
CONCEPTUALIZACIÓN NEUROPSICOLÓGICA DE LAS ALTAS CAPACIDADES INFANTILES: REFLEXIÓN HISTÓRICA SOBRE UN TEMA DE CRECIENTE ACTUALIDAD

Neuropsychological conceptualization of children's high capacities: historical thought about an increasingly topical issue

Conceitualização neuropsicológica das altas capacidades infantis: reflexão histórica sobre um tema de crescente atualidade

RECIBIDO: 30 mayo 2021 ACEPTADO: 18 abril 2022

Jorge Romero-Castillo

Universidad de Málaga

RESUMEN

Palabras Clave:

altas capacidades; cociente intelectual; infantil; inteligencia; neurociencia; neuropsicología; superdotación; talento

Keywords:

high capacities; intellectual quotient; infant; intelligence; neuroscience; neuropsychology; gifted; talent

Palavras-chave:

altas capacidades; quociente intelectual; infantil; inteligência; neurociência; neuropsicologia; superdotação; talento.

Desde su nacimiento, la neuropsicología ha tratado de discernir la peculiaridad asociada al funcionamiento del cerebro como sustento de los procesos cognitivos, incluyendo la inteligencia. Tras el diseño del primer test que trató de registrarla hace poco más de 100 años, el concepto que más ha trascendido a la cultura popular es el cociente intelectual, cuya utilidad más destacable en la actualidad es servir como método clasificatorio de las altas capacidades infantiles, ya que se le atribuye únicamente un valor predictivo del posible funcionamiento cognitivo de la persona. Las investigaciones realizadas muestran ciertas áreas cerebrales cuya activación y/o estructura correlaciona con el desempeño en los test, entre ellas, los lóbulos frontales y parietales, así como el cuerpo calloso como facilitador de las conexiones interhemisféricas. Una posible explicación a este funcionamiento la ofrece la hipótesis de la testosterona fetal, ya que esta hormona podría actuar como moduladora del desarrollo cerebral, aunque su acción no está clara. En la base de esta actividad parecen localizarse multitud de genes ampliamente distribuidos, cuya presencia predispone para que el entorno influya de manera sustancial en su desarrollo.

Correspondencia: Jorge Romero-Castillo. Facultad de Psicología (Campus de Teatinos), Blvr. Louis Pasteur 25, 29071. jorgerc@uma.es



Publicado bajo licencia Creative Commons Reconocimiento 3.0. (cc-by).

ABSTRACT

Since birth neuropsychology has tried to discern the peculiarity associated with the functioning of the brain a support for cognitive processes, including intelligence. Since the creation of the first test trying to register it, IQ is the concept that has mostly transcended popular culture. Its use as a classifying method of children's high capacities is its most notable value nowadays, because it is attributed only a predictive value of the possible cognitive functioning of the person. The investigations carried out show certain brain areas whose activation and / or structure correlate with the performance in the tests, among them, the frontal and parietal lobes, as well as the corpus callosum as a facilitator of interhemispheric connections. A possible explanation for this function is offered by the hypothesis of fetal testosterone, since this hormone could act as a modulator of brain development, although its action is not clear. A multitude of widely distributed genes seem to be located at the base of this activity, and their presence predisposes so that the environment substantially influences its development.

RESUMO

Desde o seu surgimento, a neuropsicologia tratou de discernir a peculiaridade associada ao funcionamento do cérebro como a base dos processos cognitivos, incluindo a inteligência. Após a concepção do primeiro teste que a registrou há pouco mais de 100 anos, o conceito que mais transcendeu a cultura popular é o de quociente intelectual, cuja utilidade mais notável na atualidade é servir como um método classificatório das altas capacidades infantis, já que se atribui a ela unicamente um valor preditivo do possível funcionamento cognitivo da pessoa. As pesquisas realizadas mostram certas áreas cerebrais cuja ativação e/ou estrutura se correlaciona com o desempenho nos testes, entre elas, os lóbulos frontais e parietais, assim como o corpo caloso como facilitador das conexões inter-hemisféricas. Uma possível explicação para este funcionamento vem da hipótese da testosterona fetal, já que este hormônio poderia atuar como modulador do desenvolvimento cerebral, ainda que sua ação não está clara. Na base desta atividade parecem localizar-se uma multiplicidade de genes amplamente distribuído, cuja presença predis põe que o entorno influencie de maneira substancial no seu desenvolvimento.

Introducción

El enorme potencial que acompaña al cerebro humano adquiere interés suficiente para realizar investigaciones que traten de dar respuesta a las innumerables preguntas que nos surgen como seres metacognitivos. Entre ellas, afloran especialmente las numerosas incógnitas relacionadas con aquellas mentes peculiares que destacan en la infancia por demostrar una capacidad superior -o muy superior en algunos casos- en diversas áreas. Las excepcionales destrezas que muestran a edades tempranas añaden nuevos interrogantes a la comprensión del funcionamiento cerebral y al papel que puede aportar tanto la genética como el entorno en su creación y consolidación. Establecer las particularidades que acompañan a estos individuos supone un reto para la ciencia que se hace conveniente indagar.

La neurociencia no ha conseguido aún desentrañar los engranajes que dan apoyo a nuestras funciones cognitivas de alto nivel. Estas aproximaciones deben ser realizadas de manera multidisciplinar, aunando esfuerzos desde campos como la genética, la física, la química, la biología, la neurología, la filosofía y, por supuesto, la psicología, y es en la neuropsicología donde confluyen estos caminos que actúan como referentes, convirtiéndose en puente de unión entre estos sectores del saber y propiciando un nuevo paradigma para comprender los complejos procesos mentales en relación con el cerebro, entre los que adquiere especial relevancia la inteligencia (Tirapu-Ustárroz, 2011).

Fundamentos teóricos de las altas capacidades infantiles

El estudio psicométrico de la inteligencia: necesario recurso a la perspectiva histórica

Se puede citar el inicio del estudio de la inteligencia de manera estructurada con los trabajos de Francis Galton, concretamente, en 1869 tras publicar su libro *Hereditary Genius*. Una particularidad de este autor es su consideración de que los factores asociados a la inteligencia son innatos -transmitidos por herencia genética- y que no se pueden adquirir por influencia del ambiente, por lo que trató de demostrar esta idea a través de sus investigaciones (Molero, Saiz, & Esteban, 1998). Tras este trabajo, acabaría aportando a la psicología en 1892 el primer concepto -aunque muy vago- de inteligencia.

Alfred Binet, inspirado por los trabajos de Galton, desarrolló -junto a Théodore Simon- en 1905 el primer test para recoger la inteligencia de forma psicométrica (Ardila, 2011). Estas escalas fueron revisadas pocos años más tarde por Terman (1877-1956) -quien era profesor en la Universidad de Stanford-, dando lugar en 1916 a una nueva versión de la prueba, llamada en esta ocasión test de Stanford-Binet. En este instrumento aparece por primera vez el criterio de Cociente Intelectual (CI -o IQ por sus siglas en inglés-) para establecer límites categoriales -los cuales han llegado hasta nuestros días-, sirviendo de base para realizar clasificaciones. Este mismo autor inició en 1921 el estudio longitudinal más famoso en superdotación, titulado *Genetic Studies of Genius* -también conocido en la actualidad como *Terman Study of the Gifted*-, sentando las bases para examinar de manera experimental y psicométrica las altas capacidades en la infancia (Robinson & Clinkenbeard, 2008).

Se produjo, en este punto de la historia, un debate entre quienes defendían la existencia de un único factor general de inteligencia, el “factor g”, presente al ejecutar cualquier prueba de inteligencia -los autores más conocidos que respaldan esta visión son Binet, Terman y, sobre todo, Spearman (autor del análisis factorial que originó el “factor g”), todos influenciados por las teorías innatistas de Galton-; y quienes apoyan una visión pluralista de la inteligencia como conjunto multifactorial de habilidades, donde podría influir también el aprendizaje y los hábitos -sus representantes más conocidos son Thurstone, Guilford y Catell- (Molero et al., 1998). Esta situación hace evidente que no hay unanimidad en las definiciones proporcionadas para el constructo de inteligencia, y aquellas que se concedían, demostraban algunas carencias. Un ejemplo quedó publicado en un artículo de Edwin Boring (1923) titulado *Intelligence as the tests test it* -la inteligencia es lo que miden los test de inteligencia- (Ardila, 2011). Este título tautológico plasma que se pretendía medir con un test algo que no podían ni siquiera definir ni, por tanto, delimitar.

Una alternativa a la escala Stanford-Binet fue la *Wechsler-Bellevue Intelligence Scale* diseñada por David Wechsler en 1939 para población adolescente y adulta. A pesar de que no incluía como público objetivo la población infantil, sirvió como base para que 10 años después (en 1949) realizara adaptaciones con el fin de generar otra escala destinada a ser usada en la infancia, obteniendo como resultado la *Wechsler Intelligence Scale for Children* (WISC) -Escala Wechsler de Inteligencia para infancia-. Sin embargo, no abarcaba a la población más infantil, por lo que se desarrolló en 1967 una nueva versión llamada *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence* (WPPSI) -Escala Wechsler de inteligencia para preescolar y primaria- destinada en ese momento a niños y niñas entre 4 y 6,5 años (Molero et al., 1998). A pesar de querer diferenciarse del primer test de Binet, estas escalas están basadas en su metodología y proporcionan también una puntuación general o CI global. En la actualidad siguen utilizándose de manera habitual para registrar psicométricamente la inteligencia. Las versiones más recientes en español son WISC-V (2015) -de 6 a 16:11 años- y WPPSI-IV (2014) -de 2:6 a 7:7 años-.

Los trabajos de John C. Raven basados en las observaciones y teorías sobre el “factor g” de Spearman dieron como resultado en 1938 la creación de un test libre de lenguaje, conocido como PM 1938. La prueba se basa en hallar soluciones a problemas de manera intuitiva, manejando información no verbal, dando sentido a un material presentado de manera confusa. Esta habilidad se conoce como educación de relaciones y es, a juicio del propio autor, una de las mejores estimaciones del “factor g” (Raven, Court y Raven, 2011). En la actualidad, la prueba es conocida en español como Test de Matrices Progresivas de Raven y es una de las más utilizadas para medir la inteligencia libre de influencia cultural. Su última edición es de 2011 (3ª edición) y es aplicable tanto a población infantil como adulta.

En la misma línea que propuso Raven, el creador de las pruebas mentales Raymond B. Catell postuló su famosa teoría de la inteligencia en 1943 influido también por el “factor g”, presentando la hipótesis de que la inteligencia general resulta de la combinación de dos tipos de capacidades mentales a las que llamó inteligencia cristalizada (Ic) e inteligencia fluida (If). La primera (Ic) hace referencia a los hábitos establecidos por la cultura y la experiencia desde tiempo atrás en un área particular. La segunda (If) tiene un carácter de capacidad biológica general y es la que posibilitaría percibir las relaciones entre conceptos, tanto nuevos como antiguos, sin que exista conocimiento previo disponible (Cattell, 1963).

El test de Matrices Progresivas de Raven, por tanto, se incluye como medidor de la inteligencia fluida, ya que en su ejecución está implicada una mezcla de procesos naturales que favorecen la resolución de problemas imprevistos (de manera intuitiva), sin depender del conocimiento previamente disponible (Arán-Filippetti, Krumm, & Raimondi, 2015). Por esta razón, al carecer de sabiduría previa durante la infancia y la adolescencia es, a juicio de Catell, la inteligencia fluida la que predomina en estas etapas de la vida. Con el objetivo de realizar mediciones al respecto de la If, diseñó y publicó en 1949 el

Culture Fair Intelligence Test (CFIT) -Test de inteligencia libre de influencia cultural- (Cattell, 1949). La versión más reciente de esta prueba en español es el Test Factor g-R (o Test de Inteligencia No Verbal – Revisado, 2017), el cual dispone de aplicación a población infantil entre los 8 y 18 años, proporcionando tras su corrección una puntuación CI total.

El “factor g” se ha establecido en la actualidad como el indicador estándar de las altas capacidades (Barros-Núñez, Rosales-Reynoso, & Rodríguez-Preciado, 2018). Las investigaciones recientes abandonan la idea del CI como medida estática basada en la herencia y asumen la idea de que las altas capacidades son el producto de la interacción entre los genes y el ambiente, el cual modula de manera dinámica y multidimensional el desarrollo de las altas capacidades (Sastre-Riba, 2020).

Terminología asociada a altas capacidades

A fin de clasificar las diferencias observadas en individuos cuyo desempeño cognitivo les ha permitido destacar en algún aspecto -o en varios- con respecto a sus semejantes, se ha definido una variada terminología. El concepto principal de Altas Capacidades es utilizado como término paraguas para englobar a niños y niñas que destacan en alguna o en la mayoría de capacidades muy por encima de la media (Barrera, Durán, González, & Reina, 2008), aunque, aún a día de hoy, no se dispone de una definición conceptual internacionalmente aceptada debido a las enormes variabilidades interindividuales (García-Ron & Sierra-Vázquez, 2011). Pero este desacuerdo al tratar de crear una definición general unánime no ha sido óbice para realizar una clasificación terminológica que nos permita entender las semejanzas intragrupalas y disparidades intergrupales. La clasificación se debe, principalmente, a las puntuaciones extraídas de los test específicos que tratan de recoger la inteligencia, así como a investigaciones de grupos expertos que desarrollan modelos explicativos de la misma. Las altas capacidades recogen los siguientes conceptos (Aretxaga, 2013; Reche, 2019):

- Superdotación: Renzulli ofrece un modelo basado en el rendimiento, utilizando su Modelo de Enriquecimiento Triádico o de los Tres Anillos de la Inteligencia (Renzulli, 1978, 2011), para definir la superdotación como una entidad múltiple basada en la unión e interacción de tres características: una habilidad intelectual general superior a la media, un alto nivel de compromiso por realizar las tareas -autoconfianza, motivación y perseverancia- y una capacidad elevada de responder con originalidad y fluidez -creatividad-. Como se puede apreciar por esta definición cualitativa, existe un perfil multidimensional asociado a la superdotación, lo que provoca que su manifestación no sea homogénea al ser el producto de factores neurobiológicos, motivacionales y ambientales en continua interacción (Sastre-Riba, 2008). Desde un punto de vista psicométrico (cuantitativo), y para una identificación más cómoda y unánime, se tiende a catalogar la superdotación como la capacidad intelectual global que se diagnostica al obtener una puntuación superior a 130 de cociente intelectual en uno o varios test normalizados de inteligencia y al situarse en un rango superior al percentil 75 en todos los ámbitos intelectuales (García-Ron & Sierra-Vázquez, 2011), ya sea en inteligencia convergente como divergente (Sastre-Riba, 2008), y debe ser manifestada durante la etapa del desarrollo.
- Talento: François Gagné proporciona el Modelo Integral de Desarrollo del Talento (CMTD) donde lo define como la capacidad de dominar de manera excepcional una o varias competencias que han sido desarrolladas sistemáticamente mediante la transformación progresiva de los dones naturales -a través de catalizadores intrapersonales y ambientales- en capacidades excepcionales (Gagné, 2015). Esto es, que se adquiere un talento determinado tras adquirir una gran cantidad de conocimientos de manera deliberada. Desde el punto de vista cuantitativo, presentar un talento implica obtener una puntuación superior al percentil 90 en un test psicométrico clásico de inteligencia en una o en varias (aunque no en todas) áreas intelectuales (Sastre-Riba, 2008). En este caso, se habla de puntuaciones altas en áreas específicas y no como una cualidad general (como ocurre en el caso de la superdotación). El talento, siguiendo a Castelló & de Batlle (1998), puede ser clasificado en talentos simples (matemático, lógico, social, creativo y verbal), talentos complejos (académico y artístico-figurativo), talentos múltiples (combinando 2 o más talentos simples) y talento conglomerado (formado al poseer uno o más talentos simples y uno complejo).
- Genio/a: es un niño o una niña con superdotación o talento al que se le suma una alta creatividad y productividad, encontrándose en el extremo más alto de las altas capacidades. Son personas que han realizado alguna contribución muy notable a la sociedad en un área determinada, la cual es reconocida y exaltada (Sastre-Riba, 2008; Barrera et al, 2008).

- **Prodigio:** se consideran niños o niñas prodigio a quienes han sido capaces -en comparación al nivel de una persona adulta- de producir trabajos admirables en distintas áreas del conocimiento humano (Reche, 2019), aunque a menudo limitado a una única área -como la música, ajedrez o matemáticas-, sin haber cumplido los 10 años (Kerr, 2009). Constituyen un porcentaje pequeño de la totalidad de individuos con altas capacidades y suelen tener un CI destacable, aunque no extraordinario.
- **Precocidad:** es un término evolutivo referido a la adquisición de una o varias habilidades antes de lo característico para la edad cronológica, manifestando destrezas antes de lo esperado en relación al desarrollo de su grupo de edad, pudiéndose ratificar o no estas habilidades tras la maduración cerebral. La mayoría de las personas con altas capacidades han sido precoces, pero no todas las precoces llegarán a la consolidación de sus habilidades una vez entrada la adolescencia o la adultez (Barrera et al, 2008). En añadido, existe la posibilidad de poseer altas capacidades sin haber manifestado precocidad en la infancia (Aretxaga, 2013; Reche, 2019). El dominio donde más comúnmente se suele manifestar precocidad es el lenguaje fluido (Kerr, 2009).

Conceptualización neuropsicológica

Inteligencia y funciones ejecutivas: ¿conceptos sinónimos?

Las técnicas de neuroimagen arrojan evidencias que indican que la corteza prefrontal es el sustrato neuroanatómico de las funciones ejecutivas (Tirapu-Ustárroz, García-Molina, Ríos-Lago, & Ardila, 2012), definidas como “la capacidad de encontrar soluciones a un problema novedoso, realizando predicciones de las posibles consecuencias a las que nos puede conducir cada solución imaginada” (Tirapu-Ustárroz, Cordero-Andrés, Luna-Lario, & Hernández-Goñi, 2017). Esta definición es bastante similar al concepto de inteligencia fluida propuesto por Cattell, lo que parece sugerir que las funciones ejecutivas podrían ser parte importante en el desarrollo de las altas capacidades. Es por ello que existe un debate en la actualidad sobre las similitudes y diferencias que pueden aparecer entre la inteligencia y las funciones ejecutivas, centrándose en si estas últimas -o alguno de sus componentes- integran el constructo de inteligencia y, por lo tanto, podrían emplearse como medias complementarias de la habilidad intelectual (Arán-Filippetti et al, 2015).

Desde la neuropsicología adulta se ha valorado la posibilidad de que las funciones ejecutivas puedan ser procesos cognitivos subyacentes a la inteligencia debido a la relación encontrada entre las pruebas psicométricas clásicas, que recogen el “factor g”, y el rendimiento observado en test sobre funciones ejecutivas (García-Molina, Tirapu-Ustárroz, Luna-Lario, Ibáñez, & Duque, 2010), y hay evidencias procedentes de neuroimagen funcional que indican que la corteza prefrontal juega un papel central en el control ejecutivo de la inteligencia (Miller, 2000; Miller & Cohen, 2001). En población infantil con altas capacidades, se ha demostrado que presentan un mayor desarrollo de las áreas del córtex prefrontal, lo que apoya la existencia de unas capacidades ejecutivas elevadas (Geake, 2008), haciendo que muestren una madurez inusual a una edad muy temprana, más comparable a las estructuras cerebrales de estudiantes mayores que a las de su misma edad cronológica. Se ha observado incluso que el grosor del córtex prefrontal es significativamente superior a la población que no presenta altas capacidades, desarrollándose concretamente durante la adolescencia (Shaw et al., 2006). Tal y como se ha postulado, los estudios muestran que la relación que se establece entre corteza prefrontal e inteligencia se debe únicamente a la inteligencia fluida (Duncan, Burgess, & Emslie, 1995) -evaluada a través de las Matrices progresivas de Raven- y que las lesiones en esta zona no perjudican la evaluación del “factor g” psicométrico, obtenido de las pruebas convencionales de inteligencia -por ejemplo, las escalas Wechsler- (Brazzelli, Colombo, Della Sala, & Spinnler, 1994; Duncan et al, 1995), lo que implica que los test de inteligencia tradicionales no estarían contruidos para registrar funciones ejecutivas.

La hipótesis que goza de mayor aceptación entre la comunidad científica es la que considera que la inteligencia y las funciones ejecutivas se superponen en ciertos aspectos, pero no en todos (García-Molina et al., 2010). Concretamente, un aspecto neuropsicológico muy importante y característico que destaca en altas capacidades es la memoria de trabajo tanto visual como verbal (Rodríguez-Naveiras, Verche, Henández-Lastiri, Montero, & Borges, 2019), reconocida como parte importante de las funciones ejecutivas y localizada en la corteza prefrontal dorsolateral (Miyake et al., 2000; Tirapu-Ustárroz et al., 2017). Un aspecto a resaltar que coincide con la línea de correlaciones observada sitúa a la memoria de trabajo -y al control ejecutivo- como factor en relación con la inteligencia fluida (Rey-Mermet, Gade, Souza, Von Bastian, & Oberauer,

2019). Este mayor funcionamiento responde a una mayor disposición de recursos neuronales debidos a una mielinización y maduración más temprana de la corteza frontal (Sastre-Riba & Ortiz, 2018).

Teoría de la Integración Parieto-Frontal (P-FIT)

Acompañando a esta maduración frontal, la cual produce una mejora de los procesos cognitivos básicos como la memoria de trabajo y la atención (Beltrán et al., 2018), se va a ver favorecida la red fronto-parietal bilateral, estableciéndose una facilitación funcional en este complejo que se ha demostrado más eficiente en cerebros con altas capacidades y haciendo que esta organización neuronal se relacione con la inteligencia (Gray, Chabris, & Braver, 2003; Gray & Thompson, 2004). Es decir, no se trata de que un cerebro con altas capacidades utilice más recursos cerebrales, sino que las redes cerebrales están mejor relacionadas entre ellas, enfatizando la importancia de los tractos de asociación de sustancia blanca entre las regiones frontales y parietales como sistema coordinado, generando así un espacio dinámico donde la información es procesada con mayor interconectividad y eficiencia. Gracias a esta mayor capacidad organizativa, se precisan menos repeticiones para captar la información, por lo que el cerebro consume menos energía durante la realización de tareas sencillas (hipótesis de la eficiencia neural) a la vez que aprenden más rápido (Haier et al., 1988; Haier, Siegel, Tang, Abel, & Buchsbaum, 1992; Dunst et al., 2014; Sastre-Riba & Ortiz, 2018).

Esta Teoría de la Integración Parieto-Frontal (*Parieto-Frontal Integration Theory, P-FIT*, por sus siglas en inglés) ha obtenido un enorme consenso entre la comunidad científica dedicada al estudio de la inteligencia y sugiere que las variaciones en esta red predicen las diferencias individuales encontradas en tareas de inteligencia y razonamiento (Jung & Haier, 2007). La relación que existe entre estas diferencias individuales en pruebas de inteligencia con la estructura y función del cerebro ha sido analizada bajo el paradigma de las técnicas de neuroimagen tanto estructural como funcional, arrojando diversas áreas frontales y parietales que parecen estar implicadas en la resolución de tareas de inteligencia. Se supone que la información que penetra en el cerebro a través de medios auditivos y/o visuales (normalmente combinados) se procesa inicialmente en los lóbulos temporales y occipitales, concretamente en regiones sensoriales como la corteza extraestriada (Áreas de Brodmann -AB- 18 y 19) y la circunvolución fusiforme (AB 37) para el reconocimiento y la creación de imágenes y la posterior elaboración de información visual, en paralelo con el área de Wernicke (AB 21) para analizar y elaborar la sintaxis de la información auditiva. Tras este proceso, la información se abstrae, se simboliza y se elabora en áreas parietales, predominando la circunvolución supramarginal (AB 40) la parietal superior (AB 7) y la angular (AB 39). Para buscar la mejor solución y realizar hipótesis sobre un problema se activa la corteza frontal, en concreto, el área asociativa motora (AB 6), la corteza prefrontal dorsolateral (AB 9, 10 y 46 -relacionada con la memoria de trabajo-), el *pars triangularis* (AB 45 -relacionado con el área de Broca, es decir, con la producción de lenguaje-) y parte de la circunvolución frontal inferior (AB 47). Estas estructuras frontales interactúan con los sistemas de la corteza parietal para combinar la información y, una vez hallada la mejor solución, se activa el cíngulo anterior (AB 32) para actuar como inhibidor de otras respuestas competitivas y permitir la selección de la más adecuada. La mayor eficiencia de estos procesos cognitivos puede depender de la integridad de las conexiones de sustancia blanca entre estas regiones corticales, por ejemplo, a través del fascículo arqueado y del fascículo longitudinal superior, los cuales facilitan una transmisión más rápida y sin errores. Para la mayoría de estas regiones, la participación del hemisferio izquierdo parece ser más importante que el hemisferio derecho (Jung & Haier, 2007; Deary, Penke, & Johnson, 2010; Dunst et al., 2014).

Estas conexiones entre estructuras frontales y parietales intrahemisféricas parecen estar en la base del talento matemático, fortalecido gracias a una mayor integridad del fascículo longitudinal superior (Navas-Sánchez et al., 2014) y a las interacciones entre estos sistemas corticales, que permiten una capacidad de rotación mental superior y un razonamiento complejo como producto de una mayor habilidad espacial, lo cual se observa en cerebros infantiles con altas capacidades matemáticas. La activación de las regiones frontales como base de la inteligencia fluida es especialmente importante para esas capacidades, particularmente cuando se interconectan con los lóbulos parietales, lo que parece ser una característica neuronal específica del talento matemático (Prescott, Gavrilescu, Cunnington, O'Boyle, & Egan, 2010).

Cuerpo calloso

En relación con la sustancia blanca, otra estructura que podría estar implicada en altas capacidades infantiles es el cuerpo calloso (cuya función es comunicar la información entre regiones homólogas de ambos hemisferios cerebrales), ya

que se ha correlacionado con la alta inteligencia por ser esencial para la integración de la información y el razonamiento lógico complejo (Navas-Sánchez et al., 2014). Se ha observado que presenta más grosor en esta población debido probablemente a un mayor número de axones presentes, lo que sugiere que les permite un uso más equilibrado del cerebro al tener ambos hemisferios más integrados (Kerr, 2009), permitiendo así transferir y procesar información de manera más eficaz. Una de las habilidades donde esta densidad aumentada parece tener mayor influencia es en la creatividad, la cual implica el uso de estructuras prefrontales bilaterales. Esto se concreta en un mayor grosor en la rodilla del cuerpo caloso, ya que esta región anterior comunica ambas cortezas prefrontales e integran así numerosas habilidades que en ellas se sustentan, como el procesamiento semántico, la memoria de trabajo y la atención (Shavinina, 2009), además de permitir un mejor razonamiento fluido como facilitador de procesos cognitivos de alto nivel (Navas-Sánchez et al., 2014). En la parte central del cuerpo caloso se sitúa el tronco, el cual se ha observado que presenta más mielina durante la infancia temprana de cerebros con alta capacidad, lo que implica una mayor velocidad de procesamiento relacionada con la información visoespacial (Chevalier et al., 2015). Finalmente, en la parte posterior se sitúa el esplenio, el cual integra las cortezas temporal, parietal y occipital de ambos hemisferios, lo que incluye áreas sensoriales y de asociación. Se ha encontrado que un volumen mayor en esta zona en cerebros infantiles con altas capacidades correlaciona con una transferencia de alto nivel de la información semántica, una mejora de la memoria y del lenguaje (Nusbaum et al., 2017). A pesar de estas relaciones, se ha postulado que, al tratarse de edades tempranas, el cuerpo caloso solo parece servir como un posible marcador del desarrollo de una inteligencia superior posterior, ya que debe continuar con su desarrollo, donde ejercerá una notable influencia su entorno (Westerhausen et al., 2018).

Hipótesis de la influencia de la testosterona prenatal

Con respecto a la influencia de factores prenatales en la posible implicación de las altas capacidades, uno de los primeros modelos que relacionaron la exposición a hormonas durante el desarrollo fetal con la neurobiología de la inteligencia lo aportaron Geschwind y Galaburda en 1984. En esta investigación, los autores plantearon la posibilidad de que el aumento de la testosterona fetal durante un periodo crítico del desarrollo cerebral estaría implicado en la inhibición de aspectos del desarrollo del hemisferio izquierdo en favor de la potenciación del hemisferio derecho, ya que, de lo contrario, el hemisferio izquierdo se desarrollaría de forma más rápida y más potente (Thatcher, Walker, & Giudice, 1987). A este planteamiento lo denominaron el Modelo de la Dominancia Cerebral, y fue expuesto posteriormente de manera pormenorizada en su libro *Cerebral Lateralization: Biological Mechanism, Associations, & Pathology* (Geschwind & Galaburda, 1987). Este modelo sentó las bases sobre las que se construyeron investigaciones posteriores cuyos objetivos fueron, entre otros, ampliar las nociones sobre la relación entre testosterona, la diferenciación hemisférica y altas capacidades. Numerosas investigaciones han tratado de descubrir el papel que podría ocupar la testosterona como factor desencadenante de un mayor desarrollo del hemisferio derecho (Annett & Alexander, 1996; Fingelkurts & Fingelkurts, 2002; O'Boyle et al., 2005; Auyeung, Lombardo, & Baron-Cohen, 2013; Durdiaková et al., 2013; Durdiaková, Celec, Laznibatová, Minárik, & Ostatníková, 2016). Se ha puesto de manifiesto que no solo se necesita una dosis más alta de testosterona, sino que esta exposición debe producirse durante del segundo trimestre del embarazo (O'Boyle et al., 2005) y debe existir una mayor sensibilidad a esta hormona. En relación con ello, se hace necesaria una alta concentración de Receptores Andrógenos (RA) en el hemisferio derecho comparado con el hemisferio izquierdo para que pueda ejercer la influencia necesaria que culmine con la dominancia hemisférica derecha (Diamond, 2017). La implicación de la testosterona parece afectar de diversas maneras, ya que se ha sugerido incluso que una mayor exposición prenatal a esta hormona suprime la expresión del gen causante de la especialización del hemisferio izquierdo como dominante (Annett & Alexander, 1996). Esta asimetría interhemisférica en favor del hemisferio derecho parece que contribuye en mayor medida al desarrollo de la inteligencia desde un punto de vista psicométrico, es decir, a la habilidad cognitiva general del "factor g" (Barros-Núñez et al., 2018).

La influencia de la testosterona prenatal en el mayor desarrollo del hemisferio derecho supone que las habilidades cognitivas asociadas a éste van a verse potenciadas (Fingelkurts & Fingelkurts, 2002). En este sentido, se ha correlacionado positivamente la exposición prenatal a la testosterona con polimorfismos genéticos para los RA y las habilidades visoespaciales (Durdíaková et al., 2013), siendo este un dominio cognitivo importante a tener en cuenta en las altas capacidades. La habilidad visoconstructiva, en comunión con la habilidad visoespacial, quedan lateralizadas al hemisferio derecho, especialmente en el lóbulo parietal, donde van aumentando su potencial a medida que se va desarrollando el cerebro con la edad (Roselli, 2015). Las capacidades de creación, rotación y manipulación de imágenes son particularmente

útiles durante el razonamiento matemático de alto nivel, debido particularmente al desarrollo de la corteza parietal inferior, siendo este proceso cognitivo, como se ha mencionado, una habilidad destacable en personas con altas capacidades (O'Boyle et al, 2005). Esta capacidad matemática es cuantitativa y cualitativamente diferente ya que, no solo demuestran un desarrollo mejorado del hemisferio derecho al participar en tareas relacionadas con las habilidades anteriores, sino que manifiestan un mayor intercambio de información inter e intrahemisférico, reflejando una conectividad neuronal más desarrollada (O'Boyle, 2008; Navas-Sánchez et al., 2014). Esta relación particular de coordinación y estabilización entre hemisferios parece estar mediada también por la influencia de la testosterona prenatal (Alexander, O'Boyle, & Benbow, 1996; Fingelkurts & Fingelkurts, 2002), la cual parece favorecer también el mayor desarrollo del cuerpo caloso (Habib et al., 1991). La corteza parietal inferior del hemisferio derecho proporciona también sustento neuroanatómico a la creatividad en general (y a la música en particular), siendo otro dominio característico asociado a las altas capacidades (Winner, 2000; Mrazik & Dombrowski, 2010). En estudios realizados mediante Tomografía por Emisión de Positrones -TEP-, Resonancia Magnética -RM- y Electroencefalografía -EEG- se observa también la importancia de los lóbulos frontales en la resolución de tareas creativas, especialmente el hemisferio derecho, mostrando asimismo cooperación tanto intra como interhemisférica (Camfield, 2005).

Posibles genes asociados con el "factor g" de inteligencia

Todos estos correlatos neurobiológicos que se observan en cerebros con altas capacidades deberían encontrarse bajo una fuerte influencia genética. En este sentido, se ha tratado de localizar en el genoma cuáles son los genes que podrían contribuir a la inteligencia que registran los test clásicos, usando como indicador estándar de la misma el "factor g" (Martínez-Torres, Pérez-Amézquita, & González-Burgos, 2018). La mayoría de los genes que se han investigado están asociados con neurotransmisores, enfermedades, desarrollo o metabolismo. Muchos estudios han informado asociaciones entre polimorfismos particulares y rendimiento cognitivo, aunque estas relaciones han sido pequeñas (Deary et al, 2010). A pesar de ello, estos trabajos han proporcionado varias coincidencias que podrían explicar en parte la variación en inteligencia y se ha sugerido que algunos genes particulares que podrían desempeñar un papel en el origen de la inteligencia son APOE, COMT y las hormonas sexuales (Neubauer, Fink, & Schrausser, 2002), en concreto, los ya citados receptores de andrógenos (RA) relacionados con la testosterona (Barros-Núñez et al, 2018).

El gen APOE se localiza en el cromosoma 19 y codifica la producción de la apolipoproteína E, una lipoproteína sanguínea -relacionada con el colesterol- que tiene 3 isoformas. La presencia del alelo 4 -ε4- parece estar implicada en la demencia que se ha observado en población infantil con superdotación, aunque con una baja frecuencia (Plomin et al., 1995; Turic, Fisher, Plomin, & Owen, 2001). La relación entre este alelo y las habilidades mentales se ha observado principalmente en personas mayores con alzheimer, ya que existe una asociación entre este genotipo y un menor desempeño cognitivo, relacionado con la enfermedad, en pruebas de función cognitiva global, memoria episódica y funciones ejecutivas (Small, Rosnick, Fratiglioni, & Bäckman, 2004). Sin embargo, aunque se ha asociado la presencia de marcadores del gen APOE con un alto cociente intelectual recogido a través de los test clásicos, estos resultados no han sido significativos (Barros-Núñez et al, 2018).

Por otra parte, el gen COMT se localiza en el cromosoma 22 y codifica la enzima catecol-O-metiltransferasa, la cual es una pieza fundamental para el metabolismo de los sistemas de neurotransmisión dopaminérgica y otras catecolaminas (Barros-Núñez et al, 2018). En concreto, uno de los polimorfismos de esta enzima, Val158Met, produce como resultado una modulación de la eficacia de la metabolización de la dopamina en la corteza prefrontal, generando un procesamiento más eficiente en esta zona que potencia las funciones ejecutivas, en concreto la memoria de trabajo, así como una mejor atención (Enoch, Waheed, Harris, Albaugh, & Goldman, 2009). La transcripción de este polimorfismo también produciría alteraciones en la cognición, ya que una mayor cantidad de dopamina en el sistema prefrontal se ha relacionado con la esquizofrenia (Saiz, Vega, & Sánchez, 2010). Esta relación puede ser una clave importante a considerar, ya que viene estableciéndose una asociación importante entre la superdotación y la creatividad con el trastorno de esquizofrenia -y otros síntomas psiquiátricos- desde hace al menos un decalustro (Karlsson, 1970; Lee, An, & Choe, 2020). Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela ya que, aunque se ha asociado el gen con el cociente intelectual extraído de los test clásicos de inteligencia (Barnett, Scoriels, & Munafò, 2008), este polimorfismo podría explicar sólo un 0.1% de la varianza observada

en las altas capacidades, aparte de que éste no es el único factor que determina los niveles de dopamina en la corteza prefrontal (Strous, Lapidus, Viglin, Kotler, & Lachman, 2006).

La base genética de la inteligencia que registran los test se debería entender mejor si se conceptualiza como una característica ampliamente distribuida a través del genoma humano, en lugar de ser el producto único de genes concretos con una determinada localización (Davies et al., 2011), ya que se han identificado 1.041 genes que parecen estar asociados con capacidades cognitivas (Savage et al., 2018). Esto implica considerar a la inteligencia como un rasgo altamente poligénico en el que la sinergia surgida de las pequeñas contribuciones de cada gen podría dar como resultado una mayor facilidad para el desarrollo de altas capacidades (Goriounova & Mansvelder, 2019). Debe tenerse en cuenta que, en general, la heredabilidad del “factor g” se ha estimado en un 50%, otorgando por tanto el 50% restante a factores ambientales (Martínez-Torres et al, 2018), lo cual demuestra la importancia fundamental del entorno durante el desarrollo infantil.

Conclusiones

Este artículo conceptualiza las altas capacidades infantiles desde una perspectiva neuropsicológica, estableciéndose como hilo conductor una profunda reflexión sobre el estado actual del tema en función a la historia sobre el estudio de la inteligencia y su intento de registro a través de las pruebas psicométricas clásicas. Se ha observado que las diferencias individuales que existen entre la población infantil con altas capacidades hacen particularmente difícil conceder definiciones universalmente aceptadas. En este sentido, uno de los criterios cuantitativos utilizados para ello está basado en los límites categoriales establecidos por el indicador del cociente intelectual. Este método proporciona una armonización con respecto a la denominación de personas que destacan por encima de la media, lo que puede ayudar a establecer mayor consenso entre países hispanohablantes a fin de evitar términos confusos e imprecisos (en sentido científico), como persona altamente capacitada, acelerada, dotada, lista, sobredotada, etc. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a pesar del uso extendido que tiene, es solo un indicador predictivo y escaso, por lo que se necesitan evaluaciones adyacentes multidimensionales que valoren el estado global de cada sujeto. En esta línea, el trabajo de la neuropsicología se hace particularmente útil y necesario para esta población, tanto para diseñar estrategias de intervención eficaces que atiendan a la idiosincrasia individual como para revelar sus cualidades, teniendo en cuenta cada una de las áreas del desarrollo.

Tomando en consideración lo anterior, las altas capacidades infantiles -y adultas- siempre han estado asociadas a la “inteligencia” y esto plantea un serio debate conceptual. Al tratar de recoger de manera psicométrica una capacidad independiente sin precisar (*Intelligence as the tests test it*), las pruebas escogidas parecen superponerse a otras aptitudes como el lenguaje, las destrezas visoespaciales, la memoria o las funciones ejecutivas. Por otra parte, si entendemos la inteligencia como una capacidad general -el “factor g”-, la cual estaría presente al poner en práctica los distintos comportamientos que poseemos, las pruebas clásicas no están diseñadas para recoger las numerosas capacidades que también forman parte de la singularidad del ser humano, como las habilidades sociales, emocionales, creativas o motoras, lo que parece limitar la demostración de inteligencia únicamente a aspectos académicos y, por consiguiente, concebir a las altas capacidades asociadas exclusivamente a ello.

Las pruebas de neuroimagen funcional han mostrado ciertas áreas cerebrales cuya mayor activación correlaciona con las altas capacidades, entendidas éstas como el mayor rendimiento observado en instrumentos que recogen el “factor g”. Específicamente, la herramienta más utilizada para categorizar las altas capacidades infantiles es la escala Wechsler para infancia -la versión más reciente es el WAIS V-, la cual conlleva necesariamente la participación de redes atencionales fronto-parietales de alerta, orientación y control ejecutivo (Fan, McCandliss, Fosella, Flombaum, & Posner, 2005) y de producción de lenguaje (área de Broca, situada en la corteza frontal). Sus escalas primarias se basan en tareas de memoria de trabajo, fluidez verbal, velocidad de procesamiento y razonamiento fluido, tareas relacionadas con las funciones ejecutivas y la inteligencia fluida, capacidades que están sustentadas anatómicamente por la corteza frontal (Tirapu-Ustárroz et al., 2017). De otra forma, la escala primaria de habilidades visoespaciales se obtiene a través de tareas llamadas puzles y cubos, tareas que parecen ampararse estructuralmente en el lóbulo parietal (Roselli, 2015). Por tanto, la Teoría de la Integración Parieto-Frontal (P-FIT) como posible explicación anatómica de la inteligencia podría estar explicando en realidad las estructuras que participan en la resolución de las tareas propuestas por el test, y no tanto la “inteligencia” como constructo general.

La hipótesis de la mayor influencia de la testosterona prenatal como factor del desarrollo de altas capacidades representa sólo una aproximación más al interés por tratar de definir detalladamente aspectos relacionados con las altas capacidades y se debe asumir que el mecanismo molecular preciso de cómo actúa la testosterona en los procesos cognitivos está sin distinguir de forma clara (Durdiaková et al., 2016). Encontrar mayor cantidad de testosterona en el sexo masculino parecería explicar la mayor proporción de hombres que de mujeres con altas capacidades registradas mediante test, ya que los metaanálisis identifican una proporción de 12 a 1 en favor del sexo masculino (Barros-Núñez et al., 2018). Sin embargo, esta ratio deja patente que existe un sesgo de género en las investigaciones realizadas, especialmente si tenemos en cuenta que la mayoría de los estudios publicados están centrados precisamente en el sexo masculino (Durdiaková et al., 2016) y que la heredabilidad del "factor g" se estima en un 50%, siendo responsabilidad de factores ambientales el 50% restante (Barros-Núñez et al., 2018). El proceso de sinaptogénesis ocurre mayoritariamente durante el desarrollo temprano del cerebro, por lo que la educación inicial y las primeras interacciones influyen considerablemente en organizar y estructurar la sustancia blanca cerebral, lo que reconoce el papel crítico de la educación familiar y escolar (Gómez-León, 2020).

Todavía queda un largo camino por recorrer para tratar de discernir los complejos procesos que ocurren en un cerebro infantil que muestra capacidades muy superiores, en una o varias áreas del funcionamiento, desde una edad muy temprana. En la neurociencia general hay varios aspectos importantes que están centrando las investigaciones actuales, como el rol que ocupa la neuroglia en el cerebro y su trabajo en cooperación con las neuronas, o estudios de corte epigenético donde se analiza la expresión de los genes en relación con la influencia ambiental. La inclusión de estos enfoques en el estudio de la neuropsicología de las altas capacidades infantiles podría proporcionar un impulso importante para la comprensión de estos extraordinarios cerebros.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a Eva Jiménez Palma sus atentos consejos y su interés en este artículo.

Declaración de conflicto de interés

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés al respecto de esta investigación ni con su publicación

Información y ORCID del Autor

Jorge Romero-Castillo. Personal Investigador de la Universidad de Málaga. Doctorando en Psicología (Universidad de Málaga)
<https://orcid.org/0000-0001-8366-6606>

REFERENCIAS

- Alexander, J. E., O'Boyle, M. W., & Benbow, C. P. (1996). Developmentally advanced EEG alpha power in gifted male and female adolescents. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1-2), 25-31. doi: [10.1016/0167-8760\(96\)00031-1](https://doi.org/10.1016/0167-8760(96)00031-1)
- Annett, M. & Alexander, M. (1996). Atypical cerebral dominance: predictions and test of the right shift theory. *Neuropsychologia* 34(12), 1215-1227. doi: [10.1016/0028-3932\(96\)00048-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(96)00048-6)
- Arán-Filippetti, V., Krumm, G. L., & Raimondi, W. (2015). Funciones Ejecutivas y sus correlatos con Inteligencia Cristalizada y Fluida: Un estudio en Niños y Adolescentes. *Neuropsicología Latinoamericana*, 7(2), 24-33. doi: [10.5579/rnl.2015.0213](https://doi.org/10.5579/rnl.2015.0213)
- Ardila, R. (2011). Inteligencia. ¿Qué sabemos y qué nos falta por investigar? *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(134), 97-103.
- Aretxaga, L. (2013). *Orientaciones educativas. Alumnado con altas capacidades intelectuales*. Vitoria-Gasteiz: Hezkuntza, hizkuntza politika eta cultura saila. Eusko Jaurlaritz. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11162/203830>
- Auyeung, B., Lombardo, M. V., & Baron-Cohen, S. (2013). Prenatal and postnatal hormone effects on the human brain and cognition. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 465, 557-571. doi: [10.1007/s00424-013-1268-2](https://doi.org/10.1007/s00424-013-1268-2)
- Barnett, J. H., Scoriels, L., & Munafò, M. R. (2008). Meta-analysis of the cognitive effects of the catechol-O-methyltransferase gene Val158/108Met polymorphism. *Biological Psychiatry*, 64(2), 137-144. doi: [10.1016/j.biopsych.2008.01.005](https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.01.005)
- Barrera, Á., Durán, R., González, J., & Reina, C. L. (2008). *Manual de atención al alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo por presentar altas capacidades intelectuales*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Educación. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11162/3171>
- Barros-Núñez, P., Rosales-Reynoso, M. A., & Rodríguez-Preciado, S. Y. (2018). Genetics of Giftedness. En González-Burgos, I. (Ed.), *Psychobiological, clinical and educational aspects of giftedness* (pp. 39-66). New York: Nova Biomedical.
- Beltrán, M., Carreras, L., Fotr, M. À., García, C., Pugés, J., Tarragó, S., ... & Valera, M. (2018). ALTAS CAPACIDADES INTELECTUALES, Guía actualizada del Grupo de Trabajo de Altas Capacidades (GTAC) del Col·legi Oficial de Psicologia de Catalunya (COPC) y Grupo de Investigación en Altas Capacidades (GRAC) del Col·legi de Pedagogos de Catalunya (COPEC). Extraído de <https://www.copc.cat/>

- Brazzelli, M., Colombo, N., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1994). Spared and impaired cognitive abilities after bilateral frontal damage. *Cortex*, 30(1), 27-51. doi: [10.1016/S0010-9452\(13\)80323-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80323-1)
- Camfield, D. (2005). Neurobiology of creativity. En Stough, C. (Ed.), *Neurobiology of exceptionalism* (pp. 53-72). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Castelló, A. & de Batlle, C. (1998). Aspectos teóricos e instrumentales en la identificación del alumno superdotado y talentoso: propuesta de un protocolo. *Faisca: revista de altas capacidades*, 6, 26-66.
- Cattell, R. B. (1949). *Culture Free Intelligence Test (CFIT), Handbook*. Champaign, Illinois: Institute of Personality and Ability Testing.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54(1), 1-22. doi: [10.1037/h0046743](https://doi.org/10.1037/h0046743)
- Chevalier, N., Kurth, S., Doucette, M. R., Wiseheart, M., Deoni, S. C. L., Dean III, 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](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139897)
- Davies, G., Tenesa, A., Payton, A., Yang, J., Harris, S. E., Liewald, D., ... & Deary, I. J. (2011). Genome-wide association studies establish that human intelligence is highly heritable and polygenic. *Molecular Psychiatry*, 16(10), 996-1005. doi: [10.1038/mp.2011.85](https://doi.org/10.1038/mp.2011.85)
- Deary, I. J., Penke, L., & Johnson, W. (2010). The neuroscience of human intelligence differences. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(3), 201-211. doi: [10.1038/nrn2793](https://doi.org/10.1038/nrn2793)
- Diamond, M. C. (2017). Environmental influences on the young brain. En Gibson, K. R. & Petersen, A. C. (Eds.), *Brain maturation and cognitive development: Comparative and cross-cultural perspectives* (pp. 107-124). New York: Routledge.
- Duncan, J., Burgess, P., & Emslie, H. (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 33(3), 261-268. doi: [10.1016/0028-3932\(94\)00124-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)00124-8)
- Dunst, B., Benedek, M., Jauk, E., Bergner, S., Koschutnig, K., Sommer, M., ... & Freudenthaler, H. (2014). Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42(100), 22-30. doi: [10.1016/j.intell.2013.09.005](https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.09.005)
- Durdiaková, J., Celec, P., Laznibatová, J., Minárik, G., & Ostatníková, D. (2016). Testosterone metabolism: a possible biological underpinning of non-verbal IQ in intellectually gifted girls. *Acta neurobiologicae experimentalis*, 76(1), 66-74.
- Durdiaková, J., Lakatosová, S., Kubranská, A., Laznibatová, J., Fícek, A., Ostatníková, D., & Celec, P. (2013). Mental rotation in intellectually gifted boys is affected by the androgen receptor CAG repeat polymorphism. *Neuropsychologia*, 51(9), 1693-1698. doi: [10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.016](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.016)
- Enoch, M. A., Waheed, J. F., Harris, C. R., Albaugh, B., & Goldman, D. (2009). COMT Val158Met and cognition: main effects and interaction with educational attainment. *Genes, Brain and Behavior*, 8(1), 36-42. doi: [10.1111/j.1601-183X.2008.00441.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-183X.2008.00441.x)
- Fan, J., McCandliss, B. D., Fossella, J., Flombaum, J. I., & Posner, M. I. (2005). The activation of attentional networks. *NeuroImage*, 26(2), 471-479. doi: [10.1016/j.neuroimage.2005.02.004](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.02.004)
- Fingelkurts, A.A. & Fingelkurts, A.A. (2002). Exploring giftedness. En Shohov S. P. (Ed.), *Advances in Psychology Research* (pp. 137-155). New York: Nova Science Publishers.
- Gagné, F. (2015). De los genes al talento: la perspectiva DMGT/CMTD. *Revista de Educación*, 368, 12-39. doi: [10.4438/1988-592X-RE-2015-368-289](https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2015-368-289)
- García-Molina, A., Tirapu-Ustárrroz, J., Luna-Lario, P., Ibáñez, J., & Duque, P. (2010). ¿Son lo mismo inteligencia y funciones ejecutivas? *Revista de Neurología*, 50(12), 738-746. doi: [10.33588/rn.5012.2009713](https://doi.org/10.33588/rn.5012.2009713)
- García-Ron, A. & Sierra-Vázquez, J. (2011). Niños con altas capacidades intelectuales. Signos de alarma, perfil neuropsicológico y sus dificultades académicas. *Anales de Pediatría Continuada*, 9(1), 69-72. doi: [10.1016/S1696-2818\(11\)70010-5](https://doi.org/10.1016/S1696-2818(11)70010-5)
- Geake, J. G. (2008). The neurobiology of giftedness. *10th Asia-Pacific Conference on Giftedness (APCG), Singapore*. Recuperado de <http://hkage.org.hk/en/events/080714%20APCG/01-%20Keynotes%20&%20Invited%20Addresses/1.6%20Geake%20he%20Neurobiology%20of%20Giftedness.pdf>
- Geschwind, N. & Galaburda, A. M. (1987). *Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations and pathology*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Gómez-León, M. I. (2020). Desarrollo de la alta capacidad durante la infancia temprana. *Papeles del Psicólogo*, 41(2), 147-158. doi: [10.23923/pap.psicol2020.2930](https://doi.org/10.23923/pap.psicol2020.2930)
- Goriounova, N. A. & Mansvelter, H. D. (2019). Genes, cells and brain areas of intelligence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13: 44. doi: [10.3389/fnhum.2019.00044](https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00044)
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature neuroscience*, 6(3), 316-322. doi: [10.1038/nn1014](https://doi.org/10.1038/nn1014)
- Gray, J. R. & Thompson, P. M. (2004). Neurobiology of intelligence: science and ethics. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 471-482. doi: [10.1038/nrn1405](https://doi.org/10.1038/nrn1405)
- Habib, M., Gayraud, D., Oliva, A., Regis, J., Salamon, G., & Khalil, R. (1991). Effects of handedness and sex on the morphology of the corpus callosum: A study with magnetic resonance imaging. *Brain and Cognition*, 16(1), 41-61. doi: [10.1016/0278-2626\(91\)90084-L](https://doi.org/10.1016/0278-2626(91)90084-L)
- Haier, R. J., Siegel, B., Tang, C., Abel, L., & Buchsbaum, M. S. (1992). Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning. *Intelligence*, 16(3-4), 415-426. doi: [10.1016/0160-2896\(92\)90018-M](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90018-M)
- Haier, R. J., Siegel Jr, B. V., Nuechterlein, K. H., Hazlett, E., Wu, J. C., Paek, J., ... & Buchsbaum, M. S. (1988). Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence*, 12(2), 199-217. doi: [10.1016/0160-2896\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(88)90016-5)
- Jung, R. E. & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences*, 30(2), 135-154. doi: [10.1017/S0140525X07001185](https://doi.org/10.1017/S0140525X07001185)
- Karlsson, J. L. (1970). Genetic association of giftedness and creativity with schizophrenia. *Hereditas*, 66(2), 177-181. doi: [10.1111/j.1601-5223.1970.tb02343.x](https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1970.tb02343.x)
- Kerr, B. (Ed.). (2009). *Encyclopedia of giftedness, creativity, and talent*. London, UK: Sage.
- Lee, S. Y., An, D., & Choe, S. U. (2020). Predicting psychiatric symptoms by personality types for gifted students. *High Ability Studies*, 31(1), 93-114. doi: [10.1080/13598139.2019.1589428](https://doi.org/10.1080/13598139.2019.1589428)
- Martínez-Torres, N. I., Pérez-Amézquita, A., & González-Burgos, I. (2018). A theoretical, conceptual and methodological approach to giftedness. En González-Burgos, I. (Ed.), *Psychobiological, clinical and educational aspects of giftedness* (pp. 1-14). New York: Nova Biomedical.
- Miller, E. K. (2000). The prefrontal cortex and cognitive control. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(1), 59-65. doi: [10.1038/35036228](https://doi.org/10.1038/35036228)
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. doi: [10.1146/annurev.neuro.24.1.167](https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167)

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49-100. doi: [10.1006/cogp.1999.0734](https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734)
- Molero, C., Saiz, E., & Esteban, C. (1998). Revisión histórica del concepto de inteligencia: una aproximación a la inteligencia emocional. *Revista latinoamericana de Psicología, 30*(1), 11-30.
- Mrazik, M. & Dombrowski, S. C. (2010). The neurobiological foundations of giftedness. *Roeper Review, 32*(4), 224-234. doi: [10.1080/02783193.2010.508154](https://doi.org/10.1080/02783193.2010.508154)
- Navas-Sánchez, F. J., Alemán-Gómez, Y., Sánchez-Gonzalez, J., Guzmán-De-Villoria, J. A., Franco, C., Robles, O., ... & Desco, M. (2014). White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient. *Human brain mapping, 35*(6), 2619-2631. doi: [10.1002/hbm.22355](https://doi.org/10.1002/hbm.22355)
- Neubauer, A. C., Fink, A., & Schrausser, D. G. (2002). Intelligence and neural efficiency: the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Intelligence, 30*(6), 515-536. doi: [10.1016/S0160-2896\(02\)00091-0](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00091-0)
- Nusbaum, F., Hannoun, S., Kocivar, G., Stamile, C., Fournier, P., Revol, O., & Sappey-Marinié, 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](https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00173)
- O'Boyle, M. W. (2008). Mathematically gifted children: Developmental brain characteristics and their prognosis for well-being. *Roeper Review, 30*(3), 181-186. doi: [10.1080/02783190802199594](https://doi.org/10.1080/02783190802199594)
- O'Boyle, M. W., Cunnington, R., Silk, T. J., Vaughan, D., Jackson, G., Syngeniotes, A., & Egan, G. F. (2005). Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research, 25*(2), 583-587. doi: [10.1016/j.cogbrainres.2005.08.004](https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.08.004)
- Plomin, R., McClearn, G. E., Smith, D. L., Skuder, P., Vignetti, S., Chorney, M. J., ... & McGuffin, P. (1995). Allelic associations between 100 DNA markers and high versus low IQ. *Intelligence, 21*(1), 31-48. doi: [10.1016/0160-2896\(95\)90037-3](https://doi.org/10.1016/0160-2896(95)90037-3)
- Prescott, J., Gavrilescu, M., Cunnington, R., O'Boyle, M. W., & Egan, G. F. (2010). Enhanced brain connectivity in math-gifted adolescents: An fMRI study using mental rotation. *Cognitive Neuroscience, 1*(4), 277-288. doi: [10.1080/17588928.2010.506951](https://doi.org/10.1080/17588928.2010.506951)
- Raven, J.C., Court, J.H., & Raven, J. (2011). *Matrices Progresivas. Manual*. Pearson.
- Reche, G. M. (2019). *Altas capacidades intelectuales: conceptualización, identificación, evaluación y respuesta educativa*. Murcia: Consejería de Educación y Cultura. Extraído de http://www.carm.es/edu/pub/19638_2019/
- Renzulli, J. S. (1978). What makes giftedness? Reexamining a definition. *Phi Delta Kappan, 60*(3), 180-184, 261.
- Renzulli, J. S. (2011). What makes giftedness? Reexamining a definition. *Phi Delta Kappan, 92*(8), 81-88. doi: [10.1177/003172171109200821](https://doi.org/10.1177/003172171109200821)
- Rey-Mermet, A., Gade, M., Souza, A. S., Von Bastian, C. C., & Oberauer, K. (2019). Is executive control related to working memory capacity and fluid intelligence? *Journal of Experimental Psychology: General, 148*(8), 1335-1372. doi: [10.1037/xge0000593](https://doi.org/10.1037/xge0000593)
- Robinson, A. & Clinkenbeard, P. R. (2008). History of giftedness: Perspectives from the past presage modern scholarship. En S. I. Pfeiffer, (Ed.). *Handbook of giftedness in children* (pp. 13-31). Boston, Massachusetts: Springer.
- Rodríguez-Naveiras, E., Verche, E., Hernández-Lastiri, P., Montero, R., & Borges, M. Á. (2019). Differences in working memory between gifted or talented students and community samples: A meta-analysis. *Psicothema, 31*(3), 255-262. doi: [10.7334/psicothema2019.18](https://doi.org/10.7334/psicothema2019.18)
- Roselli, M. (2015). Desarrollo neuropsicológico de las habilidades visoespaciales y visoconstruccionales. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias, 15*(1), 175-200.
- Saiz, J., Vega, D. C., & Sánchez, P. (2010). Bases neurobiológicas de la Esquizofrenia *Clínica y salud, 21*(3), 235-254. doi: [10.5093/cl2010v21n3a3](https://doi.org/10.5093/cl2010v21n3a3)
- Sastre-Riba, S. (2008). Niños con altas capacidades y su funcionamiento cognitivo diferencial. *Revista de Neurología, 46*(Supl 1), S11-S16.
- Sastre-Riba, S. (2020). Moduladores de la expresión de la alta capacidad intelectual. *Medicina (Buenos Aires), 80*(Supl 2), 53-57.
- Sastre-Riba, S. & Ortiz, T. (2018). Neurofuncionalidad ejecutiva: estudio comparativo en las altas capacidades. *Revista de Neurología, 66*(Supl 1), S51-S56.
- Savage, J. E., Jansen, P. R., Stringer, S., Watanabe, K., Bryois, J., De Leeuw, C. A., ... & Grasby, K. L. (2018). Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional links to intelligence. *Nature genetics, 50*, 912-919. doi: [10.1038/s41588-018-0152-6](https://doi.org/10.1038/s41588-018-0152-6)
- Shavinina, L. V. (Ed.). (2009). *International handbook on giftedness*. New York: Springer.
- Shaw, P., Greenstein, D., Lerch, J., Clasen, L., Lenroot, R., Gogtay, N., ... & Giedd, J. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature, 440*, 676-679. doi: [10.1038/nature04513](https://doi.org/10.1038/nature04513)
- Small, B. J., Rosnick, C. B., Fratiglioni, L., & Bäckman, L. (2004). Apolipoprotein E and cognitive performance: a meta-analysis. *Psychology and Aging, 19*(4), 592-600. doi: [10.1037/0882-7974.19.4.592](https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.4.592)
- Strous, R.D., Lapidus, R., Viglin, D., Kotler, M., & Lachman, H.M. (2006). Analysis of an association between the COMT polymorphism and clinical symptomatology in schizophrenia. *Neuroscience Letters, 393*(2-3), 170-173. doi: [10.1016/j.neulet.2005.09.067](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.09.067)
- Thatcher, R. W., Walker, R. A., & Giudice, S. (1987). Human cerebral hemispheres develop at different rates and ages. *Science, 236*(4805), 1110-1113. doi: [10.1126/science.3576224](https://doi.org/10.1126/science.3576224)
- Tirapu-Ustárriz, J. (2011). Neuropsicología - Neurociencia y Ciencias "PSI". *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology, 5*(1).
- Tirapu-Ustárriz, J., Cordero-Andrés, P., Luna-Lario, P., & Hernández-Goñi, P. (2017). Propuesta de un modelo de funciones ejecutivas basado en análisis factoriales. *Revista de neurología, 64*(2), 75-84.
- Tirapu-Ustárriz, J., García-Molina, A., Ríos-Lago, M., & Ardila, A. (Eds.). (2012). Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas. *Barcelona: Viguera*.
- Turic, D., Fisher, P. J., Plomin, R., & Owen, M. J. (2001). No association between apolipoprotein E polymorphisms and general cognitive ability in children. *Neuroscience Letters, 299*(1-2), 97-100. doi: [10.1016/S0304-3940\(00\)01789-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)01789-4)
- Westerhausen, R., Friesen, C. M., Rohani, D. A., Krogsrud, S. K., Tamnes, C. K., Skranes, J. S., ... & Walhovd, K. B. (2018). The corpus callosum as anatomical marker of intelligence? A critical examination in a large-scale developmental study. *Brain Structure and Function, 223*(1), 285-296. doi: [10.1007/s00429-017-1493-0](https://doi.org/10.1007/s00429-017-1493-0)
- Winner, E. (2000). The origins and ends of giftedness. *American psychologist, 55*(1), 159-169. doi: [10.1037/0003-066X.55.1.159](https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.159)