



Artículo en prensa

DESARROLLO DE LA ALTA CAPACIDAD DURANTE LA INFANCIA TEMPRANA DEVELOPMENT OF GIFTEDNESS DURING EARLY CHILDHOOD

M. Isabel Gómez León

Universidad Internacional de La Rioja

Los niños con altas capacidades intelectuales (AC) parecen beneficiarse más de la experiencia que sus iguales sin AC desarrollando comportamientos cada vez más eficientes en entornos más complejos. La mayoría de los modelos que intentan explicar esta mayor adaptabilidad se centran en el estudio de las funciones cognitivas superiores y las regiones corticales que las sustentan, sin embargo, durante las primeras fases del desarrollo estas áreas son aún inmaduras funcional y estructuralmente. El objetivo de esta revisión es sintetizar y describir los mecanismos neurobiológicos subcorticales y corticales que subyacen a la interacción con el entorno, la motivación por la práctica y la automatización de los procesos cognitivos superiores en los niños con AC desde las primeras etapas de desarrollo postnatal.

Palabras clave: Altas capacidades, Desarrollo, Cerebro, Aprendizaje, Subcortical: cortical.

Gifted children seem to benefit more from experience than their non-gifted peers by developing increasingly efficient behaviors in more complex environments. Most of the models that attempt to explain this greater adaptability focus on the study of the higher cognitive functions and the cortical regions that support them. However, during the early stages of development these areas are still functionally and structurally immature. The objective of this review is to summarize the subcortical and cortical neurobiological mechanisms underlying the interaction with the environment, which motivate the practice and automation of higher cognitive processes in gifted children from the early stages of postnatal development.

Key words: Giftedness, Development, Brain, Learning, Subcortical: cortical.

Los niños con AC intelectuales constituyen un grupo altamente heterogéneo con características comunes que los diferencian de sus iguales con capacidad intelectual media. Estos niños pueden llegar a dedicar un considerable número de horas y esfuerzo a determinados dominios llegando a adquirir destrezas excepcionales a una edad más temprana que los niños normotípicos. Además, parecen progresar rápidamente en el aprendizaje cuando las áreas son de su interés, requieren de una ayuda mínima y muestran una gran atención y motivación intrínseca. La investigación sugiere que el alto rendimiento no es simplemente una consecuencia de factores cognitivos, sino también factores como la motivación, la práctica y la automatización de las tareas (Beckmann y Minnaert, 2018) que juegan quizás un papel aún más importante, especialmente en las primeras fases del aprendizaje. Sin embargo, cuando se intentan estudiar los mecanismos que subyacen a esta mayor eficacia en el rendimiento muy pocos incluyen la organización vertical del cerebro. Una de las limitaciones de los enfoques corticocéntricos en el contexto del desarrollo es que debido a la inmadurez estructural y funcional de la corteza durante la primera infan-

cia otros procesos subcorticales, como los ganglios basales y el cerebelo, adquieren una mayor relevancia durante el aprendizaje (Koziol, Budding y Chidekel, 2010).

El objetivo de este trabajo es sintetizar y describir los mecanismos neurobiológicos que subyacen a la interacción con el entorno, la motivación por la práctica, la experiencia y la automatización de las tareas, como componentes fundamentales del proceso de aprendizaje, durante la infancia temprana de los niños con AC.

MÉTODO

La búsqueda automatizada de la bibliografía se realizó a través de las bases de datos Pubmed, Scopus y Google Scholar. Principalmente se utilizaron las palabras clave "gifted" o "talent" o "intelligence" y "brain" o "subcortical" o "cortical" o "motivation" o "dopamine" o "cerebellum" o "learning" o "development" sin restricción idiomática. Se incluyeron las revisiones bibliográficas y los estudios empíricos publicados en los últimos 5 años. A través del título y los resúmenes, se seleccionaron aquellos artículos que cumplieran con los objetivos de este trabajo, es decir, aquellos que relacionaran de manera directa el proceso de aprendizaje de los niños con AC con aspectos neurobiológicos. Se incluyeron artículos que abordaran la alta capacidad en la infancia tanto desde una perspectiva transversal como longitudinal. Los artículos seleccionados fueron analizados en profundidad para, después, realizar búsquedas indirectas a través de los autores citados en función de la rele-

Recibido: 10 octubre 2019 - Aceptado: 4 febrero 2020

Correspondencia: M. Isabel Gómez León. Universidad Internacional de La Rioja. C/ Rosa Montero 4 esc. B 1ºA. 28903 Getafe. España. E-mail: mabelgomezleon@gmail.com



Artículo en prensa

vancia o novedad de los datos extraídos. Fueron excluidos aquellos artículos que no aportaban ningún tipo de explicación neurobiológica, aquellos que no estaban relacionados con el aprendizaje y aquellos centrados exclusivamente sujetos adultos.

RESULTADOS

De los artículos seleccionados, el 68% aborda directamente características psicobiológicas específicas de los niños con AC y el 32% restante hace referencia al funcionamiento de los mecanismos neurobiológicos citados en éstos que subyacen al aprendizaje durante el desarrollo.

La Tabla 1 presenta información descriptiva sobre los estudios incluidos en esta revisión ordenados alfabéticamente; la tabla incluye: autor(es) y año de publicación, edad de los sujetos con AC objeto de estudio y características neuronales estructurales y funcionales diferenciales con respecto a sujetos de capacidad intelectual promedio.

Influencia genética y ambiental

La inteligencia es un rasgo de comportamiento complejo y, como tal, es altamente poligénico, en el sentido de que muchos genes contribuyen a la variación individual. La expresión

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS PSICOBIOLOGICAS DIFERENCIALES RELACIONADAS CON EL APRENDIZAJE EN LA AC

Autor(es) y año de publicación	Edad	Características estructurales	Características funcionales
Alnæs, et al., (2018)	8-21 años	Mayor número de conexiones y actividad dentro del circuito medial cingulado-estriado-talámico-cortical	Mayor anticipación y sensibilidad a la recompensa durante el aprendizaje
Barbey (2018)	8-22 años	Reconfiguración flexible y dinámica de las redes cerebrales para la inteligencia fluida (regiones frontoparietales del sistema ejecutivo). Modificación de la topología y estructura comunitaria al servicio de la flexibilidad y la adaptación de todo el sistema	Desarrollo de habilidades fluidas: razonamiento lógico, flexibilidad cognitiva, memoria de trabajo.
Boot, Baas, Gaal, Cools y Dreu (2017)	A partir 0 años	Niveles moderados de dopamina estriatal e integridad de la vía dopamínérgica nigrostriatal Niveles moderados de dopamina prefrontal y la integridad de la vía dopamínérgica mesocortical Polimorfismos en los genes receptores de dopamina	Procesamiento flexible Procesamiento persistente Mayor ideación creativa, pensamiento divergente y resolución creativa de problemas
Buttelmann y Karbach, (2017)	2-12 años		Mayor flexibilidad cognitiva y elevada capacidad metacognitiva desde edad preescolar
Chevalier, et al., (2015)	2-5 años	Aumento de mielina en los lóbulos occipitales derecho e izquierdo, el cuerpo del cuerpo caloso y el cerebro	Mayor velocidad de procesamiento perceptual de la información visuoespacial
Dai, Müller, Wang y Deoni, (2019)	0-3 años	Mayor velocidad en el proceso de mielinización	Mejora en la capacidad cognitiva general
Deoni et al., (2016)	0-5 años	Desarrollo inicial más lento durante el primer año de vida (sinaptogénesis), seguido de un período prolongado de maduración rápida entre 1 y 2 años de edad (poda sináptica) Mayor mielinización en cuerpo caloso, cerebro, corteza somatosensorial primaria, corteza premotora derecha y cíngulo anterior	Mejora en la función motora fina, el procesamiento visual y las habilidades de lenguaje receptivo y expresivo.
Dunst et al., (2014)	A partir 0 años	Integridad de las conexiones de materia blanca en la red frontoparietal En tareas de poca/media dificultad: menor consumo de energía, menor activación de la red frontoparietal e ínsula En tareas difíciles: mayor tasas metabólicas y mayor activación en la corteza prefrontal lateral	Mejora en tareas de razonamiento inductivo
Fiske y Holmboe (2019)	0-6 años	Red frontoparietal de conexiones neuronales más fuertes observada	Mayor eficacia en tareas de memoria de trabajo, control cognitivo cada vez más flexible y automatizado

Artículo en prensa

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS PSICOBIOLÓGICAS DIFERENCIALES RELACIONADAS
CON EL APRENDIZAJE EN LA AC (Continuación)

Autor(es) y año de publicación	Edad	Características estructurales	Características funcionales
Gómez-León (2019a)	A partir 0 años	Alta densidad de fibra y unas redes cerebrales distribuidas de manera óptima y homogénea Mayor volumen de los giros parahipocampales y mayor conectividad en la región de la corteza parietal inferior izquierda Corteza más delgada y un área de superficie mayor en regiones clave de las redes frontoparietal y modo predeterminado	Mayor fluidez y flexibilidad cognitiva, conexión abstracta entre conceptos, producción y comprensión de la metáfora, generación de ideas creativas, creación de nuevos usos para los objetos, pensamiento futuro episódico y memoria de trabajo
Goriounova y Mansvelder, (2019)	A partir 0 años	Neuronas piramidales y estriadas con dendritas más grandes y complejas Maduración precoz de la red frontoparietal izquierda Mayor volumen cerebral del lóbulo temporal y el hipocampo y con el tamaño y la complejidad de las neuronas piramidales de estas regiones	Potenciales de acción más rápidos, transferencia de la información más eficientemente favoreciendo la plasticidad neuronal y el aprendizaje Mejora en capacidad de la percepción, el lenguaje, la memoria de trabajo, el razonamiento y la capacidad cognitiva general
Gotlieb, Hyde, Immordino-Yang y Kaufman (2016)	Adolescentes	Mayor número de conexiones entre la red de atención ejecutiva frontoparietal y la red de modo predeterminado.	Exploración creativa, reflexión intencional, pensamiento divergente socio-emocional: capacidades para considerar múltiples perspectivas cognitivas y afectivas, cursos de acción y resultados para ellos y para los demás.
Kaminski, et al., (2018)	A partir 0 años	Mayor expresión de los genes que regulan los receptores D2 de dopamina en las neuronas estriadas, mayor volumen en el estriado	Mayor respuesta ante señales de predicción de recompensa
Khalil, Godde y Karim (2019)	A partir 0 años	Mayor disponibilidad de dopamina en la CCA y en la corteza prefrontal, incremento de materia gris de estas estructuras y mayor número de fibras que las une	Mayor sensibilidad y predicción a las recompensas, resistencia a la distracción y perseverancia
Koziol, Budding y Chidekel, (2010)	A partir 0 años	Maduración de los circuitos frontoestriatales Mayor número de conexiones entre ganglios basales y cerebelo Incremento de tractos de materia blanca	Motivación intrínseca y perseverancia Intuición y experticia Velocidad de adaptación
Lee et al. (2006)	Adolescentes	Activaciones regionales del grupo superior significativamente más fuertes especialmente en la corteza parietal posterior.	Mejora del razonamiento fluido, el control de la atención y la memoria de trabajo.
Lépine, Barrouillet, y Camos (2005)	11 años		Automatizan la información más eficazmente
Liu, Xiao, Shi y Zhao (2011)	10 años	Potenciales evocados: supresión de P50 más fuerte en el área frontocentral, supresión de N100 más fuerte en las áreas frontal y frontocentral, activaciones de N2 más eficientes durante el procesamiento de monitoreo de conflictos, respuestas P3 más rápidas sobre regiones frontales y activaciones P3 más fuertes sobre regiones central-parietales durante el procesamiento de control atencional.	Mejor control de inhibición Mayor activación sensorial Mejores actuaciones de control de conflictos, con mayor precisión y velocidades de respuesta más rápidas
Montero-Linares, Navarro-Guzmán y Aguilar-Villagrán (2013)	6-9 años	Especialización funcional de la corteza parietal posterior izquierda	Menor dependencia de los recursos de atención para la secuenciación y ejecución de procedimientos
Nusbaum, et al. (2017)	8-12 años	Mayor distribución intra e interhemisférica de sustancia blanca: fibras ascendentes desde el tálamo y las fibras descendentes desde la corteza fronto-parietal hasta los núcleos subcorticales], fascículo uncinado, fascículo longitudinal superior	Sujetos con lateralización hemisférica izquierda: CI heterogéneo, índice verbal superior Sujetos con lateralización hemisférica bilateral y derecha: CI homogéneo, capacidades globales de exploración, procesamiento y adaptación al entorno

Artículo en prensa

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS PSICOBIOLÓGICAS DIFERENCIALES RELACIONADAS
CON EL APRENDIZAJE EN LA AC (Continuación)

Autor(es) y año de publicación	Edad	Características estructurales	Características funcionales
		Mayor volumen en genu y esplenio del cuerpo calloso	Mejora en el control atencional, e inhibitorio, memoria y lenguaje Transferencia de alto nivel de información semántica
Rinaldi y Karmiloff-Smith, (2017)	A partir 0 años	Mayor plasticidad durante un periodo de tiempo más prolongado Activaciones neuronales más eficientes, usan menos recursos neuronales y consumen menos energía Cambio precoz del procesamiento distribuido a un procesamiento más localizado Redes cerebrales altamente integradas a nivel global y local Incremento de materia gris, en las cortezas sensoriomotoras y visuales	Desarrollo precoz de los sistemas atencionales y sensoriales-motores Mayor capacidad para procesar información medida por la habituación visual y la atención selectiva a la novedad 6-12 meses Uso eficiente de las funciones ejecutivas, se adapta más eficientemente a las solicitudes del entorno Desarrollo más eficiente y precoz de los sistemas atencionales y sensoriales-motores desde los primeros días postnatales
Santarnecchia, Emmendorfera y Pascual-Leone (2017)	A partir 0 años	Mayor número de conexiones entre neocortéx, los ganglios basales, y el cerebelo	Flexibilidad y adaptación cognitiva. Coexistencia de acciones automatizadas y otras de control ejecutivo de orden superior, favorece la experiencia y el talento
Sastre-Riba, Viana-Sáenz (2016)	8-15 años	Mayor conectividad interhemisférica e interáreas, especialmente en las regiones frontoparietales, y en el cerebro	Capacidad para hacer descubrimientos intuitivos en áreas de adaptación no basadas en el aprendizaje instrumental o por categorización
Sastre-Riba y Ortiz (2018)	A partir 0 años	Activan con mayor frecuencia ondas alfa, activan selectivamente áreas cerebrales especialmente vinculadas con la tarea Maduración y mielinización más temprana del lóbulo frontal, con mayor densidad neuronal resultante Interconectividad interhemisférica Mayor la activación bilateral persistente de la corteza prefrontal y frontoparietal Mayores recursos neuronales para el procesamiento automático antes de la activación frontal,	Procesamiento más rápido Mejor memoria de trabajo, alto nivel de pensamiento abstracto y creatividad. Mayor potencial para el pensamiento convergente y divergente. Facilidad para un aprendizaje más rápido que necesita de menos repeticiones, con mayor profundidad, abstracción, creatividad y sensibilidad. Mejor control cognitivo (o regulación ejecutiva).
Schnack et al., (2015)	9-60 años	Menor grosor cortical en las principales áreas de asociación (frontal, temporal y parietal) Mayor expansión de la superficie cortical que se completa a una edad más temprana	Mayor especialización funcional y la mejora de las funciones ejecutivas
Shi et al. (2013)	10 años		Mayor atención sostenida, control inhibitorio y habilidades metacognitivas
Steiner y Carr, (2013)	0-12 años		Se habitan a los estímulos y prefieren estímulos nuevos durante el primer año de vida
Vaivre-Douret, (2011)	A partir 0 años	Volumen de la corteza prefrontal y el cerebro Aumento del número de conexiones entre el cerebro y áreas del lóbulo frontal y parietal	Incremento en las puntuaciones de aptitudes cognitivas Uso precoz y eficiente de las funciones ejecutivas: planificación, flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, memoria de trabajo.

Artículo en prensa

génica en el cerebro cambia en función de la experiencia ambiental durante el tiempo de desarrollo, por lo que la inteligencia puede concebirse como una propiedad emergente que se origina en múltiples interacciones entre las restricciones impuestas por los genes, el cerebro, el comportamiento, la cognición y el entorno.

Los genes asociados con el logro educativo y la inteligencia se expresan preferentemente juntos en el tejido nervioso (Gómez-León, 2019b). El noventa y cinco por ciento de estas variantes genéticas se encuentran en regiones que podrían tener una función reguladora de la expresión genética y la comunicación sináptica a lo largo del desarrollo (Goriounova y Mansvelder, 2019). Por lo que muchos de estos genes podrían desempeñar un papel en el desarrollo neurológico contribuyendo a la función sináptica y a la plasticidad a través de un proceso altamente dinámico que dependería de la interacción del sujeto con su entorno y que se reforzaría con la experiencia (Deoni et al., 2016).

La mayoría de los fenotipos conductuales no emergen en un punto particular en el tiempo, sino gradualmente, a través de los efectos acumulativos de los factores que los influyen a lo largo de la vida del individuo. La heredabilidad de la función cognitiva general aumenta linealmente desde el 40% en la infancia al 80% en la edad adulta, esta correlación genotipo-ambiente sugiere una modulación genética de las influencias ambientales en la cognición, es decir, a medida que los niños crecen, cada vez seleccionan más, modifican e incluso crean sus propias experiencias, en parte, en función de sus tendencias genéticas. (Goriounova y Mansvelder, 2019).

Tienen una mayor plasticidad neuronal

La estructura y función neuronal cambian dramáticamente durante el período postnatal temprano, adquirir una nueva habilidad supone cambios estructurales y funcionales, temporales y selectivos, en las neuronas de las áreas del cerebro implicadas en el procesamiento de dicha habilidad. Estudios recientes han mostrado que estos cambios son más pronunciados en las personas con AC (Nusbaum et al., 2017), quienes poseen unas neuronas con dendritas grandes y complejas capaces de transferir la información más eficientemente favoreciendo la plasticidad neuronal y el aprendizaje (Goriounova y Mansvelder, 2019; Gómez-León, 2019a). Las modificaciones en la morfología dendrítica y las sinapsis producen variaciones en el volumen de la materia gris cortical. Los mayores cambios observados durante el primer año de vida se registran en el cerebelo, seguido de otras regiones cerebrales subcorticales como los ganglios basales y por último en regiones dentro de la corteza cerebral donde los niños con AC siguen un patrón de cambio diferente al de sus iguales sin AC mostrando una corteza particularmente plástica con un desarrollo precoz y prolongado (Fiske y Holmboe, 2019; Schnack et al., 2015).

Los circuitos neuronales que mantienen las funciones aten-

cionales, el interés motivacional y el ensayo o la práctica de los nuevos aprendizajes maduran antes que los circuitos y redes que apoyan procesos cognitivos superiores. El desarrollo de estos circuitos se ha correlacionado con el desarrollo de funciones cognitivas y conductuales en niños con AC (Kozoli et al., 2010).

Su velocidad de procesamiento es mayor

La velocidad de procesamiento de la información, debida al incremento de la mielinización, es crítica durante el desarrollo cognitivo del niño ya que mejora la propagación del impulso neural, facilita la transmisión rápida y sin errores de datos entre diferentes regiones del cerebro y permite manipular una mayor cantidad de información de mayor complejidad en menor tiempo (Deoni et al., 2016).

Durante los 2-3 primeros años de vida comienza un rápido proceso de mielinización y empaquetamiento axonal que continuará más lentamente durante la infancia y que predice la capacidad cognitiva general. (Deoni et al., 2016; Lebel y Deoni, 2018). Las regiones cerebrales subcorticales logran la mielinización antes que las regiones implicadas en funciones cognitivas superiores como la corteza prefrontal (CPF). El cerebelo, la protuberancia y la cápsula interna son algunas de las estructuras primeras en mielinizar, los lóbulos occipital y parietal lo hacen alrededor de los 4 - 6 meses, y los lóbulos frontal y temporal alrededor de los 6 - 8 meses (Fiske y Holmboe, 2019). Dentro del lóbulo frontal la corteza orbitofrontal (COF), relacionada con las emociones, alcanzan la madurez estructural y funcional a una edad más temprana que otras regiones de la CPF.

El perfil de mielinización de la materia blanca en los primeros 5 años de vida está fuertemente y específicamente relacionado con la capacidad cognitiva (Fiske y Holmboe, 2019). Entre los 12 y 24 meses la capacidad cognitiva general se asocia difusamente con la estructura del cerebro, pero ya se observan redes especializadas y circuitos cerebrales discretos. Ejemplo de ello es la función no verbal que se asocia con regiones de materia blanca en el cerebelo, los tractos cortico-espinales y las cortezas motoras; y el funcionamiento verbal que se asocia con la circunvolución supramarginal y el lóbulo temporal. Entre los 2 y los 5 años la relación entre estructura-función parece consolidarse, en este período las asociaciones se vuelven más localizadas y específicas. En concreto, los cambios en la red frontoparietal izquierda se asocian significativamente con la capacidad cognitiva en la infancia. Esta red está asociada con la capacidad de la percepción, el lenguaje, la memoria de trabajo, el razonamiento y la capacidad cognitiva general (Goriounova y Mansvelder, 2019).

Usando un diseño longitudinal junto con imágenes de resonancia magnética avanzada, se ha demostrado que los niños con capacidad superior al promedio muestran trayectorias diferenciales de desarrollo de mielina en comparación con los niños con capacidad promedio y por debajo del promedio, incluso cuando se controla el estado socioecono-



Artículo en prensa

nómico, la gestación y el peso al nacer (Dai, Müller, Wang y Deoni, 2019). Específicamente, los niños de mayor capacidad exhiben un desarrollo temprano más lento, pero más prolongado, lo que resulta en un aumento general de las medidas de mielina en aproximadamente 3 años. Estos resultados son coherentes con los hallados en el volumen de la sustancia gris y proporcionan una nueva visión de los correlatos neuroanatómicos tempranos de la capacidad cognitiva sugiriendo que un período temprano de plasticidad prolongada asociada a la materia blanca puede resultar en redes neuronales fortalecidas que pueden apoyar mejor el desarrollo posterior. Este desarrollo más lento puede permitir una mayor interacción ambiental y un ajuste fino de los sistemas neuronales, pudiendo existir una relación simbiótica entre la capacidad cognitiva y el desarrollo cortical (Dai et al., 2019; Deoni et al., 2016)

Interaccionan más con el ambiente

Desde los primeros días postnatales, el recién nacido responde sobre el entorno, por lo que participa activamente sobre el desarrollo de su propio sustrato neuronal generando nuevas conexiones y circuitos neuronales (Jeremy y Schmahmann, 2019). Las capacidades sensoriales y motoras son fundamentales para interactuar con el medio ambiente y adaptarse con éxito. Los niños con AC, frente a aquellos sin AC, muestran un desarrollo más eficiente y precoz de los sistemas atencionales y sensoriales-motores desde los primeros días postnatales lo que supone una ventaja en la organización y consolidación de los procesos cognitivos básicos que sustentarán otros más complejos. (Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017). En general esta mayor eficacia cursa en paralelo al incremento de las conexiones de la materia gris, especialmente en las cortezas sensoriomotoras y visuales y a la mielinización de las áreas de asociación que están desarrollando en ese momento (Nusbaum et al., 2017).

Los hallazgos respaldan una asociación entre la mielina y la velocidad de procesamiento perceptual de la información visuoespacial en niños de 2 a 5 años. Los tiempos de inspección más cortos, después de controlar la edad, se asocian a un aumento de mielina en los lóbulos occipitales derecho e izquierdo, el cuerpo del cuerpo caloso y el cerebelo (Chevalier, et al., 2015). El vínculo más fuerte se encuentra en el lóbulo occipital izquierdo y se ha relacionado con la denominación rápida de las imágenes y el acceso al léxico en niños en edad escolar, lo que tal vez refleje un acceso más rápido de las redes lingüísticas a la información visual, las habilidades lingüísticas predicen la alta capacidad desde los 12 meses. En estas edades la mielina en las regiones frontales y parietales del cerebro también se ha relacionado significativamente con la velocidad de procesamiento (Chevalier, et al., 2015).

Pero los niños con AC no sólo responden antes y con mayor eficiencia a los estímulos sensoriales, sino que además se habitúan antes y prefieren estímulos nuevos. La preferencia

por la novedad de estos niños durante el primer año de vida predice las puntuaciones obtenidas en pruebas de inteligencia realizadas años posteriores (Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017; Steiner, Carr, 2013). El lóbulo temporal medial permite procesar y analizar la información sensorial-perceptual de las experiencias a retener para la posterior resolución de problemas. Este sistema de memoria declarativa/episódica permite persistir en la experiencia sensorial-perceptiva e ideacional, lo que representa una ventaja adaptativa obvia para resolución de problemas. Diferentes circuitos neuronales que están funcionalmente vinculados al hipocampo participan en la regulación de la memoria ante estímulos novedosos, como la amígdala o la corteza prefrontal que recibe proyecciones del locus coeruleus (LC) y modula los niveles de noradrenalina (NA) y dopamina (DA) (Hansen, 2017).

Al parecer la inteligencia está significativamente correlacionada con el volumen cerebral del lóbulo temporal y el hipocampo y con el tamaño y la complejidad de las neuronas piramidales de estas regiones (Goriounova y Mansvelder, 2019). Las neuronas piramidales hipocampales son fundamentales para la retención de los estímulos novedosos. El disparo más intenso por ráfaga de los niños con AC en el LC puede estar asociado con un incremento de DA y, como consecuencia, con un incremento en la fuerza y plasticidad sináptica de las neuronas hipocampales que favorece la memoria a largo plazo (Duszkiewicz, McNamara, Takeuchi y Genzel, 2019; Wagatsuma et al., 2018). Lo que explicaría el porqué, no sólo reconocen antes la novedad, (Steiner y Carr, 2013) sino que además la procesan más eficazmente (Berger, Tzur y Posner, 2006)

Son más sensibles a las recompensas

El rendimiento cognitivo de los niños con AC puede estar influido por variantes genéticas que modulan la motivación por la tarea. Estas variantes genéticas participan tanto directamente en la modulación sináptica como a través de las modificaciones producidas por los logros conseguidos, es decir por la repetición de la tarea. Se ha sugerido que la mayor anticipación y sensibilidad que muestran los niños con AC a la recompensa durante el aprendizaje puede ser debido a una mayor actividad dentro del circuito medial cingulado-estriado-talámico-cortical (Alnæs, 2018). Dentro del estriado, el aprendizaje está mediado por la DA que actúa sobre las neuronas espinosas medianas mejorando o facilitando la transmisión a lo largo de la vía directa tálamo-cortical.

Un reciente estudio ha hallado que el rendimiento cognitivo está asociado significativamente con una mayor expresión de los genes que regulan los receptores D2 de dopamina en las neuronas estriadas (implicados en la inhibición de señales corticales competitivas), un mayor volumen en el estriado y una mayor respuesta de éste ante señales de predicción de recompensa (Kaminsk et al., 2018). Por otra parte, el número de conexiones que unen la corteza con áreas asociadas a la anticipación de las recompensas, como el estriado, son





Artículo en prensa

mayores en los niños con AC que en aquellos con capacidad intelectual media (Alnæs et al., 2018), lo que ayudaría a explicar algunas de las características esenciales de estos niños, como el intenso foco de atención sobre determinadas áreas, la motivación intrínseca para dominarlas, la resistencia a la distracción y la perseverancia. Se ha sugerido que las condiciones ambientales actuarían genéticamente provocando una mayor sensibilidad y predicción a las recompensas (Boot, Baas, Gaal, Cools y Dreu, 2017; Kaminski et al., 2018) y una maduración precoz de las vías fronto-estriadas (Khalil, Godde y Karim, 2019).

Muestran un mayor interés por la tarea

El interés temprano que muestran estos niños en determinadas actividades podría estar estimulado por la expectativa de éxito obtenida a través de la participación con dicha actividad u otras de su experiencia. La percepción de autoeficacia que guía la conducta de los niños con AC podría estar influenciada por la mayor disponibilidad de dopamina que muestran en la corteza cingulada anterior (CCA) y en la corteza prefrontal, el incremento de materia gris de estas estructuras y el mayor número de fibras que las une (Buttelmann y Karbach, 2017). Se ha comprobado que la CCA ya es funcional en los niños con AC a la edad de los 3 años lo que, a diferencia de los niños sin AC, les permite planificar y evaluar los desafíos en base a su experiencia anterior. Esta capacidad está relacionada con una mayor metacognición (Buttelmann y Karbach, 2017; Chevalier. y Blaye, 2016).

Participación de la red corteza-ganglios basales-cerebro durante el aprendizaje

Computacionalmente, la corteza cerebral, los ganglios basales y el cerebro han sido hipotetizados para implementar distintos procesos de aprendizaje. En la corteza se produce un aprendizaje no supervisado donde las conexiones sinápticas se refuerzan por la coactivación repetida de las sinapsis más eficientes. Los ganglios basales generalmente están asociados con el aprendizaje basado en recompensas (refuerzo), y el cerebro está asociado con el aprendizaje basado en errores (Wang, Kloth, y Badura, 2014). El aprendizaje supervisado dependiente del uso, basado en recompensas y basado en errores requiere la operación de un mecanismo integrado que guíe gradualmente el rendimiento. Hallazgos recientes muestran que los ganglios basales y el cerebro están interconectados a nivel subcortical por lo que forman una red integrada. Esta red está organizada topográficamente para que los territorios motores, cognitivos y afectivos de cada nodo en la red estén interconectados (Sokolov, Miall y Ivry, 2017).

Aprendizaje instrumental en los niños con AC

Varios estudios anatómicos y de neuroimagen funcional han demostrado que la corteza orbitofrontal, cingulada anterior y el cuerpo estriado (caudado y putamen) ejercen gran-

des influencias en el modo en el que se desarrollan los circuitos frontoestriatales relacionados con el aprendizaje instrumental. La maduración precoz de estos circuitos en los niños con AC explica muchas de las características que los definen (Koziol, Budding y Chidekel, 2010).

Cuando se adquiere un alto nivel de competencia a través de la experiencia como la que pueden llegar a alcanzar los niños con AC, la "etapa pre-decisional" que antecede a la toma de conciencia de una solución parece estar mediada preferentemente por los ganglios basales, regiones temporales y circuitos parietales como parte de un proceso automático de aprendizaje instrumental por categorización que no está bajo control consciente y que permite la selección de acciones mediante una "evaluación" de los refuerzos ambientales. La retroalimentación inmediata, o la recompensa instrumental basada en la DA juega un papel crítico en la facilitación de este tipo de aprendizaje procedimental (Beckmann y Minnaert, 2018). La práctica y la experiencia incrementa la velocidad y la precisión de la respuesta convirtiendo la categorización en una respuesta "intuitiva". En este proceso el cerebro regula la velocidad, la intensidad y el ritmo de la entrada que recibe, e intensifica la valencia con la que se experimentó esa recompensa a través de sus proyecciones con los ganglios basales. De esta manera el cerebro promueve la práctica mediante dos mecanismos: incrementando la valencia asociada al estímulo y favoreciendo el éxito y la eficacia.

Aprendizaje basado en errores en los niños con AC

Los niños con AC no sólo progresan rápidamente dentro de su/s dominio/s de elección, también parecen hacer "descubrimientos" o mostrar una intuición inusual. La naturaleza de esta intuición ha sido estudiada en numerosas ocasiones (Jerymy y Schmahmann, 2019; Wang, Kloth y Badura, 2014). Ciertas habilidades intuitivas parecen estar fundamentalmente bajo la mediación de los ganglios basales, mientras que otras parecen estar basadas preferentemente por el control del cerebro.

Se ha propuesto que el cerebro desempeña un papel inicial fundamental en el procesamiento de la información externa sensorial e interna para guiar el refinamiento de las estructuras neocorticales durante los períodos sensibles al desarrollo. Así, el cerebro actúa en la vida temprana para dar forma a la función de otras regiones del cerebro, especialmente las relacionadas con el lenguaje, la cognición y el afecto (Wang et al., 2014).

El cerebro crece durante un período de vulnerabilidad genética y ambiental conocida y alcanza su volumen maduro a los pocos meses de nacer. Esta estructura funciona como un sistema corrector capaz de anticipar, prevenir y rectificar errores que pueden producirse en la conducta, sea ésta motora, cognitiva y/o afectiva, permitiendo mejorar las competencias ya adquiridas o adquirir nuevas competencias más





Artículo en prensa

eficientes y adaptables, especialmente en comportamientos relacionados con la novedad, la observación y la flexibilidad (Sokolov et al., 2017)

Los niños con AC presentan una mayor conectividad interhemisférica e interáreas, especialmente en las regiones frontoparietales, y en el cerebelo (Sastre-Riba, Viana-Sáenz, 2016). Estos niños a menudo manifiestan la capacidad para hacer descubrimientos intuitivos en áreas de adaptación no basadas en el aprendizaje instrumental o por categorización, es en estas áreas donde las funciones cognitivas del cerebelo cobran especial relevancia. La corteza prefrontal, junto con las cortezas parietales y/o temporales apropiadas, se activan cuando el individuo establece un "modelo" consciente del problema dentro de la memoria de trabajo. Los circuitos cerebrales-cerebelosos copian el contenido de esta memoria de trabajo dentro del cerebelo que está operando fuera de la conciencia creando modelos internos de respuesta. Estos modelos internos son una representación de los estados del entorno y de las respuestas estadísticamente eficientes basadas en la experiencia. El cerebelo envía esta información a la corteza prefrontal a través de la retroalimentación cortical-cerebelosa activando y anticipando posibles soluciones futuras, en este momento la solución, o lo que se ha denominado intuición, se haría consciente incrementando el control atencional (Jeremy y Schmahmann, 2019). El cerebelo recibe información de la respuesta seleccionada y de su eficiencia real en el entorno inmediato a través de la retroalimentación que recibe de la corteza por lo que rectifica rápidamente los errores con una gran precisión temporal y secuencial con el fin de incrementar la exactitud y la eficiencia de la respuesta. Todo lo que se piensa repetidamente se mejora constantemente a través de nuevos modelados que dan lugar a soluciones cada vez más rápidas y eficientes, o intuitivas, por lo que los circuitos cerebelosos se están reconstruyendo continuamente. De esta manera los niños con AC iniciarían y acelerarían un circuito de retroalimentación positiva con el cerebelo en un dominio de conocimiento específico. El mantenimiento de estas sinapsis se potencia por el uso incrementando la conexión entre el córtex y el cerebelo, sobre todo en regiones prefrontales dorsolaterales, avalando el papel del cerebelo en relación con el mantenimiento de la memoria de trabajo, la resolución de problemas y las funciones ejecutivas. Diversos estudios han hallado una correlación entre el CI y el volumen de la corteza prefrontal y el cerebelo, así como entre el CI y el aumento del número de conexiones entre el cerebelo y las áreas de planificación y pensamiento de alto nivel frontal y parietal (Vaiivre-Douret, 2011).

Aprendizaje social en los niños con AC

La facilidad para atender a los estímulos socialmente salientes de los niños con AC puede estar relacionado con la mayor sensibilidad que muestran hacia la recompensa estimular (Alnæs et al., 2018), pero también con la mayor participación del cerebelo en la representación precisa de la informa-

ción temporal. Por lo que el papel del cerebelo también puede ser de gran importancia para el aprendizaje social. Tanto en el lenguaje como en el desarrollo social la juxtaposición de eventos de múltiples sentidos que ocurren en escalas de tiempo cortas proporciona un significado y requieren de la integración de una variedad de señales no verbales y de un aprendizaje estadístico (Sokolov et al., 2017). El cerebelo permite detectar asociaciones de tiempo muy estrechas y rápidas entre estímulos multisensoriales y estímulos intrínsecamente gratificantes, como la sonrisa materna, que en principio no tendría ninguna valencia emocional, y la comida o el contacto, que son intrínsecamente placenteros. Del mismo modo, la simple exposición al lenguaje no facilita el desarrollo del habla y del lenguaje si no va acompañada de una información socialmente gratificante que atraiga la atención del niño (Gómez-León, 2019a). El habla es una habilidad sensoriomotora compleja y el aprendizaje vocal involucra tanto los ganglios basales como el cerebelo (Pidoux et al., 2018) por lo que el mayor número de conexiones entre ambas estructuras en los niños con AC puede facilitar el aprendizaje y un intercambio más recompensante y enriquecedor del entorno.

Automatizan la información más eficazmente

Algunos autores señalan que estas relaciones recíprocas entre el neocórtex, los ganglios basales, y el cerebelo responden al modo flexible y efectivo de adaptación que tienen los niños con AC, permitiendo la coexistencia de acciones automatizadas que alternarían con otras bajo el control ejecutivo de orden superior, brindando la oportunidad para el desarrollo de la experiencia y el talento (Santarnechia, Emmendorfera y Pascual-Leone, 2017). El cerebelo puede jugar un papel funcional complementario al neocórtex en la consolidación de la memoria permitiendo una rápida adaptación en las conexiones cerebelosas junto con una plasticidad gradual en las áreas corticales donde se almacena la memoria. La experiencia con un problema facilita el desempeño en otro problema sin que los sujetos sean conscientes de que uno le ha ayudado a resolver el otro. Por lo tanto, los cambios en el cerebelo pueden, con el tiempo, impulsar cambios en las áreas corticales correspondientes incrementando la eficiencia del procesamiento de la información, incluida la velocidad y la consistencia de las percepciones y las decisiones, la velocidad con la que se aprenden nuevas habilidades la regulación y la automatización de la conducta (Badura et al., 2018; Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017; Wang et al., 2014).

Los niños con altas capacidades automatizan la información más eficazmente que los de inteligencia media, ello les confiere una ventaja inicial que les facilita el manejo de la información en procesos de pensamiento más complejos (Lépine, Barrouillet, y Camos, 2005). La automatización del conocimiento permite, por una parte, tener una representación más compleja del problema y, por otra, liberar recursos de atención que pueden utilizarse para otros procesos de



Artículo en prensa

mayor dificultad, incrementando el éxito en la tarea (Montero-Linares, Navarro-Guzmán y Aguilar-Villagrán, 2013). Utilizando el modelado de redes neuronales se ha demostrado que la mayor eficacia en tareas de memoria de trabajo en estos niños está relacionada con una red frontoparietal de conexiones neuronales más fuertes observada desde los 4 años aproximadamente (Fiske y Holmboe, 2019). A esta edad los niños sin AC reflejan una activación cortical global y más difusa en la corteza frontal, parietal, cuerpo estriado y cerebro con un procesamiento más eficiente a medida que avanzan en edad, lo que sugiere que los niños sin AC necesitan participar en la activación neuronal compensatoria para lograr el mismo nivel de rendimiento. En comparación, en los niños con AC se observa una disminución en la activación del caudado y el tálamo lo que puede indicar un proceso de refinamiento en las regiones frontoparietales que permite un mayor compromiso y un funcionamiento más eficiente de estos circuitos en situaciones cada vez más difíciles que dependen del funcionamiento ejecutivo (Benedek et al., 2016; Dunst et al., 2014; Lee et al., 2006).

La mayor conectividad funcional entre las regiones frontal y parietal lleva a un control cognitivo cada vez más flexible y automatizado, de tal manera que en tareas de memoria de trabajo la edad correlaciona negativamente con los niveles de actividad en la corteza prefrontal dorsolateral y ventromedial y el hipocampo, pero positivamente con la corteza parietal posterior (CPP) izquierda, lo que lleva a la propuesta de que una mayor experiencia se acompaña de una especialización funcional de la CPP junto con una menor dependencia de los recursos de atención para la secuenciación y ejecución de procedimientos (Montero-Linares et al., 2013). La activación frontal se relaciona con una actividad cognitiva más controlada que requiere mayor esfuerzo y mayor consumo de energía produciéndose principalmente en los límites de la capacidad del sistema, como es en el caso de la memoria de trabajo. La activación posterior está relacionada con un procesamiento perceptivo más automático por debajo de los límites de capacidad (Benedek et al., 2016). Se ha demostrado que los niños con AC en tareas de igual dificultad que sus iguales sin AC hacen un mayor uso de sus recursos neuronales automáticos antes de la activación frontal controlada, favoreciendo una memoria de trabajo que, por añadidura, es más eficiente. Este menor esfuerzo mental en sujetos con AC también se pone de manifiesto por el menor consumo metabólico en tareas idénticas, corroborando que sus circuitos neuronales son más eficientes (Barbey, 2018; Dunst et al., 2014; Lee et al., 2006). Cuando se les enfrenta a tareas de mayor dificultad la activación de la corteza prefrontal dorso lateral, relacionada con la memoria de trabajo y la planificación, es mayor que la de sus iguales sin AC, reclutando un mayor número de regiones relacionadas con las características específicas de la tarea y mostrando un avance funcional con respecto a sus iguales sin AC, de 3 años como promedio (Vaivre-Douret, 2011).

Funciones ejecutivas y rendimiento académico en los niños con AC

Se piensa que las trayectorias de desarrollo de las funciones ejecutivas en los niños con AC están inextricablemente vinculadas a los cambios de maduración de las regiones prefrontales y las estructuras corticales y subcorticales asociadas, incluidas las regiones parietales y los ganglios basales, lo que facilita el desarrollo de una serie de habilidades como la flexibilidad cognitiva, la inhibición, la memoria de trabajo y la metacognición (Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017; Sastre-Riba y Ortiz, 2018; Shi et al., 2013). Estas habilidades permiten a los niños con AC regular de manera flexible sus pensamientos y acciones al servicio de la conducta adaptativa y dirigida a objetivos a una edad más temprana que los niños normotípicos.

Los niños con AC se desempeñan mejor en tareas que requieren control cognitivo. Las mejoras tempranas en el control inhibitorio permiten inhibir las interferencias del ambiente y los impulsos innecesarios favoreciendo la atención sostenida y endógena. Este tipo de atención depende más del esfuerzo del individuo y de su capacidad de autorregulación, está dirigida por fines (Liu, Xiao, Shi et al., 2013) y puede predecir su rendimiento en tareas cognitivas (Shi et al., 2013).

Una mayor flexibilidad cognitiva en los niños con AC reduce los errores de perseveración ante tareas de reglas flexibles y cambio atencional, con respecto a los niños sin AC (Vaivre-Douret, 2011). Estas diferencias se observan desde los 3 años y parecen ser debidas tanto al uso de estrategias relacionadas con la metacognición como a la capacidad para mantener y seleccionar las tareas en la memoria de trabajo (Vaivre-Douret, 2011). El uso de estrategias metacognitivas refleja principalmente cambios cualitativos en el procesamiento de la información, como la comprensión conceptual del sistema de reglas jerárquicas que subyacen a las tareas.

El uso de estas habilidades favorece un cambio en la combinación de estrategias utilizadas en la resolución de problemas con grandes implicaciones en el rendimiento académico. En cualquier dominio estudiado cuando una habilidad comienza a desarrollarse ésta requiere del uso de procedimientos relativamente lentos y propensos a errores, mientras que la práctica de dicha habilidad da lugar a procesos basados en la memoria relativamente rápidos y precisos. El nivel de experiencia produce un efecto modulador en la especificación funcional del PFC y modula la arquitectura de la materia blanca del cerebro reclutando una red fronto-parietal de conexiones de largo alcance que participa con otras regiones cerebrales de manera divergente. Estas habilidades favorecerían respuestas específicas del problema que llevarían a un menor uso de los procedimientos y a un mayor uso de la memoria incrementando la eficiencia en la resolución de problemas (Jeon, Kuhl y Friederici, 2019).

La investigación sugiere que el logro académico depende de una amplia gama de estrategias, habilidades, actitudes y



Artículo en prensa

comportamientos que juegan un papel esencial en el rendimiento académico, pero que no pueden ser capturados (directamente) por pruebas cognitivas o de rendimiento (Beckmann y Minnaert, 2018). Estos incluyen habilidades metacognitivas, motivación, autoestima, creatividad y rasgos de personalidad.

Las características comunes que favorecen el aprendizaje en los estudiantes con AC no directamente medidas por pruebas cognitivas incluyen: el uso avanzado de vocabulario, la alta creatividad, las fuertes habilidades de pensamiento crítico, el compromiso de tareas, los altos niveles de motivación, las habilidades de afrontamiento, y la perseverancia (Beckmann y Minnaert, 2018). La maduración precoz de los circuitos frontoestriatales en estos niños (Alnæs et al., 2018; Kaminsk et al., 2018; Khalil et al., 2019; Koziol et al., 2010) podría favorecer estas características y, como consecuencia, el rendimiento académico. Sin embargo, cuando estos estudiantes no se benefician del apoyo de los padres, maestros y/o compañeros, y/o cuando no se satisfacen sus necesidades académicas y de otro tipo, este mismo mecanismo podría incidir negativamente en el rendimiento académico a través de emociones y actitudes negativas, comportamiento disruptivo, poca motivación, baja autoestima, expectativas poco realistas y relaciones interpersonales adversas (Beckmann y Minnaert, 2018).

CONCLUSIÓN

Diferentes estudios han mostrado la mayor eficacia de los niños con AC no sólo para detectar la novedad sino también para adaptarse a ella adquiriendo conductas automatizadas con mayor rapidez y precisión que sus iguales sin AC. Estos niños organizan y almacenan grandes cantidades de información en la memoria a largo plazo, por lo que a menudo muestran un procesamiento sin esfuerzo del conocimiento relevante en sus áreas de especialización a las que tienen un acceso rápido y confiable.

Cuando se estudian los mecanismos neurobiológicos que subyacen al aprendizaje durante la infancia temprana de los niños con AC, objetivo fundamental de esta revisión, se observa que éstos poseen neuronas grandes y complejas capaces de transferir la información más eficientemente favoreciendo la plasticidad neuronal (Goriounova et al., 2019). Un cerebro más sensible a la estimulación y la recompensa no sólo capta con mayor intensidad, sino que también codifica y almacena más intensa y eficientemente. Toda práctica deliberada, o memoria de trabajo repetitiva, se localiza en las redes prefrontales y es "copiada" y mediada por el cerebelo, quien utiliza "modelos internos" del entorno para llevar a cabo un aprendizaje supervisado fuera del control consciente. El cerebelo se especializa en la modulación y jerarquización de determinados dominios favoreciendo la eficacia y el éxito de la acción. El logro de la práctica genera un aumento de dopamina que es captada por un sistema que, a su vez, es inusualmente sensible y que se retroalimen-

ta por la eficacia de su propia práctica. Esta capacidad para experimentar temprana e intensamente las emociones, en un cerebro especialmente plástico, permite que las conexiones neuronales para la habilidad en cuestión se desarrollen antes y más rápidamente. Un mayor desarrollo de la corteza cingulada anterior permite evaluar la situación presente en función de los logros obtenidos en el pasado incrementando la predisposición para nuevos retos y desafíos. De esta manera los niños con AC se beneficiarían más de la experiencia desarrollando comportamientos cada vez más eficientes en entornos más complejos. La automatización de unas conductas y la adaptación de otras permite integrar más conocimiento del que ya se tiene interactuando más eficazmente con el medio ambiente. Por lo tanto, en los niños con AC la práctica continuada y la maduración precoz de los circuitos frontoparietales y frontoestriatales puede permitir un reclutamiento más completo y consistente de estas regiones y un mayor uso de estrategias automatizadas en la realización de tareas con dificultad creciente a edades más tempranas (Buttelmann y Karbach, 2017).

Los niños con AC perciben, procesan y responden al entorno de un modo diferente, por lo que el desarrollo integral de su potencial y las estructuras neuronales subyacentes necesitan, de la misma manera, de una intervención diferente. El rendimiento excepcional que pueden mostrar los niños con AC no sólo depende de la práctica repetida, sino que también depende de un sistema capaz de adaptarse rápidamente y de procesar de forma eficiente un número cada vez mayor de información de complejidad creciente. Se ha demostrado que el mismo entrenamiento en estrategias metacognitivas no tiene los mismos efectos en niños con AC y sin AC, resultando más beneficiados estos últimos (Chevalier y Blaye, 2016; Buttelmann y Karbach, 2017). La práctica necesaria para alcanzar el alto rendimiento en los niños y adolescentes con AC requiere de contextos que favorezcan la curiosidad intelectual y el desarrollo de la imaginación social y emocional (Gotlieb et al., 2016).

En el contexto educativo los niños con AC a menudo se enfrentan a tareas que les resultan monótonas y repetitivas, en las que tienen que dirigir su atención hacia estímulos externos, sin relevancia personal, por lo que en ocasiones se sienten desmotivados perdiendo todo interés por el ámbito académico. Las investigaciones sugieren que el desarrollo de la AC debe fomentarse desde la infancia temprana a través de tareas y entornos nuevos y desafiantes que permitan la reflexión, la conexión del trabajo escolar con un propósito más amplio, la curiosidad intelectual y el desarrollo de la imaginación social y emocional, en suma, a través de entornos que favorezcan el pensamiento investigador, crítico y creativo (Gotlieb, 2016).

Esta revisión, a pesar de presentar los datos de una manera simplificada, pretende motivar investigaciones que consideren las correlaciones genético-ambientales que ocurren cuando los niños buscan y eligen experiencias de forma activa o



Artículo en prensa

pasiva en función de sus características y motivaciones genéticamente influenciadas. Los datos expuestos sugieren la necesidad de crear programas educativos adaptados a las características de los niños con AC desde la primera infancia, programas que vinculen la excitación emocional y motivadora con actividades diseñadas para ejercer y promover la atención selectiva o las funciones ejecutivas.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses

REFERENCIAS

- Alnæs, D., Kaufmann, T., Doan, N. T., Córdova-Palomera, A., Wang, Y., Bettella, F., ... Westlye, L. T. (2018). Association of heritable cognitive ability and psychopathology with white matter properties in children and adolescents. *JAMA Psychiatry*, 75(3), 287-295. doi: 10.1001/jamapsychiatry.2017.4277
- Badura, A., Verpeut, J. L., Metzger, J. W., Pereira, T. D., Pisano, T. J., Deverett, B., ... Wang, S. S. (2018). Normal cognitive and social development require posterior cerebellar activity. *eLife*, 7, e36401. doi: 10.7554/eLife.36401
- Barbey, A.K. (2018). Network neuroscience theory of human intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(8), 20. doi:10.1016/j.tics.2017.10.001
- Beckmann, E., y Minnaert, A. (2018). Non-cognitive characteristics of gifted students with learning disabilities: An in-depth systematic review. *Frontiers in Psychology*, 9, 504. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00504
- Benedek, M., Jauk, E., Beaty, R.E., Fink, A., Koschutnig, K., y Neubauer, A. (2016). Brain mechanisms associated with internally directed attention and self-generated thought *Scientific Reports*, 6:22959. doi: 10.1038/srep22959
- Berger, A., Tzur, G., y Posner, M.I. (2006). Infant brains detect arithmetic errors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(33), 12649-12653. doi: 10.1073/pnas.0605350103
- Boot, N., Baas, M., Gaal, S.V., Cools, R., Dreu, C.K (2017). Creative cognition and dopaminergic modulation of fronto-striatal networks: Integrative review and research agenda. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 78, 13-23. doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.04.007
- Buttelmann, F., y Karbach, J. (2017). Development and plasticity of cognitive flexibility in early and middle childhood. *Frontiers in Psychology*, 8: 1040. doi: 10.3389/fpsyg.2017.01040
- Chevalier, N., y Blaye, A. (2016). Metacognitive monitoring of executive control engagement during childhood. *Child Development*, 87, 1264-1276. doi: 10.1111/cdev.12537.
- Chevalier, N., Kurth, S., Doucette, M.R., Wiseheart, M., Deoni, S.C., Dean, D.C., ... LeBourgeois, M.K. (2015). Myelination is associated with processing speed in early childhood: Preliminary insights. *PloS one*, 10(10), e0139897. doi: 10.1371/journal.pone.0139897
- Dai, X., Müller, H.G., Wang, J.L., y Deoni, S.C.L. (2019). Brain Struct Funct. Age-dynamic networks and functional correlation for early white matter myelination. *Brain Structure and Function*, 224, 535. <https://doi.org/10.1007/s00429-018-1785-z>
- Deoni, S.C., O'Muircheartaigh, J., Elison, J.T., Walker, L., Doernberg, E., Waskiewicz, N., ... Jumbe, N.L. (2016). White matter maturation profiles through early childhood predict general cognitive ability. *Brain Structure and Function*, 221(2), 1189-1203. doi: 10.1007/s00429-014-0947-x
- Dunst, B., Benedek, M., Jauk, E., Bergner, S., Koschutnig, K., Sommer, M., ...Neubauer A.C. (2014). Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42, 22-30. doi: 10.1016/j.intell.2013.09.005
- Duszkiewicz, A.J., McNamara, C.G., Takeuchi, T., y Genzel, L. (2019). Novelty and dopaminergic modulation of memory persistence: A tale of two systems. *Trends in Neurosciences*, 42(2), 102-114. doi: 10.1016/j.tins.2018.10.002
- Fiske, A., y Holmboe, K. (2019). Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review*, 52, 42-62. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2019.100866>.
- Gotlieb, R., Hyde, E., Immordino-Yang, M.H., y Kaufman, S.B. (2016). Cultivating the social-emotional imagination in gifted education: Insights from educational neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1377(1), 22-31. doi: 10.1111/nyas.13165.
- Gómez-León, M.I. (2019a). Conexión neuronal en el trastorno del espectro autista. *Psiquiatría Biológica*, 26(1), 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2019.02.001>
- Gómez-León, M.I. (2019b). Psicobiología de las altas capacidades. Una revisión actualizada, *Psiquiatría Biológica*, 26(3), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2019.09.001>
- Goriounova, N.A., Mansvelder, H.D. (2019). Genes, cells and brain areas of intelligence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 44. doi: 10.3389/fnhum.2019.00044
- Hansen, N. (2017). The longevity of hippocampus-dependent memory is orchestrated by the locus coeruleus-noradrenergic system. *Neural Plasticity*, 2727602. doi: 10.1155/2017/2727602
- Jeon, H.A., Kuhl, U., y Friederici, A.D. (2019). Mathematical expertise modulates the architecture of dorsal and corticothalamic white matter tracts. *Scientific Reports*, 9, 6825. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43400-6>
- Jeremy, D., y Schmahmann, J.D. (2019). The cerebellum and cognition. *Neuroscience Letters*, 688, 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.065>.
- Kaminski, J.A., Schlagenhauf, F., Rapp, M., Awasthi, S., Ruggeri, B., Deserno, L. (2018). Epigenetic variance in dopamine D2 receptor: A marker of IQ malleability? *Translational Psychiatry*, 8, 169. doi: 10.1038/s41398-018-0222-7
- Khalil, R., Godde, B., y Karim, A.A. (2019).The link between creativity, cognition, and creative drives and underlying



Artículo en prensa

- neural mechanisms. *Frontiers in Neural Circuits*, 13, 18. doi: 10.3389/fncir.2019.00018
- Koziol, L.F., Budding, D.E., y Chidekel, D. *Cerebellum* (2010) Adaptation, expertise, and giftedness: Towards an understanding of cortical, subcortical, and cerebellar network contributions. *Cerebellum*, 9, 499. <https://doi.org/10.1007/s12311-010-0192-7>
- Lebel, C., y Deoni, S. (2018). The development of brain white matter microstructure. *NeuroImage*, 182(15), 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.097>
- Lee, K.H., Choi, Y.Y., Gray, J.R., Cho, S.H., Chae, J.H., Lee, S., y Kim, K. (2006). Neural correlates of superior intelligence: Stronger recruitment of posterior parietal cortex. *NeuroImage*, 29(2), 578-86. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.07.036
- Lépine, R., Barrouillet, P., y Camos, V. (2005) What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), 165-70. doi: 10.3758/bf03196363
- Liu, T., Xiao, T., Shi, J., y Zhao, L. (2011) Sensory gating, inhibition control and child intelligence: an event-related potentials study. *Neuroscience*, 189, 250-7. doi: 10.1016/j.neuroscience.2011.05.009
- Montero-Linares, J., Navarro-Guzmán, J.I., y Aguilar-Villagrán, M. (2013). Procesos de automatización cognitiva en alumnado con altas capacidades intelectuales. *Anales de Psicología*, 29(2), 454-461. <http://dx.doi.org/10.6018/analeps.29.2.123291>
- Nusbaum, F., Hannoun, S., Kocevar, G., Stamile, C., Fournieret, P., Revol, O., y Sappey-Marinier, D. (2017). Hemispheric differences in white matter microstructure between two profiles of children with high intelligence quotient vs. controls: A tract-based spatial statistics study. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 173. doi: 10.3389/fnins.2017.00173
- Pidoux, L., Le Blanc, P., Levenes, C., y Leblois, A. (2018). A subcortical circuit linking the cerebellum to the basal ganglia engaged in vocal learning. *eLife*, 7, e32167. doi: 10.7554/eLife.32167
- Rinaldi, L., y Karmiloff-Smith, A. (2017). Intelligence as a developing function: A neuroconstructivist approach. *Journal of Intelligence*, 5(2), 18. doi: 10.3390/jintelligence5020018
- Santarnecchia, E., Emmendorfer, A., y Pascual-Leone, A. (2017). Dissecting the parieto-frontal correlates of fluid intelligence: A comprehensive ALE meta-analysis study. *Intelligence*, 63, 9-28. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.04.008>
- Sastre-Riba, S., y Viana-Sáenz, L. (2016). Funciones ejecutivas y alta capacidad intelectual. *Revista de Neurología*, 62(1), 65-71 <https://doi.org/10.33588/rn.62S01.2016025>
- Sastre-Riba, S., y Ortiz, T. (2018). Neurofuncionalidad ejecutiva: Estudio comparativo en las altas capacidades. *Revista de Neurología*, 66(1), 51-56 doi: 10.33588/rn.66S01.2018026
- Schnack, H.G., Haren, N.E.M., Brouwer, R.M., Evans, A., Durston, S., Boomsma Dl... Pol, H. (2015) Changes in thickness and surface area of the human cortex and their relationship with intelligence. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1608-1617. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht357>
- Shi, J., Tao, T., Chen, W., Cheng, L., Wang, L., y Zhang, X. (2013). Sustained attention in intellectually gifted children assessed using a Continuous Performance Test. *PLoS one*, 8(2), e57417. doi: 10.1371/journal.pone.0057417.
- Sokolov, A. A., Miall, R. C., y Ivry, R. B. (2017). The cerebellum: Adaptive prediction for movement and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(5), 313-332. doi: 10.1016/j.tics.2017.02.005
- Steiner, H.H., y Carr, M. (2013). Cognitive development in gifted children: Toward a more precise understanding of emerging differences in intelligence. *Educational Psychology Review*, 15, 215-246. <https://doi.org/10.1023/A:1024636317011>
- Vaivre-Douret, L. (2011). Developmental and cognitive characteristics of high-level potentialities (highly gifted) children. *International Journal of Pediatrics*, 420297. doi: 10.1155/2011/420297.
- Wagatsuma, A., Okuyama, T., Sun, C., Smith, L., Abe, K., y Tonegawa, S. (2018). Locus coeruleus input to hippocampal CA3 drives single-trial learning of a novel context. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 115(2), 310-316. doi: 10.1073/pnas.1714082115
- Wang, S.S., Kloth, A.D., y Badura, A. (2014). The cerebellum, sensitive periods, and autism. *Neuron*, 83(3), 518-532. doi: 10.1016/j.neuron.2014.07.016

