcohol, pero sí mostraron porcentajes significativos hacia la deserción escolar y el ocio.

Es claro, entonces, que el neurodesarrollo de la corteza prefrontal se vincula directamente con la aparición y maduración de las funciones ejecutivas (Calle, 2016). Incluso a nivel del desarrollo cognitivo general, existen evidencias que vinculan las funciones ejecutivas con la epigénesis de dichas capacidades. Aponte y Zapata (2013) caracterizaron las funciones cognitivas en 70 niños con trastornos específicos del aprendizaje en la ciudad de Cali. A través de instrumentos como el WISC IV, la ENI se pudo determinar que en efecto el desempeño en dominios de tareas ejecutivas como la memoria de trabajo, la flexibilidad, el control inhibitorio y habilidades como la planificación se hallaron disminuidas, en especial en los casos cuyo déficit en el cálculo o la escritura es acompañada de dificultades en la resolución de problemas y en la conducta social.

Por su parte, Areny-Balagueró, García-Molina, Roig-Rovira, Tormos y Jodar-Vicente (2015) compararon el rendimiento ejecutivo de 73 pacientes con lesión frontal y 30 de grupo control. Emplearon el componen-

te de letras y números del WAIS, el test de tarjetas de Winsconsin, el Trail Making test B y el Ballon Analog Risk Task (BART), que mide toma de decisiones al analizar la toma de riesgos al escoger la opción más favorable. Los resultados demostraron diferencias significativas de desempeño superior en el grupo control en flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, memoria de trabajo, planificación y toma de decisiones. Igualmente, los autores revisaron la correlación entre varias de las pruebas y sus puntajes, hallando relaciones positivas entre las tareas ejecutivas como la flexibilidad, control inhibitorio y toma de decisiones.

Un modelo de estimulación para funciones ejecutivas en infantes, exitoso por la incorporación de un marco vigotskiano, es “Tools of the Mind”, desarrollado por Diamond (2006). Dicho programa facilita el nacimiento de las primeras funciones ejecutivas, control inhibitorio, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva; en preescolares a partir del aprovechamiento de la maduración de la región dorsolateral prefrontal en un contexto social sano estimulante. Evidencia de lo anterior se encuentra con Ramírez-Giraldo y Arroyo (2014) quienes elaboraron el perfil neuropsicológico de menores infractores en Sincelejo, Colombia. Los resultados indicaron una alta correlación entre las funciones iniciales y el control voluntario del comportamiento.

Génesis de las funciones ejecutivas

García Molina, Enseñatt Cantallops y Tirapu Usarrotz (2009) afirman que en bebés la capacidad de inhibir una actividad placentera para atender a su cuidador aparece al cabo de los ocho meses de vida. Dicho porcentaje sube a 78 y 90 % al llegar a los 24 meses. Sin embargo, es evidente que con la maduración van apareciendo funciones ejecutivas más elaboradas entre la primera y segunda infancia.

En general, se consideran dos etapas. La primera se da en los tres primeros años, en los que emergen las capacidades básicas tales como: el control inhibitorio en el primer año; más capacidad de mantenimiento de la información, en el segundo año, y control cognitivo de la conducta propia en el tercer año. Durante la segunda, de los tres a los cinco años, aumenta la autorregulación de la conducta ante los cambios del entorno. Al respecto, Diamond (2006) afirma que los niños de cinco años ya han desarrollado parcialmente tres componentes esenciales de las funciones ejecutivas: memoria de trabajo, inhibición y flexibilidad cognitiva. Luego continúa el desarrollo de la región supra límbica y la corteza prefrontal a través del aumento de la sustancia blanca y reducción de la gris hasta casi la tercera década de la vida. Desde esta explicación, se han reportado dos formas del proceso madurativo de la corteza prefrontal: los progresivos y los regresivos. Los primeros hacen referencia a la proliferación celular, el crecimiento de los conos dendríticos y la mielinización. Los regresivos son la pérdida neuronal o apoptosis que se acentúa en la primera infancia, llevando al cerebro a un desarrollo del 90 % a los cinco años (Lenroot & Giedd, 2006). La sustancia gris aumenta desde el nacimiento hasta los doce años en promedio. Entre los 5 y 11 años las láminas más gruesas (entre 4 y 5 mm) son las parietales y la región dorsolateral prefrontal. Respecto a la sustancia blanca, esta no posee un patrón uniforme de crecimiento, sin embargo se evidencia más desarrollo a nivel prefrontal en la zona dorsal que la orbital. El incremento de esta se relaciona con la mielinización de las vías corticotalámicas de la corteza prefrontal. Este proceso, que se extiende hasta finales de la segunda década de la vida, tiene un sentido proximal primero y luego distal en el sistema nervioso central, a diferencia del periférico que es distal al inicio y luego proximal. De manera más precisa, la mielinización de la región orbital finaliza mucho antes que la dorsola-

teral, haciendo evidente que ambas poseen raíces filogenéticas y funcionales distintas (Fuster, 2008; Flores y Ostrosky, 2012; Calle y Grañana, 2015).

A nivel celular, la densidad neuronal que disminuye en el proceso de apoptosis demuestra un incremento sustancial en la longitud de axones y dendritas en las neuronas de las láminas 3 y 4 a los 24 meses, hecho que se relaciona con la integración inter hemisférica. A partir de ahí y hasta los 7 años, se observa una reducción significativa de la densidad neuronal acompañada de un incremento significativo de la arborización dendrítica. Adicionalmente, la estructura más tardía en diferenciarse por capas es la prefrontal alrededor de los 4 años (Herschkowitz, 2000). Así mismo, el metabolismo de la glucosa en dicha región alcanza niveles tan altos como el de la corteza adulta (Diamond, 2000). Cerca del segundo año, los infantes comienzan a mantener cierta información que les permite resolver una tarea similar. Dicha tarea de memoria de corto plazo está relacionada estrechamente con la corteza temporal basal. Es decir, que logran mantener por mayor tiempo el autocontrol; además, se interiorizan reglas básicas sobre algunos comportamientos motores. Pruebas y resultados de activación en neuronas espejo de la región medial prefrontal apoyan esta hipótesis. En el período preescolar se consolida la inhibición, el control motor y la autorregulación a partir del desarrollo lingüístico. Igualmente, emerge una capacidad de flexibilidad cognitiva que le facilitará al infante construir una teoría de la mente. Se constituye así la inhibición en la piedra angular sobre la cual se van edificando las funciones ejecutivas desde la niñez. Esta etapa presenta avances importantes a través de la maduración de la función inhibitoria. Es así como en la primera fase, de 3 a 5 años, aparece cierta capacidad de inhibición ante pruebas de tipo *go no go*. No obstante, una autorregulación verbal y esbozos de teoría de la

mente aparecen solo hasta la etapa de 5 a 7 años al igual que la planificación producto de la maduración de la flexibilidad, memoria operativa e inhibición (Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006).

De otro lado, Bausela Herreras (2010) retoma aspectos del desarrollo de las funciones básicas, como la inhibición de las conductas que obstaculizan el fin, durante el primer año de vida. Luego aumentan las conductas de perseverancia, las cuales disminuyen al llegar el lenguaje (2 a 4 años) dando inicio a la autorregulación a través de la instrucción del adulto. A medida que aumenta la inhibición ante la instrucción, va emergiendo la memoria operativa. A los 6 años hay pleno dominio de la función motora y el control de impulsos, y solo hasta los 10 años la capacidad sostenida y selectiva de la atención.

Igualmente, los procesos inhibitorios encabezados por la región dorsolateral de la corteza prefrontal están mediados por la acción de la dopamina en sus circuitos. En este sentido, es fundamental en el desarrollo cerebral de los niños un adecuado nivel y funcionamiento de los sistemas dopaminérgicos (Calle, 2014). Diamond, Briand, Fossella & Gehlbach (2004) proponen como base de su desarrollo la acción del gen catecol O metiltransferasa, dado que este precursor de la dopamina se encuentra disminuido en algunos sujetos. Los niños con dicho desnivel evidencian menor rendimiento en tareas de inhibición y memoria operativa.

Neotenia e inhibición

La función ejecutiva control inhibitorio remite a los procesos mentales encargados del control voluntario, la capacidad de impedir la interferencia de información no pertinente ante patrones de respuestas en marcha y

suprimir informaciones previamente pertinentes y que pueden traer cierto incentivo a corto plazo, pero que no son útiles en la actualidad. El uso del control inhibitorio en la resolución de problemas implica no solo la supresión de la respuesta dominante no acertada, sino también la activación de una respuesta no dominante pero requerida. También puede facilitar la alternancia entre la iniciación y la inhibición de una respuesta no requerida de acuerdo a la retroalimentación de los resultados (Diamond & Wright, 2014). Por tanto, dicha función es relevante para el aprendizaje y desarrollo del comportamiento en una especie como la nuestra, inmadura en el momento del nacimiento, dado su carácter neoténico.

Desórdenes del control inhibitorio se asocian a dificultades del neurodesarrollo producidas por condiciones de riesgo como la prematuridad. Naberhaus *et al.* (2008) investigaron los efectos de la prematuridad a nivel cognitivo en adolescentes. En general, los investigadores encontraron, a partir de una muestra de 62 prematuros con sus respectivos controles, que el cociente intelectual de los primeros era inferior al de su grupo control, a pesar de conservar un desarrollo cognitivo no patológico.

Por su parte, Roldán-Tapia, Ramos-Lizana, Sánchez-Joya, Cánobas & Bembidre-Serrano (2013) compararon el desempeño en habilidades atencionales en 51 menores de 7 años prematuros y su respectivo control. Se les administraron un conjunto de pruebas para medir los siguientes aspectos atencionales: foco, sostenimiento, atención selectiva y dividida. Se estimó el desarrollo intelectual general de los sujetos con la escala ABC Kaufman y se utilizaron el Stroop test, el Trail Making test B y cancelación. Los resultados indicaron, al igual que estudios previos, un rendimiento inferior en los niños nacidos bajo riesgo por prematuridad en todos los niveles atencionales.

Igualmente, Marlow, Hennessy, Bracewell & Wolke (2007) encontraron un rendimiento inferior en el desarrollo espacial, motor y ejecutivo de 308 niños de 6 años nacidos en condiciones de extrema prematuridad. En esa misma línea, Sastre-Riba (2009) indagó sobre los efectos de la prematuridad y el desarrollo de las funciones ejecutivas en infantes entre uno y dos años de edad. La muestra fue de 25 menores con características promedio como grupo de comparación y los que marcaban riesgo por prematuridad fueron 10. A través de rejillas de observación se registró y midió el desempeño de los sujetos ante una tarea no verbal en la que debía encajar en los orificios de un cajón las formas de las figuras geométricas. Además, se incluyeron las historias de cada menor para hacer un análisis intragrupo, además del comparativo. Las edades eran 9, 12 y 18 meses. Los resultados evidenciaron un mejoramiento en la disminución de errores ante el avance de la edad. Los infantes mayores realizaban más movimientos en busca de corregir y acertar en la respuesta, hecho que no se presentaba en los menores. En edades tempranas, la perseverancia es mayor en prematuros, esta disminuye al llegar a los 18 meses y vuelve a ser menor que los típicos a los dos años.

En Cali, Colombia, a 37 menores de 4 y 5 años nacidos bajo riesgo por prematuridad se les midió el desarrollo neuropsicológico de las funciones ejecutivas, memoria de trabajo y control inhibitorio, con el reactivo *Hearts and Flowers* diseñado por Diamond (2006). Los niños fueron comparados con sus pares sin dicha condición neonatal y se correlacionó el resultado ejecutivo con el coeficiente intelectual (CI) a través de la escala de inteligencia para niños de preescolar WIPPSI IV. Se encontró que el desarrollo del CI no condiciona la evolución de las funciones ejecutivas, el grupo de niños nacidos a término obtuvo un rendimiento más alto y homogéneo que sus pares prematuros. Igualmente, se

determinó que por debajo de los 2.500 gramos de peso al nacer, el desempeño ejecutivo tiende a disminuir, hecho que ratifica el riesgo del nacimiento antes de tiempo con la evolución de la capacidad ejecutiva (Calle y Graña, 2015).

La necesidad de un vínculo seguro con su progenitor u otro humano es parte de la condición biológica de nuestra especie, según se reseñó en párrafos anteriores. Por tanto, variables ambientales y sociales también inciden en el desarrollo del control inhibitorio al igual que la prematuridad.

Koraly *et al.* (2011) investigaron la relación entre control inhibitorio y la regulación de la conducta social. Tomando una muestra de 196 niños de 3 a 5 años, se midió el desarrollo de la atención dirigida y el control inhibitorio en relación con su conducta social y manejo de la ansiedad. Finalmente, se determinó que donde menos rendimiento existe en tareas de atención ejecutiva e inhibición, mayores dificultades de adaptación social existen. No obstante, se requiere un seguimiento longitudinal que soporte la validez preliminar.

Por su parte, Musso (2010) investigó en Argentina el desarrollo de las funciones ejecutivas en niños bajo riesgo por los altos niveles de pobreza asociados a desnutrición y violencia. Se valoró el desempeño inhibitorio y ejecutivo, en general, en 80 menores entre 6 y 10 años. Para medir la función control inhibitorio se empleó el paradigma “simón dice”, en el que se evaluaron los errores y la demora en el tiempo de respuesta (2 segundos). Respecto al juego tradicional, se le agregó el elemento “simón dice: no”, luego de una serie de órdenes para ejecutar. En general, el desempeño de los menores bajo condiciones de vulnerabilidad fue más bajo que el de sus pares en las tareas en las que debían inhibir y el tiempo de respuesta fue más lento.

Pareciera, entonces, que la base de las funciones ejecutivas, el control inhibitorio, fuera una estrategia etológica de compensación al relacionarse con la regulación del control social. Por tanto, es plausible que la empatía, la teoría de la mente y la interpretación de los estados emocionales sea regulada por dicha inhibición, facilitando así el comportamiento social y la capacidad de resolución de problemas para nuestra especie desprovista de especializaciones biológicas por su retardación (Gonzales, 2007; Calle, 2016). Además, la organización, filogenia y maduración de la corteza frontal sugieren también dicho nexo.

Las áreas más tempranas en desarrollarse son las motrices y estas están cerca del movimiento del lenguaje. Ambos procesos derivan luego en el nacimiento de la cognición. El primero es un patrón de acción que facilita la predicción del cerebro al planificar las acciones (Llinás, 2002). Diamond (2000) describe cómo el desarrollo motor es paralelo al cognitivo y no previo como históricamente se ha considerado. La maduración paulatina del cerebelo, a partir del desarrollo de aprendizajes motrices procedurales, va de la mano de la emergencia de funciones cognitivas básicas como la inhibición, la cual, se verá más abajo, posee una característica motriz y otra cognitiva. Fuster (2008) afirma que el cerebro solo puede trabajar de manera selectiva a partir del control inhibitorio que orienta la atención hacia ciertas propiedades del estímulo, ignorando las anteriores cualidades, innecesarias en la tarea actual. La investigadora considera que el control inhibitorio no solo es útil para ignorar una respuesta en lugar de otra, sino que facilita la selección de acciones adecuadas tendientes a conductas flexibles. Así pues, se distinguen tres formas de inhibición: las motivacionales se refieren a la inhibición motivada por incentivos contextuales, ya sea del comportamiento

o pensamientos; las automáticas que evitan que la información sensorial no percibida conscientemente conlleve una respuesta que interfiera con la acción consciente que se desea realizar; y las ejecutivas que se relacionan con los procesos encargados del control intencional-voluntario y/o eliminación de respuestas inmediatas que traen cierto incentivo a corto plazo, encaminado a la culminación de la actividad.

El segundo, al ser un sustituto del movimiento luego de finalizar el primer año de vida, al pasar del grito al señalamiento y por ende del gesto a la palabra (Cyrułnik, 2004), se convierte en la piedra angular del desarrollo social de la memoria y el pensamiento del infante (Vygotski, 1978).

Conclusión

En la naturaleza nada sale gratis, la emergencia constante de variaciones son la fuerza que impulsa los procesos de selección y adaptación (Gould, 1977). En este sentido, es evidente que especies altriciales y neoténicas dependen mucho de la relación social y afectiva para el aprendizaje en la experiencia, hecho que compensa la falta de recursos anatómicos y adaptaciones biológicas de base (Willson, 2012). Por tanto, sumado a la interiorización del movimiento y la predicción del cerebro humano, su carácter de inmaduro y social desde el nacimiento lo convierte en un órgano de múltiples posibilidades de adaptación para la resolución de problemas. Es ahí donde en los albores del *homo sapiens* emergieron las funciones ejecutivas a partir de la maduración cortical, a través de la relación social y afectiva entre los infantes y su grupo social.

Las funciones ejecutivas en caliente, como plantea Tirapu-Ustarroz (2011), de la región orbitofrontal, como

la empatía y la cognición social, se empiezan a desarrollar desde los primeros meses y se tornan funcionales en la regulación social al nacer el control inhibitorio y la memoria de trabajo al finalizar la primera infancia. Estas bases del control voluntario de la conducta y el pensamiento le permitirán al menor no solo interpretar la emoción propia y de sus pares, sino además suprimir las conductas mal adaptativas y potencializar su capacidad de autorregulación y aprendizaje durante el desarrollo y la experiencia (Calle y Grañana, 2015). Este inicio temprano del desarrollo cerebral coincide, como se discutió, con la antigüedad filogenética de dicha zona frontal. Por tanto, es válido contemplar, a partir de la evidencia clínica y básica, que la inmadurez del bebé humano se relaciona con la necesidad adaptativa del desarrollo de dichas funciones sociales y afectivas.

Por su parte, las funciones ejecutivas en frío de Tirapu-Ustarroz (2011) tienen su origen en la porción más tardía en maduración de la corteza prefrontal, la dorsolateral. Adicionalmente, esta región es la más nueva en términos filogenéticos. Los hallazgos en neurociencia básica y en neuropsicología clínica, reportados en el presente artículo, vinculan a dicha zona con la evolución del autocontrol a través de la función madre llamada control inhibitorio. Dicha cualidad no solo permite el nacimiento de funciones avanzadas como el monitoreo, la abstracción, la planificación, la creación, imaginación y la memoria autobiográfica, sino que establece un puente regulador de la acción emocional producida en la región orbitofrontal a través de la comunicación con el giro cíngulo (Fuster, 2008). Así pues, la función ejecutiva toma de decisiones compromete a ambas regiones y demuestra cómo la inhibición frena o suprime las conductas emocionales gracias al análisis del riesgo beneficio (Damasio, 2011). Esto significa que el desarrollo de lo social y emocional a lo largo de la evolución también

facilitó la emergencia de las funciones más nuevas como las ejecutivas convirtiendo a toda la región prefrontal y su función en la estrategia de supervivencia principal en la especie humana.

No obstante, la búsqueda de otras evidencias científicas, en las que se incluyan otros procesos cognitivos como las artes, la creatividad y la conciencia, aportarán más pistas sobre la hipótesis aquí discutida, hecho que conducirá a volver nuevamente a la histórica pregunta por el hombre.

Referencias

- Álvarez-Munárriz, L. (2005). *La conciencia humana: perspectiva cultural*. Barcelona: Anthropos.
- Aponte-Henao, M., & Zapata-Zabala, M. (2013). Caracterización de las funciones cognitivas de un grupo de estudiantes con trastornos específicos del aprendizaje en un colegio de la ciudad de Cali, Colombia. *Psychologia Avances de la Disciplina*, 7(1), 23-34.
- Ardila, A. (2012). *The origins of the human cognition*. Miami, Florida: University Press.
- Arnsten, A. (1999). Development of the cerebral cortex: XIV. Stress impairs prefrontal cortical function. *Journal of the American academic of child and adolescence psychiatry*, 378(12), 1337-1339.
- Areny-Balagueró, M., García-Molina, A., Roig-Rovira, T., Tormos, J. & Jodar-Vicente, M. (2015). Influencia de la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva en la ejecución de la tarea Balloon Analogue Risk Task. *Psychologia. Avances de la Disciplina*, 9(2), 25-34.
- Arsuaga, L., & Martínez, I. (2004). *La especie elegida. La larga marcha de la evolución humana (del proyecto Atapuerca)*. Barcelona: Editorial Temas de Hoy.
- Arteaga, G., Pimienta, H., & Escobar, M. (2004). Neuronas inmunorreactivas a parvalbúmina y calbindina en la corteza prefrontal dorsolateral de sujetos humanos. *Acta Neurol Colomb*, 20(3), 35-48.
- Bausela Herreras, E. (2010). Función ejecutiva y desarrollo en la etapa preescolar. *Universidad Nacional de Educación*, (50), 272-276.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. (2000). Emotion, Decision Making and the Orbitofrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295-307. Doi: 10.1093/cercor/10.3.295
- Calle, D. (2012). La etología como punto de partida epistémico frente a las formas de determinismo biológico. *Ludus Vitalis*, 20(37), 137-149.
- Calle, D. (2014). Cerebro y cognición social: un puente entre la Neurociencia y la construcción social del sujeto. *Revista Realitas*, 2(1), 51-56.
- Calle, D. (2015). Cerebro y sujeto: una producción biopsicosocial. *Pensamiento americano*, 8(15), 99-107.
- Calle, D. (2016). Génesis neuropsicológica de las funciones ejecutivas. Capítulo 3. En Ávila-Toscano, J. y Da Silva-Marques (Eds.), *De las Neurociencias a la Neuropsicología: el estudio del cerebro humano*. Ediciones Unireformada.
- Calle, D., & Grañana, N. (2015). Funciones ejecutivas en niños de 4 y 5 años nacidos bajo riesgo por pre-

- maturidad. *Revista Electrónica de Portales médicos.com*, 20(16), 1-8.
- Coombes, S., Corcos., Pavuluri, D., & Villancourt, D. (2011). Maintaining forced control despite changes in emotional contexts engages dorsomedial prefrontal and premotor cortex. *Cerebral Cortex*, 22(3), 616-627.
- Churchland, P. (2010). *El cerebro moral: lo que la Neurociencia nos cuenta sobre la moralidad*. Buenos Aires: Paidós Transiciones.
- Cyrułnik, B. (2004). *Del gesto a la palabra. La etología de la comunicación en los seres vivos*. Barcelona: Gedisa.
- Cyrułnik, B. (2005). *Bajo el signo del vínculo*. España: Gedisa.
- Damasio, A. (2011). *Y el cerebro creó al hombre*. Bogotá: Editorial Norma.
- Davidson, M.C., Amso, D., Anderson, L.C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4-13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.
- De Waal, F. (2007). *Primates y filósofos*. Barcelona: Paidós.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child development*, 71(1), 44-56.
- Diamond, A. (2006). The Early development of executive functions. En E. Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan Cognition mechanisms of change*. London: Oxford University Press.
- Diamond, A., Briand, L., Fossella, F., & Gehlbach, L. (2004). Genetic and neurochemical modulation of prefrontal cognitive functions in children. *Am J Psychiatry*, 161(1), 125-132.
- Diamond, A., & Wright, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in psychology*, 5:213. Doi: 10.3389/fpsyg.2014.00213
- Flores, J., & Ostrosky, F. (2012). Desarrollo neuropsicológico de los lóbulos frontales y las funciones ejecutivas. México: Manual Moderno.
- Fuster, J. (2008). *The prefrontal cortex*. London: Elsevier.
- García Molina, A., Enseñatt Cantalops, A., & Tirapu Usarroz, J. (2009). Maduración de la corteza prefrontal y desarrollo de las funciones ejecutivas en los primeros cinco años de vida. *Revista de Neurología*, 48(8), 435-440.
- Gehlen, A. (1980). *El hombre*. España: Ediciones Sígueme.
- Gonzales, W. (2007). *El hombre problema*. Colombia: Editorial Artes Gráficas, Universidad del Valle.
- Gould, S. (1977). *Ontogenia y Filogenia*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Gould, S. (1981). *La falsa medida del hombre*. España: Editorial Crítica.

- Grañana, N. (2014). *Manual de intervención para trastornos del desarrollo en el espectro autista*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- Herschkowitz, N. (2000). Neurological bases of behavioral development in infancy. *Brain and Development*, 22(2000), 411-416.
- Koechlin, E., Corrado, G., Pietrini, P., & Grafman, J. (2000). Dissociating the role of the medial and lateral anterior prefrontal cortex in human planning. *Pub-med*, 97(13), 7651-7656.
- Koraly Pérez-Edgar, Bethany C. Reeb-Sutherland, Jennifer Martin McDermott, Lauren K. White, Heather A. Henderson, Kathryn A. Degnan, Amie A. Hane, Daniel S. Pine, Nathan A. Fox. (2011). Attention Biases to Threat Link Behavioral Inhibition to Social Withdrawal over Time in Very Young Children. *J abnorm Child Psychology*, 39(6), 885-895.
- Labín, A., Taborda, A., & Brenlla, M. (2015). La relación entre el nivel educativo de la madre y el rendimiento cognitivo infanto-juvenil a partir del WISC-IV. *Psicogente*, 18(34), 293-302. Recuperado de doi.org/10.17081/psico.18.34.505
- Lenroot, R.K. & Giedd, J.N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav*, 20(6), 718-29.
- Llinás, R. (2002). *El cerebro y el mito del Yo*. Bogotá: Norma.
- Marlow, N., Hennessy, E.M., Bracewell, M.A., & Wolfe, D. (2007). Motor and executive functions at 6 years of age after extremely preterm birth. *Pediatrics*, 120(4), 793-804.
- Mazayuki, M., Kenji, N., & Kazumori, O. (2009). Old grandmothers provide essential care to their young granddaughters in a free-ranging group of Japanese monkey. *Primate*, 51(2), 171-4.
- Miller, M., & Cohen, N. (2001). *An integrative theory of prefrontal cortex function*. *Annu. Rev. Neurosci*, 24, 167-202.
- Musso, M. (2010). Funciones ejecutivas: un estudio de los efectos de la pobreza sobre el desempeño ejecutivo. *Interdisciplinaria*, 27(1), 95-110.
- Naberhaus, A., Pueyo, R., Segarra, M.D., Perapoch, J., Potet, F. & Junqué, C. (2008). Disfunciones cognitivas a largo plazo relacionadas con la prematuridad. *Revneurolog*, 47, 57-60.
- Pandya, D., & Barnes, C. (1987). Architecture and connections of the frontal lobe. En E. Perecman. (Ed.), *The Frontal lobes revisited* (pp.41-72). New York: IBN.
- Perner, J., Lang, B., & Kloo, D. (2002). Theory of mind and self-control: More than a common problem of inhibition. *Child Development*, 73(3), 752-767.
- Pribram, K. H., & Luria, A. (1973). *Psychophyiology of the frontal lobes*. New York: Academic Press.
- Ramírez Giraldo, A., & Arroyo Alvis, K. (2014). Características neuropsicológicas en adolescentes in-

- fractores de la ciudad de Sincelejo, Sucre. *Revista Psicogente*, 17(32), 19- 30.
- Roldán-Tapia, M., Ramos-Lizana, J., Sánchez-Joya, M., Cánobas, R., & Bembidre-Serrano, J. (2013). The relation between low birth weight in preterms children and their attentional abilities. *International Journal of advances in Psychology (IJAP)*, 2(1), 61-68.
- Sánchez-Carpintero, R., & Narbona, J. (2004). Revisión conceptual del sistema ejecutivo y su estudio en el niño con trastorno por déficit de atención con hiperactividad. *Revista de Neurología*, 33(1), 47-53.
- Sastre-Riba, S. (2009). Prematuridad: análisis y seguimiento de las funciones ejecutivas. *Revneurolog*, 48(2), 113-8.
- Schoenbaum, G., & Setlow, B. (2001). Integrating orbitofrontal cortex into prefrontal theory: common processing themes across species and subdivisions. *Learn Mem*, 8(3), 134-47.
- Schulte-Rüther, M., Greimel, E., Hans J. Markowitsch, Inge Kamp-Becker, Helmut Remschmidt, Gereon R. Fink, Martina Piefke (2011). Dysfunctions in brain networks supporting empathy: An FMRI study in adults with autism spectrum disorders. *Social Neuroscience* 6(1), 6-21.
- Spencer, M.D., Holt, R.J., Chura, L.R., Calder, A.J., Suckling, J., Bullmore, E.T. & Baron-Cohen, S. (2012). Atypical activation during the Embedded Figures Task as a functional magnetic resonance imaging endophenotype of autism. *Brain*, 135(11), 3469-80. Doi: 10.1093/brain/aws229
- Tirapu-Ustarroz, J. (2011). *Manual de Neuropsicología*. Madrid: Vigerá Editores.
- Tonks, J., Williams, W., Frampton, I., Yates, P. & Slater, A. (2007). Reading emotions after brain injury: a comparison study. *Brain Injury*, 21(7), 731-739.
- Vygotski, L. (1978). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Wilson, O. (2012). *La conquista social de la tierra*. Madrid: Editorial Debate.