

Alta capacidad intelectual desde la neuroimagen y la pedagogía diferencial. ¿Hablamos de lo mismo?

Giftedness from the perspective of neuroimaging and differential pedagogy. Are we talking about the same thing?

Dra. María Isabel GÓMEZ-LEÓN. Profesora. Universidad Internacional de La Rioja (isabel.gomez@unir.net).

Resumen:

El avance en las técnicas de neuroimagen ha supuesto una poderosa herramienta para estudiar las diferencias en la eficiencia cognitiva de niños y adolescentes. Sin embargo, tradicionalmente estos estudios han utilizado el cociente intelectual (CI) como única medida de capacidad cognitiva. Cada vez más expertos del desarrollo del talento señalan serias limitaciones en el uso exclusivo de esta medida para identificar las variables que configuran la alta capacidad intelectual (ACI), tanto en cuanto a la validez del constructo que pretende medir como en cuanto a la fiabilidad y estabilidad de la medida. El objetivo de este estudio es analizar si el constructo de inteligencia en el que se basan los estudios de neuroimagen recientes, el tipo de instrumento utilizado para cuantificar la ACI y los resultados neurobiológicos obtenidos son

coherentes con los avances hallados por la pedagogía diferencial en cuanto al constructo multidimensional de la inteligencia. Para ello, se ha realizado una revisión sistemática tanto de las investigaciones en neuroimagen que intentan explicar los correlatos neuronales de la ACI en niños y adolescentes como de aquellas investigaciones con mayor relevancia en el ámbito del desarrollo de la ACI. Los hallazgos sugieren que las redes y dinámicas cerebrales asociadas a la creatividad y la motivación podrían influir en la variabilidad del rendimiento cognitivo. Sin embargo, la mayoría de los estudios de neuroimagen continúan utilizando el CI como única medida de capacidad intelectual, por lo que la mayoría de los datos obtenidos a través de estos estudios no pueden generalizarse a lo que los expertos en la pedagogía diferencial denominan ACI.

Fecha de recepción de la versión definitiva de este artículo: 03-07-2022.

Cómo citar este artículo: Gómez-León, M. I. (2022). Alta capacidad intelectual desde la neuroimagen y la pedagogía diferencial. ¿Hablamos de lo mismo? | *Giftedness from the perspective of neuroimaging and differential pedagogy. Are we talking about the same thing?* Revista Española de Pedagogía, 80 (283), 451-473. <https://doi.org/10.22550/REP80-3-2022-02>

<https://revistadepedagogia.org/>

ISSN: 0034-9461 (Impreso), 2174-0909 (Online)

revista española de pedagogía
año 80, n.º 283, septiembre-diciembre 2022, 451-473



Descriptores: alta capacidad intelectual, inteligencia, pedagogía diferencial, neuroimagen, evaluación, identificación, cociente intelectual.

Abstract:

Advances in neuroimaging techniques have significantly enhanced our ability to study differences in cognitive efficiency in children and adolescents. However, these studies have traditionally used intelligence quotient (IQ) as the sole measure of cognitive ability. Talent development experts are increasingly drawing attention to the major limitations of exclusively using this measure to identify the variables associated with giftedness, in terms of the validity of the construct they intend to measure and in respect of the measurement's reliability and stability. The aim of this study is to analyse whether the construct of intelligence on which recent neuroimaging studies are based, the type of instrument used to quantify giftedness and the corresponding neurobiological

results are consistent with the advances made by differential pedagogy in respect of the multidimensional construct of intelligence. To this end, a systematic review both of neuroimaging research that seeks to explain the neural correlates of giftedness in children and adolescents, on the one hand, and of research focussing more prominently on the field of giftedness development, on the other, has been carried out. The findings suggest that brain networks and dynamics associated with creativity and motivation may have a bearing on cognitive performance variability. However, as the majority of neuroimaging studies continue to use IQ as the sole measure of intellectual ability, most of the data produced by these studies cannot be generalised for the purpose of determining what differential pedagogy experts refer to as "giftedness".

Keywords: giftedness, intelligence, differential pedagogy, neuroimaging, assessment, identification, intelligence quotient.

1. Introducción

El cerebro humano está diseñado fundamentalmente para la eficiencia, es decir, para minimizar el costo del procesamiento de la información y maximizar la capacidad de crecimiento y adaptación. Pero ¿por qué los cerebros de algunas personas parecen ser más eficaces que los de otras? Este ha sido uno de los temas de mayor interés durante los últimos años para la educación y la neurociencia.

Los estudios de asociación de todo el genoma (GWAS) han evolucionado hasta

convertirse en una poderosa herramienta para investigar los genes que subyacen a la variación en la capacidad intelectual. Mientras que, por otra parte, los datos obtenidos a través de imágenes cerebrales (neuroimagen) han permitido avanzar en el descubrimiento de los correlatos neuronales de estas diferencias. Se ha observado que la genética no causa directamente variaciones en la inteligencia. La genética influye en los fenotipos, que a su vez influyen en la inteligencia (Goriounova y Mansvelder, 2019). Por esta razón, la neuroimagen se ha convertido en una herramienta

fundamental para comprender los efectos de la evolución (filogenia) y el desarrollo (ontogenia) en el aprendizaje y la capacidad intelectual a lo largo del ciclo vital.

Con los avances recientes en las técnicas de neuroimagen hacia una resolución más alta y con un enfoque específico en las poblaciones pediátricas, se han podido delinear conexiones estructurales y funcionales de corto y de largo alcance para comprender la maduración cerebral típica y atípica. Estos estudios han hallado que la eficiencia neuronal está relacionada con determinadas características, tanto cuantitativas como cualitativas, de la red neuronal, como una mayor densidad de sustancia gris y blanca, un ritmo de maduración precoz, un periodo de mielinización más prolongado, una mayor interconectividad estructural y funcional y un mayor grado de activación interhemisférica (Gómez-León, 2020d; Goriounova y Mansvelder, 2019). Estas características se han asociado a diferencias en el funcionamiento intelectual, como un procesamiento más rápido, un menor gasto energético, una mayor eficiencia ejecutiva, y un alto nivel de pensamiento analógico, abstracto y creativo (Gómez-León, 2019, 2020c; Sastre-Riba y Ortiz, 2018). Un hallazgo constante en la teoría de la neurociencia en red es que las redes cerebrales funcionales y estructurales con mayor eficiencia global se asocian con puntuaciones más altas en las evaluaciones de inteligencia general tanto en niños como en adultos (Barbey, 2018).

Estas investigaciones se han centrado tradicionalmente en las pruebas psico-

métricas de cociente intelectual (CI) para medir la inteligencia, ya sean de factor único como el test de Raven, o multifactoriales, como las escalas de Wechsler (Barbey, 2018; Sastre-Riba y Castelló, 2017). Las pruebas de CI miden el pensamiento convergente a través de la selección de una única respuesta correcta, a diferencia de las tareas que evalúan el pensamiento divergente donde el niño puede resolver un problema mediante respuestas abiertas, intuitivas o creativas.

Existe un acuerdo bastante generalizado en que la inteligencia no es una, sino más bien un conjunto de capacidades y habilidades que permiten razonar, planificar, *comprender ideas complejas*, aprender rápidamente, *resolver problemas de una manera eficiente* y adaptarse al entorno (Castelló, 2008; Sternberg, 2012). Una de las habilidades que permite a los humanos adaptarse, prosperar en entornos rápidamente cambiantes, realizar tareas complejas y tomar decisiones de alta calidad es la capacidad para crear e innovar. Los niños y adolescentes con altas capacidades intelectuales (ACI) no solo perciben relaciones complejas, forman conceptos más rápido y almacenan datos de forma más eficiente, sino que también se desempeñan mejor en la resolución de problemas novedosos y manipulan la información de una manera más creativa (Gómez-León, 2020b). En ellos, los aspectos creativos de la inteligencia van acompañados de una mayor capacidad de razonamiento fluido, memoria de trabajo e imágenes mentales (Gómez-León, 2020b; Jiménez et al., 2008). Por lo que los expertos del desarrollo del talento se-

ñalan que la ACI no es solo un fenómeno cognitivo que pueda ser medido a través de instrumentos tradicionales como los tests de CI, sino que requiere de la integración de diferentes recursos cognitivos y emocionales que son los que posibilitan un aprendizaje más precoz, distintos tipos de razonamiento y la generación de ideas útiles y novedosas (Pfeiffer, 2020; Renzulli, 2021).

Algunos autores distinguen entre las capacidades académicas relacionadas con el CI y las productivo-creativas relacionadas con el razonamiento inductivo y la solución novedosa de los problemas (Renzulli, 2021). El predominio de unas u otras puede dar lugar a diferentes perfiles de ACI con características cognitivas y conductuales diferentes. Aunque no existe un solo perfil intelectual que pueda definir a las personas con una mayor capacidad para adaptarse eficazmente al entorno, a medida que el perfil es más complejo, es decir, presenta tanto características convergentes como divergentes, el sujeto es capaz de atender a las demandas de una manera más eficiente (Sastre-Riba y Ortiz, 2018). Esta eficiencia depende tanto de la cantidad de información almacenada como del número de recursos intelectuales disponibles y de la capacidad para gestionarlos (Castelló, 2008; Renzulli, 2021).

Algunos de los autores más relevantes en el campo de la ACI (Renzulli, 2021; Sastre-Riba y Castelló, 2017; Tourón, 2020) argumentan que utilizar el CI como única medida de inteligencia supone que:

- Los resultados obtenidos solo sean aplicables a algunas de las aptitudes que posibilitan la conducta inteligente, pero no a todas y, posiblemente, no a las más relevantes.
- No sea posible relacionar los resultados con la complejidad diferencial de los perfiles intelectuales de la ACI.
- Las muestras de niños y adolescentes con ACI puedan estar sesgadas tanto con falsos positivos como con falsos negativos.

El objetivo de este estudio es analizar si el constructo de inteligencia en el que se basan los estudios de neuroimagen recientes, el tipo de instrumento utilizado para cuantificar la ACI y los resultados neurobiológicos obtenidos son coherentes con los avances hallados por la pedagogía diferencial en cuanto al constructo multidimensional de la inteligencia.

Para ello, se realiza una revisión exhaustiva de los estudios que informan sobre los correlatos neuronales de una elevada capacidad cognitiva en niños y adolescentes. En concreto, se estudiará: 1) el concepto de inteligencia defendido por los autores; 2) el tipo de instrumento utilizado para medir la capacidad intelectual, o inteligencia; 3) el punto de corte, si lo hubiera, a partir del cual se considera ACI; 4) las áreas cerebrales estudiadas; 5) los resultados hallados y su posible generalización a la población con ACI.

La validez de los resultados obtenidos por los estudios de neuroimagen se dis-

cute comparándolos con los argumentos que exponen algunos de los autores de los modelos de inteligencia más actuales y con mayor respaldo de la investigación y la comunidad científica (Gagné, 2015; Pfeiffer, 2020; Renzulli, 2021; Sastre-Riba y Castelló, 2017; Tourón, 2020).

2. Metodología

Se realizó una revisión sistemática de los estudios en neuroimagen que relacionan variables neurobiológicas con la capacidad cognitiva de los sujetos siguiendo los criterios establecidos en la declaración PRISMA. Para la búsqueda de estos estudios se utilizaron los términos (gifted* OR talent OR «high ability» OR «high intellectual ability» OR «intelligence» OR «IQ») AND («neuro*» OR «MRI» OR «brain networks» OR «structural connectivity» OR «functional connectivity» OR «morphometry» OR «DTI» OR «functional magnetic

resonance imaging») AND («development» OR «children» OR adolescents), a través de las bases de datos Pubmed, Scopus, Web of Science y Google Scholar sin restricción idiomática. Fueron identificaron 688 artículos científicos.

Para aplicar los criterios de inclusión y exclusión se importaron registros de las bases de datos a la herramienta Rayyan QCRI (Ouzzani et al., 2016). Se eliminaron los duplicados y se realizó un análisis inicial utilizando los resúmenes de los artículos. Como el objetivo de este estudio era analizar el constructo de inteligencia utilizado por estos autores, se excluyeron aquellas investigaciones centradas únicamente en una o varias aptitudes cognitivas ya que no hacían referencia a la capacidad cognitiva global o la inteligencia de los sujetos. Así mismo, se excluyeron aquellos estudios que no cumplieron con los criterios de inclusión expuestos en la Tabla 1, quedando 124 artículos.

TABLA 1. Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterio de exclusión
Años de publicación: 2010-2021	Año de publicación diferente al periodo 2010-2021
Uso de técnicas de imágenes cerebrales	Artículos de revisión y de casos
Muestras de niños y adolescentes	Centrados exclusivamente en adultos
Relacionan características estructurales y funcionales del cerebro con la capacidad cognitiva global	Relacionan características estructurales y funcionales del cerebro con una o varias aptitudes cognitivas específicas (no definidas como capacidad cognitiva global)
Se evalúan las puntuaciones por encima de la media poblacional o aquellas de la parte superior de la escala	Solo analizan puntuaciones por debajo de la media poblacional.
La muestra no presenta ninguna condición médica o psicológica que pueda influir en el desarrollo del sistema nervioso.	Las muestras seleccionadas presentan alguna condición médica o psicológica que pueda influir en el desarrollo del sistema nervioso.

Fuente: Elaboración propia.

La base de datos Airtable fue utilizada con el fin de establecer un sistema de clasificación que permitiera extraer información específica: autor y año; tamaño de la muestra y sexo; rango de edad, media y desviación típica; prueba de inteligencia, intervalo de CI analizado, y punto de corte; resultados principales hallados; y parámetro cerebral estudiado. Una vez revisados todos los artículos se excluyeron aquellos que no cumplieran con los criterios de inclusión, quedando 24 artículos que fueron analizados en profundidad.

Se realizó una segunda búsqueda de los autores más relevantes dentro del ámbito del desarrollo de la ACI. Para ello, se añadieron las bases de datos Dialnet y Eric. En esta ocasión, los términos utilizados fueron («gifted*» OR «talent» OR «high ability» OR «high intellectual capacity») AND («identification» OR «Diagnosis» OR «development»). Se incluyeron artículos publicados en los últimos 4 años de revisión sistemática que cumplieran con los objetivos de este trabajo. Tras una revisión exhaustiva de los artículos se realizaron búsquedas indirectas a través de los autores más citados o de aquellos que presentasen datos relevantes o novedosos para la elaboración del trabajo.

3. Resultados

Para concretar el constructo cognitivo al que se refieren los correlatos neuronales hallados en los estudios seleccionados se especifica las características de la muestra (número, sexo y edad); el tipo de instrumento utilizado para medir la capacidad intelectual y el punto de corte a partir del cual se utiliza el término de ACI.

La resonancia magnética permite estudiar los correlatos neuronales de la capacidad cognitiva a través de diferentes modalidades de imagen. Los datos obtenidos se han organizado en función de la modalidad adoptada por los autores: resonancia magnética estructural (Tabla 2); imágenes por tensor de difusión (Tabla 3); y resonancia magnética funcional y propiedades de la red neuronal a través de los enfoques de la teoría de grafos (Tabla 4).

Una de las primeras hipótesis que intentaron relacionar las características cerebrales con la capacidad cognitiva fue que el volumen cerebral podría asociarse con la inteligencia. Actualmente, es factible investigar la relación entre la morfología de diferentes tejidos cerebrales y regiones anatómicas con la capacidad cognitiva (Tabla 2).

La materia blanca consiste en axones mielinizados que transfieren información de una región del cerebro a otra, constituye alrededor de la mitad del cerebro humano y desempeña un papel fundamental como principal conductor de la señalización neuronal y la función cognitiva. A través de imágenes de tensor por difusión es posible medir las propiedades de la microestructura de las vías de materia blanca del cerebro, como la anisotropía fraccionada (FA).

En el análisis de redes el cerebro se describe como un conjunto de nodos, o regiones del cerebro, que están vinculados a través de conexiones de materia blanca (Barbey, 2018). Los datos de la conectividad funcional del cerebro, obtenidos en reposo o con una tarea, se han utilizado para evaluar la eficiencia funcional de la red cerebral en relación con la capacidad cognitiva (Tabla 4).

TABLA 2. Estudios sobre las relaciones entre las morfometrías cerebrales y la capacidad cognitiva durante el desarrollo.

Primer autor Año de publicación	Número de la muestra (N) Sexo: Hombre (H); Mujer (M)	Rango de edad, y Media ± DE	Prueba de inteligencia Intervalo CI Punto de corte	Resultados principales	Parámetro cerebral
Burgaleta et al. (2014a)	N= 188 (78 H, 110 M)	6 - 20 11.59 años ± 3.46	WASI C.I.:99.1 -125.34	Asociaciones entre los cambios en las medidas del CI y los cambios en el espesor cortical, principalmente en áreas frontales izquierdas.	Área de superficie cortical, espesor cortical
Fjell et al. (2015)	N= 204 (98 H, 106 M)	8-20 14.8 ± 3.6	WASI C.I.: 98.3-119.7	La expansión heterogénea de la superficie cortical se correlaciona positivamente con las capacidades intelectuales.	Superficie cortical
Karama et al. (2011)	N= 207 (92 H, 115 M)	6-18.3 11.8 ± 3.5	WASI, WJPEB-III C.I.:99-123	El grosor cortical se correlaciona con el rendimiento cognitivo específico después de tener en cuenta el factor general de inteligencia.	Espesor cortical
Khundrakpam et al. (2017)	N= 586 (141 H, 165 M)	6-18	WASI Bajo CI:92-108 Alto CI:113-129	El grupo Alto CI un mayor grosor cortical, especialmente en la corteza occipital, temporal y límbica.	Espesor cortical
Lange et al. (2010)	N= 285 (130 H, 155 M)	4.10 ± 18.4 10.9 ± 0.21	WASI GCA < 6 años CI:74-144	Correlaciones positivas entre los volúmenes de materia gris temporal, materia blanca temporal y materia blanca frontal con el CI.	Volumen cerebral total y regional
MacDonald et al. (2014)	N= 303 (142 H, 161 M)	6-18,3 11.4 ± 3.5	WASI C.I.: 98.7-123.4	Una correlación positiva entre la inteligencia y el volumen estriado.	Volumen estriado

Margolis et al. (2013)	N= 76 (39 H, 37M)	5-18 10.5 ± 0.5	WASI, WISC-III C.I.:80-150	Correlación del grosor cortical en las regiones anterior y posterior con la discrepancia del CI verbal y de desempeño.	Espesor cortical
Menary et al. (2013)	N= 181 (81 H, 100 M)	9-24 16.31 ± 3.99	WASI C.I.:80-148	Asociaciones entre el grosor cortical y la inteligencia general en niños, adolescentes y adultos jóvenes.	Espesor cortical
Navas-Sánchez et al. (2016)	Superdotados Matemáticas: N= 13 (8 H, 5 M) Control: N= 17 (11H, 6M)	Superdotados Matemáticas: 12-14 Control: 11-15 años	WISC Superdotados: C.I.:112-149 Control: C.I.:112-137 Criterio de selección: Grupo superdotados matemáticas: ESTALMAT	Los adolescentes dotados en matemáticas presentan una corteza más delgada y un área de superficie más grande en regiones clave de las redes frontoparietales y de modo predeterminado.	Grosor cortical y el área de la superficie
Schnack et al. (2015)	N= 504 (282 H, 222 M)	9-60	WAIS III, WISC-III C.I.:80-140	La relación entre el grosor cortical y el área de la superficie cortical con la inteligencia a lo largo del desarrollo.	Espesor cortical, área de superficie cortical
Westerhausen et al. (2017)	N= 495 (245 H, 250 M)	6,4-21.9	WASI	Una correlación positiva de la morfología del cuerpo caloso con la inteligencia.	Cuerpo caloso

WAIS: Escala de inteligencia de adultos de Wechsler; WASI: Escala de inteligencia abreviada de Wechsler; WISC: Escala de inteligencia de Wechsler para niños; WJPEB-III: Batería Psicoeducativa; GCA: Capacidad conceptual general de la Escala de capacidad diferencial; ESTALMAT: pensamiento visuoespacial, intuición, creatividad, abstracción, manipulación y manejo de estímulos cognitivos.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 3. Estudios sobre las relaciones entre las propiedades de la materia blanca del cerebro y la capacidad cognitiva durante el desarrollo.

Primer autor Año de publicación	Número de la muestra (N) Sexo: Hombre (H); Mujer (M)	Rango de edad y Media ± DE	Prueba de inteligencia Intervalo CI Punto de corte	Resultados principales	Parámetro cerebral
Clayden et al. (2012)	N = 59 (25 H, 34 M)	8-16 11.5 ± 2.1	WISC-IV CI:88-137	Los cambios estructurales de la FA predicen el CI a gran escala.	Todo el cerebro.
Koever et al. (2019)	N = 43 (32 H, 11 M)	8-12 9.82 ± 1,06	WISC-IV	Alto CI asociado a una mayor integridad y densidad de materia blanca en los principales haces de fibras intra e inter-hemisféricas y una organización de red bien equilibrada entre las escalas local y global	Todo el cerebro
Koenis et al. (2018)	N = 330 (198 H, 132 M)	9-22.9 13.45 años	WISC-III WASI. III C.I:86.4-117	La correlación genética entre CI y eficiencia global y local aumentó con la edad.	Todo el cerebro
Navas-Sánchez et al. (2014)	Superdotados Matemáticas: N = 13 (8 H, 5 M) Control: N = 23 (19H, 4M)	Superdotados Matemáticas: 12-14 13.8 ± 0.6 Control: 12-15 años 13.4 ± 0.8	WISC Superdotados: C.I:112-149 Control: C.I:112-137 Criterio de selección ACI: ESTALMAT	El CI muestra una correlación positiva significativa con la microestructura de la materia blanca, principalmente en el cuerpo calloso.	Corteza frontal orbitaria medial. Corteza cingulada anterior rostral

Nusbaum et al. (2017)	N = 44 (36 H, 8 M)	6,01 - 20,01 11,59 años ± 3,46	WISC-IV ACI CI: ≥ 130 Control CI: 96.4 - 114	Mayor integridad de la materia blanca inter e intra-hemisférica en los niños con ACI.	Todo el cerebro.
Tames et al. (2011)	N = 168 (81 H, 87 M)	8-12 17.7 ± 6.1	WISC-IV CI:82-141	Relaciones negativas y positivas entre grosor cortical y volumen de materia blanca, respectivamente y el CI.	64 regiones corticales y subcorticales.
Wang et al. (2012)	N = 16 (8 H, 8 M)	13-18 15,3 ± 1,24 16,26 ± 1,3	WASI CI:106.8-125.46	Correlaciones positivas significativas entre FA y CI a gran escala.	Todo el cerebro.
Westerhausen et al. (2017)	N = 109 (54 H, 55 M)	8-20 17.7 ± 6.1	WASI CI:96.3-118.5	Los cambios de la materia blanca a lo largo de la vida se manifiestan a través de un patrón dinámico de interacciones neurobiológicas y ambientales.	Todo el cerebro

WAIS: Escala de inteligencia de adultos de Wechsler; WASI: Escala de inteligencia abreviada de Wechsler; WISC: Escala de inteligencia de Wechsler para niños; ESTALMAT: pensamiento visuoespacial, intuición, creatividad, abstracción, manipulación y manejo de estímulos cognitivos.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 4. Estudios sobre las relaciones entre la conectividad funcional o la eficiencia global y local del conectoma y la capacidad cognitiva durante el desarrollo.

Primer autor Año de publicación	Número de la muestra (N) Sexo: Hombre (H); Mujer (M)	Rango de edad y Media ± DE	Prueba de inteligencia Intervalo CI Punto de corte	Resultados principales	Parámetro cerebral
Bathelt et al. (2019)	N = 63 (34 H, 29 M)	7-12	WASI (Razonamiento fluido) AWMA	La eficiencia del conectoma de la sustancia blanca se asocia fuertemente con el CI y el nivel educativo.	Todo el cerebro.
Kim et al. (2016)	N = 99 (54 H, 45 M)	6-11 7.8 ± 1.22	WISC-IV (Razonamiento Perceptual)	Asociación positiva entre la eficiencia global y local y el procesamiento motor visuoespacial.	Todo el cerebro
Langeslag et al. (2013)	N = 115 (56 H, 59 M)	6-8	Snijders-Oomen Niet-verbal- R Subtest: Mosaics, Categories	Asociación entre la inteligencia no verbal y la conectividad funcional parietal-frontal	Todo el cerebro
Solé-Casals et al. (2019)	N = 29	12.03 ± 0.54	WISC EFAI CI ACI:148.80±2.93 Control:122.71 ± 3.89	Alto CI asociado a una red neuronal más integrada (menos segregada) y mayor comunicación inter-modular	Materia gris cortical
Suprano et al. (2019)	N = 58 (44 H, 14 M)	8-12 10.1 ± 1.2	WISC-IV CI ACI 130	Mayor eficiencia y transmisión neuronal en el grupo de ACI.	Todo el cerebro

WAIS: Escala de inteligencia de adultos de Wechsler; WASI: Escala de inteligencia abreviada de Wechsler; WISC: Escala de inteligencia de Wechsler para niños; AWMA: Evaluación de la memoria de trabajo; tarea de recuperación de dígitos, recuperación de dígitos hacia atrás, matriz de puntos y tarea Mir X; EFAI: Evaluación Factorial de las Aptitudes Intelectuales.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la última década han surgido numerosos estudios de Big Data en todo el mundo que evalúan la función y la estructura del cerebro humano en desarrollo con imágenes de resonancia magnética, sin embargo, estos estudios no se han incluido porque las muestras revisadas no cumplían con algunos de los criterios de inclusión de este estudio.

4. Discusión

4.1. Análisis de la muestra

A pesar de los avances en los métodos de exploración para estudiar los principios de la organización del cerebro estos rara vez se han aplicado a poblaciones en desarrollo, especialmente durante la primera infancia, una edad en la que se producen cambios cognitivos sustanciales. Las muestras de todos los estudios analizados superan los 4 años y 10 meses de edad. La dificultad para trabajar con muestras de menor edad radica, fundamentalmente, en la ansiedad que genera en estos niños ingresar al escáner de resonancia magnética lo que puede limitar su colaboración. Además, la capacidad de atención limitada y la baja precisión con respecto al desempeño de la tarea, junto con el movimiento excesivo de la cabeza, son factores potenciales que complican la calidad de los datos y, en última instancia, dificultan su interpretación.

Las investigaciones señalan que es a partir de los 4 años donde la exposición a entornos favorables o desfavorables, o la focalización de ciertos dominios a expensas de otros, tiene mayores influencias en el desarrollo cognitivo y creativo

(Gómez-León, 2020c). Por lo que existe un consenso cada vez mayor de que las habilidades de la ACI comienzan, alcanzan su punto máximo y terminan sus trayectorias a diferentes edades dependiendo del dominio específico donde se desarrollan (p. ej., matemáticas, escritura creativa...) (Pfeiffer, 2020). Sin embargo, solo la investigación de Navas-Sánchez et al. (2014) ha tenido en cuenta el dominio específico donde se desarrollan las habilidades.

Por otra parte, los resultados del estudio de Schnack et al. (2015), corroboran y complementan otras investigaciones longitudinales donde se observa que los niños con altas puntuaciones en CI siguen un patrón de maduración cortical atípico. Por ejemplo, el desarrollo cortical de los niños con un alto CI se acelera durante la edad de 11-12.5 años y se ralentiza durante la edad de 12.5-14 años, mientras que la corteza de los niños con un CI promedio se desarrolla lentamente durante la edad de 11-12.5 años y se acelera durante la edad de 12.5-14 años (Gómez-León, 2020d). Este dato es especialmente importante cuando se estudian muestras transversales donde las medidas solo dan una visión parcial de los cambios esperados durante el desarrollo. Sin embargo, en ninguno de los estudios consultados se ha tenido en cuenta las diferencias en el patrón de maduración de las muestras.

4.2. Constructo de inteligencia

Excepto el estudio de Navas-Sánchez et al. (2014), todas las investigaciones utilizan una perspectiva monolítica para medir la inteligencia obtenida a través de los test de CI. Estas escalas están basadas en el modelo de dos factores de Spearman que

sostiene que el desempeño en las pruebas de capacidad mental refleja conjuntamente un factor específico, *s*, que es único para cada prueba, y un factor general, *g*, que es común en todas las pruebas. En el nivel de habilidad general las personas que se desempeñan bien en un dominio también tienden a desempeñarse bien en otros, es lo que se denomina variedad positiva. Los autores de los estudios revisados justifican la validez y relevancia de este instrumento como única medida de inteligencia argumentando que las puntuaciones: están altamente correlacionadas y generan un fuerte factor general que subyace a las diferentes capacidades; son estables en el tiempo; muestran una alta heredabilidad; y predicen los principales resultados de la vida (Goriounova y Mansvelder, 2019).

Sin embargo, algunos autores han analizado si las diferencias promedio de CI entre grupos con diferente nivel académico pueden atribuirse a *g*, encontrando que no existe una asociación significativa entre el constructo científico de la inteligencia general (*g*) y las diferencias en la inteligencia en general (CI) evaluadas por la escala WAIS-III (Wechsler Adult Intelligence Scale) (Colom et al., 2002).

Por otra parte, la evidencia científica ha mostrado que la capacidad cognitiva se basa en procesos altamente dinámicos que dependen de la actividad neuronal. La estructura y la funcionalidad de las regiones cerebrales asociadas con el CI cambian durante la niñez y la edad adulta y están influenciadas por el aprendizaje, las diferencias hormonales, la experiencia y la edad (Gómez-León, 2020c; Goriounova y

Mansvelder, 2019), por lo que las puntuaciones de CI también pueden cambiar significativamente a lo largo de todo el ciclo vital. Un informe del Study of Normal Brain Development (NIH) reveló que el 25 % de los participantes de entre 6 y 18 años mostraron cambios de 9 puntos o más (casi 2/3 de desviación estándar) en pruebas test-retest realizadas con un intervalo de 2 años (Waber et al., 2012). Además, las horas de práctica predicen el alto rendimiento en diversos dominios (Pfeiffer, 2020)

En cuanto a la heredabilidad, los estudios de asociación de todo el genoma muestran que la inteligencia es un factor altamente poligénico donde las variantes genéticas solo pueden predecir del 20 % al 21 % de la varianza del CI, menos de la mitad de las estimaciones de heredabilidad en estudios de gemelos (>50 %), y el 0.022 % de la varianza cuando se asocia a los logros educativos como fenotipo de la inteligencia (Goriounova y Mansvelder, 2019). Por lo que los efectos genéticos sobre la capacidad cognitiva no operan independientemente de los factores ambientales, sino que se revelan a través de la transcripción regulada por señales impulsadas por la experiencia. En este sentido, existen datos que muestran que el estatus socioeconómico modifica la heredabilidad del CI en niños pequeños (Turkheimer et al., 2003) y que la educación de los padres tiene una fuerte asociación con el CI de los niños que no está mediada por los volúmenes cerebrales totales o regionales (Lange et al., 2010).

Además, cada vez hay más evidencias de que las puntuaciones de CI no son un buen predictor del logro académico y del éxito en

la vida (Sastre-Riba y Castelló, 2017). En España las estadísticas muestran que el 70 % de los alumnos con ACI tienen un bajo rendimiento escolar y entre un 35-50 % fracasan escolarmente (Nolla et al., 2017). En el mundo laboral, los trabajadores que tienen un rendimiento académico satisfactorio no siempre alcanzan una carrera tan brillante como su CI (Sugiarti et al., 2018). Algunos autores han argumentado que ser seleccionado por un alto CI hace que las personas tengan acceso a un mayor número de recursos, lo que posibilita el desarrollo de las capacidades intelectuales y un mejor rendimiento en el trabajo (Byington y Felps, 2010), esta sería una explicación alternativa a la afirmación predominante de que el CI por sí mismo facilita el desempeño laboral. Más recientemente, aprovechando los datos del Adolescent Brain Cognitive Development (ABCD), uno de los mayores estudios de neuroimagen realizado en adolescentes, se ha podido demostrar que el estatus socioeconómico influye en el desarrollo cognitivo (Sripada et al., 2021), y no necesariamente a la inversa.

Los modelos de desarrollo del talento actuales se alejan de esta visión reduccionista, estática e inmutable de la inteligencia pasando a considerarla como un estado dinámico, ecológico, transaccional y de desarrollo (Renzulli, 2021; Tourón, 2020). Desde esta perspectiva cada etapa del desarrollo está influida por variables como los recursos disponibles, las oportunidades proporcionadas y aprovechadas, el apoyo social y emocional, las elecciones personales, ciertas características de personalidad, eventos imprevistos e incluso la buena fortuna. Sería el conjunto de estas variables lo

que determinaría la puntuación obtenida en las pruebas de CI y, en última instancia, el éxito en la vida (Pfeiffer, 2020).

4.3. Instrumento de medida

Todas las investigaciones analizadas en este estudio han utilizado diferentes escalas de Wechsler, excepto la investigación de Langeslag et al. (2013), que utilizó la prueba de inteligencia no verbal Snijders-Oomen (SON). El 37 % de las investigaciones han utilizado la Wechsler Intelligence Scale for Children de Wechsler (WISC). Esta escala está diseñada para estimar el factor *g* de Spearman, en el que las puntuaciones compuestas deben estar dentro de 1.5 desviaciones típicas (23 puntos) para que el CI de escala completa sea un constructo unitario e interpretable (Silverman y Gilman, 2020). Aunque esta escala es una de las más utilizadas para la medida del CI, los niños con ACI tienden a obtener puntuaciones medias/altas en tareas de razonamiento abstracto (verbal, visual espacial, y razonamiento fluido) y puntuaciones más bajas en tareas de memoria de trabajo y velocidad de procesamiento. Las discrepancias entre estas puntuaciones pueden ser lo suficientemente importantes como para que los resultados no sean interpretables. Por lo que la National Association for Gifted Children (NAGC) recomienda hallar el Índice de Capacidad General obtenido a través de 6 tareas de Comprensión Verbal y Razonamiento Perceptivo, ampliamente vinculadas con la aptitud de razonamiento abstracto que es la que mejor identifica la ACI.

El 54 % de los estudios examinados han utilizado la versión abreviada de la escala de Wechsler WASI (*Wechsler Abbrevia-*

ted Scale of Intelligence) con 4 subpruebas (*similitudes, vocabulario, razonamiento matricial, diseño de bloques*). Esta forma breve se ha utilizado para obtener una evaluación rápida y confiable de la capacidad intelectual. La WASI está construida sobre la base de subpruebas que evalúan habilidades cognitivas de alto nivel, como la comprensión verbal y el razonamiento perceptivo. Aunque estas pruebas han mostrado ser globalmente eficientes en el contexto de la ACI (Aubry y Bourdin, 2018), la declaración de posición de WISC IV y V de la NAGC advierte que algunas variables pueden reducir los puntajes de CI en esta población. Una de ellas es el tiempo de administración estimado para cada prueba, en general, estos niños son más reflexivos que los niños normotípicos y no son particularmente rápidos cuando realizan tareas de papel y lápiz sin sentido y cronometradas. Suelen puntuar más alto en subpruebas sin tiempo que involucran razonamiento abstracto que en subpruebas de razonamiento con sincronización. Además, los evaluadores han informado múltiples respuestas correctas adicionales en algunas subpruebas si la administración continúa hasta los límites de la prueba después de que el niño alcance el criterio de interrupción de tres fallas consecutivas. Por lo que cortar los criterios de discontinuación puede acelerar la administración de la prueba, pero penaliza a los niños con ACI y puede subestimar sus habilidades (Silverman y Gilman, 2020). En ninguno de los estudios examinados consta que se hayan tenido en cuenta estas recomendaciones, lo que puede afectar a la calidad de la medición.

Se ha demostrado que las diferencias en la calidad de la medición tienen un efec-

to moderador sobre la correlación entre el volumen cerebral y la inteligencia y la conectividad funcional e inteligencia en estado de reposo. Con el fin de conocer esta calidad Gignac y Bates (2017) han presentado una guía esencial que relaciona el número de pruebas, sus dimensiones cognitivas, el tiempo de prueba y la correlación con *g* en una escala de calidad de 4 puntos: 1: «mala»; 2: «regular»; 3: «buena»; y 4: «excelente». Siguiendo estos criterios, de los 23 artículos revisados el 42 % tendrían una categoría «buena» (Bathelt et al., 2019; Clayden et al., 2012; Kim et al., 2016; Kocevar et al., 2019; Langeslag et al., 2013; Navas-Sánchez et al., 2014; Nusbaum et al., 2017; Solé-Casals et al., 2019; Tamnes et al., 2011; Suprano et al., 2019) y el 58 % restante «regular».

4.4. Punto de corte entre ACI y CI normotípico

El 79 % de los estudios seleccionados correlacionan las medidas neurobiológicas con el CI, pero no realizan una comparación estadística entre grupos con o sin ACI. Puede haber un error de interpretación al pensar que los dos tipos de estudios deben converger necesariamente hacia los mismos resultados, ya que el grupo con alto CI puede no encontrarse simplemente en un extremo del continuo de la inteligencia general y las propiedades cerebrales correspondientes, sino que pueden presentar características estructurales y funcionales cualitativamente diferentes (Navas-Sánchez et al., 2014). Además, de los cinco estudios que realizan comparaciones entre grupos, solo tres (Nusbaum et al., 2017; Solé-Casals et al., 2019; Suprano et al., 2019) siguen las recomendaciones de la APA (Asociación Americana de Psicólogos) (American Educational

Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement and Education, 2014) utilizando un punto de corte de 2 desviaciones estándar por encima del promedio (CI de 130 en Wechsler) para identificar a los niños con o sin ACI. Los dos estudios restantes (Khundrakpam et al., 2017; Navas-Sánchez, 2014) establecen puntos de corte próximos a la media poblacional, a pesar de que las investigaciones señalan que a medida que el perfil intelectual se aleja más de las puntuaciones normotípicas las características diferenciales del funcionamiento cognitivo son cuantitativa y cualitativamente mayores (Sastre-Riba y Ortiz, 2018).

4.5. Áreas cerebrales estudiadas y hallazgos neurobiológicos relacionados con el CI

Los hallazgos de las investigaciones morfométricas examinadas muestran que el volumen del cerebro, los volúmenes de materia gris y blanca, el volumen de algunas estructuras subcorticales, como el estriado, y el grosor y la superficie de algunas regiones corticales tienen correlaciones positivas con el CI. Sin embargo, el 72 % de las investigaciones se han centrado principalmente en las características anatómicas de la corteza cerebral, asociada al razonamiento lógico-deductivo, mientras que solo un 28 % han estudiado estructuras subcorticales relacionadas con la creatividad y la motivación, a pesar de la amplia evidencia sobre su relación con la cognición de orden superior (Gómez-León, 2020a; 2020b).

La materia blanca juega un papel clave durante el desarrollo de las funciones cognitivas, de hecho, a medida que las regio-

nes cerebrales distantes se interconectan de manera más eficiente, la capacidad de transferir y analizar información también se vuelve más eficiente contribuyendo de forma importante en la velocidad de procesamiento y el desarrollo cognitivo. De las investigaciones que han estudiado la integridad de la materia blanca en el cerebro el 87 % lo han hecho tanto en regiones corticales como subcorticales hallando correlaciones positivas con el CI. Este mayor número de conexiones inter e intrahemisférica también ha sido asociado en numerosas ocasiones con el pensamiento creativo (Gómez-León, 2020b), sin embargo, ninguna de las investigaciones revisadas ha analizado si estos resultados son debidos, o no, o en qué medida, a los efectos superpuestos de perfiles complejos donde interaccionan procesos convergentes y divergentes.

Los estudios que hacen referencia a la relación entre la conectividad funcional de las conexiones neuronales y la capacidad cognitiva muestran una correlación positiva entre la eficiencia local y global de la red y las aptitudes lógicas deductivas medidas a través del CI. La capacidad cognitiva surgiría de las contribuciones de diferentes regiones cerebrales distribuidas que funcionan juntas como una red integrada y que interactúan produciendo variaciones en el sistema a lo largo del desarrollo. Cuando se comparan grupos de ACI con diferentes perfiles en la escala de Wechsler, heterogéneos (puntuación >130 en comprensión verbal o en razonamiento perceptivo) y homogéneos (puntuación >130 en ambas escalas), se encuentra una mayor conectividad estructural y funcional en el grupo homogéneo (Nusbaum et

al., 2017; Suprano et al., 2019). Además, investigaciones neurocognitivas recientes han encontrado que la integración de la red neuronal, su interacción dinámica, y la capacidad de alcanzar estados de red difíciles que faciliten la resolución adaptativa de problemas es mayor en procesos relacionados con la creatividad que en aquellos relacionados con la inteligencia (Kenett et al., 2018). Sin embargo, solo el estudio de Navas-Sánchez et al. (2014) ha utilizado tareas de respuesta abierta que permitan estudiar la relación entre la integración e interacción de la red y la creatividad en perfiles de ACI complejos.

4.6. Generalización de los resultados de las técnicas de neuroimagen a la ACI

Es posible que el hecho de reducir el constructo de inteligencia a una sola dimensión radique en la dificultad que supone encontrar un instrumento adecuado para medirla. El propio Binet, autor de las primeras pruebas de inteligencia, siendo consciente de los límites de su escala, tuvo que descartar las tareas de creatividad porque no pudo encontrar un método riguroso para evaluarlas, lo que condicionó el instrumento que posteriormente utilizó para medir la inteligencia (Sternberg y O'Hara, 2005).

Wechsler, el autor de las pruebas utilizadas por el 96 % de los estudios revisados, admite que la inteligencia, tal y como él la concibe, no puede ser medida por ningún test, o, al menos, no en su totalidad y, en todo caso, no de manera directa, «nuestros tests de inteligencia solo llegan a medir una parte y no todas las capacidades que constituyen el comportamiento inteligente»¹ (Wechsler, 1943, p. 101, traducción de

la autora). Según este autor los tests de inteligencia, como medida de la aptitud intelectual, solo explican entre un 50 % y 70 % del comportamiento inteligente, mientras que el resto depende de factores no intelectivos. Es más, en el caso de existir una contradicción entre los datos psicométricos y cualitativos aconseja guiarse por estos últimos (Wechsler, 1943).

A pesar de que la mayoría de los autores de la pedagogía diferencial están de acuerdo en que basar el concepto de inteligencia solo en los puntajes de las pruebas de CI es ignorar muchos aspectos importantes de la capacidad mental (Pfeiffer, 2020), todos los estudios revisados han asociado la inteligencia con las habilidades de razonamiento lógico-deductivo y académicas medidas a través del CI. Este tipo de pruebas están relacionadas con los procesos de memorización y reproducción de los aprendizajes. Sin embargo, no evalúan la capacidad para adaptarse a situaciones poco familiares o resolver problemas nuevos y complejos, lo que requiere de habilidades relacionadas con la creatividad y el pensamiento divergente (Sternberg y O'Hara, 2005).

La creatividad de alto nivel está asociada a una puntuación de CI por encima del promedio, es más, cuanto más exigente es la demanda del potencial creativo más altos son los umbrales mínimos necesarios de CI (Jiménez et al., 2008). La evidencia científica ha mostrado reiteradamente que los niños y adolescentes con ACI no solo muestran un mayor CI y un mejor funcionamiento ejecutivo, sino también una creatividad excepcional y una mayor motivación para la tarea (Gómez-León, 2020a;

2020b; Jiménez et al., 2008; Pfeiffer, 2020; Renzulli, 2021; Sastre-Riba y Ortiz, 2018). Por lo que el 92 % de los autores de los test más usados en la evaluación de la ACI, entre ellos Renzulli, Pfeiffer, Reynolds (RIAS), Kaufman, Elliot (BAS3), Raven, y los autores del Weschler, están de acuerdo en que el uso de una sola dimensión para identificar la ACI proporciona una muestra limitada del perfil de la capacidad del niño o del adolescente pudiendo subestimar o sobreestimar su capacidad o potencial. A pesar de ello, solo la investigación de Navas-Sánchez et al. (2014) tiene en cuenta este aspecto. Mediante tareas que pueden categorizarse como cognitivas, motivacionales y creativas, estos autores hallaron que los niños con ACI (alto CI y alta creatividad), frente a los niños que solo tenían un alto CI, no solo utilizaban estrategias más eficientes e innovadoras para resolver problemas nuevos y complejos, sino que, además, presentaban una estructura cerebral diferente:

Una mayor conectividad intrahemisférica en algunas regiones del cuerpo calloso relacionadas con el razonamiento fluido, el funcionamiento ejecutivo y la memoria de trabajo.

Una mayor conectividad en las redes frontoparietales y frontoestriatales implicadas en el pensamiento creativo, el procesamiento por analogías y la motivación.

Una mayor superficie en la corteza visual bilateral relacionado con el procesamiento de imágenes mentales enriquecidas asociadas con la memoria de trabajo visuoespacial.

Según estos autores un alto CI podría mejorar la capacidad de procesamiento de la información entre hemisferios, pero una ACI, es decir un alto CI junto con una alta creatividad y motivación, permitiría una mayor participación en situaciones cada vez más difíciles y novedosas, lo que supondría una ventaja adaptativa, puesto que incrementaría el ritmo de aprendizaje, la flexibilidad cognitiva y la adaptación de todo el sistema a los cambios constantes del entorno y del propio sistema.

5. Conclusión

Existen diferencias individuales en la capacidad para aprender, adaptarse a los cambios del entorno y resolver problemas nuevos y complejos. Los últimos estudios de neuroimagen han supuesto un avance sin precedentes en el desarrollo de instrumentos que permiten estudiar los correlatos neuronales de estas diferencias, sin embargo, estos avances contrastan con el instrumento utilizado para medir la inteligencia. Un instrumento basado en la concepción tradicional y reduccionista de principios del siglo xx en la que la inteligencia es considerada sinónimo del CI.

Expertos en pedagogía diferencial consideran la ACI como una configuración neurobiológica multidimensional que puede, o no, tener una correspondencia con las puntuaciones obtenidas en los test de CI. Desde esta disciplina, la ACI está configurada por componentes lógico-deductivos y creativos que, necesariamente, deben medirse para la identificación de la ACI. Sin embargo, son escasos los estudios de neuroimagen que estudian cómo interaccionan

estos componentes en el desarrollo de los niños con ACI, uno de los principales motivos puede ser que los sistemas y procesos implicados se han investigado de forma aislada e independientemente el uno del otro.

Solo uno de los estudios analizados ha tenido en cuenta el perfil intelectual de los participantes, basado en tareas convergentes y divergentes, encontrando que tener un alto CI y una ACI (alto CI y alta creatividad) son dos constructos diferentes. Los niños con ACI muestran cerebros más eficientes con áreas densamente interconectadas que permiten interacciones mutuas entre diferentes procesos cognitivos, lo que, a su vez, da lugar a respuestas más eficientes y adaptadas al dominio concreto donde se manifiestan.

Estos resultados sugieren que, en la actualidad, la mayoría de los datos obtenidos a través de los estudios de neuroimagen no pueden ser generalizados a la población con ACI. Se evidencia la necesidad de realizar un verdadero trabajo interdisciplinar que permita establecer un consenso en cuanto a la validez y la fiabilidad del constructo que se pretende medir y de los instrumentos utilizados para hacerlo.

Conocer, tanto desde una perspectiva biológica como cognitiva, las distintas habilidades y procesos que posibilitan el desarrollo de la ACI es fundamental para adoptar planes educativos adecuados. Si el desarrollo de las habilidades del siglo XXI «consiste en aplicar los correspondientes conocimientos, habilidades de investigación, habilidades creativas, habilidades de pensamiento crítico y habilidades interpersonales a la solución de problemas rea-

les» (Renzulli, 2021, p. 25, traducción de la autora) se sugiere que sean en estas capacidades donde, además, se estudien los correlatos neuronales de la inteligencia.

Nota

¹ La **revista española de pedagogía** se publica en español y en inglés. Por este motivo, sigue el criterio, cuando se citan textos ajenos, de acudir a los originales que están escritos en esas lenguas y de poner su traducción oficial, cuando tal texto se haya editado también en el otro idioma. En caso de que no se haya producido esa traducción oficial, el texto citado se ofrecerá a los lectores traducido o por el autor del artículo (señalándose que la traducción es del autor del artículo), o por el traductor jurado contratado por la revista.

Referencias bibliográficas

- American Educational Research Association, American Psychological Association y National Council on Measurement and Education (2014). *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
- Aubry, A. y Bourdin, B. (2018). Short forms of Wechsler scales assessing the intellectually gifted children using simulation data [Formas cortas de las escalas Wechsler que evalúan a los niños superdotados intelectualmente utilizando datos de simulación]. *Frontiers in psychology*, 9, 830. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00830>
- Barbey, A. K. (2018). Network Neuroscience Theory of human intelligence [Teoría de la neurociencia en red sobre la inteligencia humana]. *Trends in cognitive sciences*, 22 (1), 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.10.001>
- Bathelt, J., Johnson, A., Zhang, M. y Astle, D. E. (2019). The cingulum as marker of individual differences in neurocognitive development [El cíngulo como marcador de las diferencias individuales en el desarrollo neurocognitivo]. *Scientific reports*, 9 (1), 2281. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38894-z>
- Burgaleta, M., Johnson, W., Waber, D. P., Colom, R. y Karama, S. (2014a). Cognitive ability changes and dynamics of cortical thickness deve-

- lopment in healthy children and adolescents [Cambios en la capacidad cognitiva y dinámica del desarrollo del grosor cortical en niños y adolescentes sanos]. *NeuroImage*, 84, 810-819. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.038>
- Byington E. y Felps W. (2010). Why do IQ scores predict job performance? An alternative, sociological explanation [¿Por qué las puntuaciones de CI predicen el rendimiento laboral? Una explicación alternativa y sociológica]. *Research in Organizational Behavior*, 30 (C), 175-202. <https://doi.org/10.1016/j.riob.2010.08.003>
- Castelló, T.A. (2008). Bases intelectuales de la excepcionalidad, un esquema integrador. **revista española de pedagogía**, 240, 203-220.
- Clayden, J. D., Jentschke, S., Muñoz, M., Cooper, J. M., Chadwick, M. J., Banks, T., Clark, C. A. y Vargha-Khadem, F. (2012). Normative development of white matter tracts: similarities and differences in relation to age, gender, and intelligence [Desarrollo normativo de los tractos de materia blanca: similitudes y diferencias en relación con la edad, el sexo y la inteligencia]. *Cerebral cortex*, 22 (8), 1738-1747. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr243>
- Colom R., Abad F. J., García L. F. y Juan-Espinoso, M. (2002). Educación, coeficiente intelectual de escala completa de Wechsler y *g*. *Intelligence*, 30 (5), 449-462. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00122-8](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00122-8)
- Fjell, A. M., Westlye, L. T., Amlien, I., Tamnes, C. K., Grydeland, H., Engvig, A., Espeseth, T., Reinvang, I., Lundervold, A. J., Lundervold, A. y Walhovd, K. B. (2015). High-expanding cortical regions in human development and evolution are related to higher intellectual abilities [Regiones corticales de alta expansión en el desarrollo y la evolución de los seres humanos se relacionan con mayores capacidades intelectuales]. *Cerebral cortex*, 25 (1), 26-34. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht201>
- Gagné, F. (2015). From genes to talent: the DMGT/CMTD perspective [De los genes al talento: la perspectiva del DMGT/CMTD]. *Revista de Educación*, 368, 12-37. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2015-368-289>
- Gignac, G. E. y Bates T. C. (2017). Brain volume and intelligence: The moderating role of intelligence measurement quality [Volumen cerebral e inteligencia: el papel moderador de la calidad de la medición de la inteligencia]. *Intelligence*, 64, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.06.004>
- Gómez-León, M. I. (2019). Psicobiología de las altas capacidades. Una revisión actualizada. *Psiquiatría biológica*, 26 (3), 105-112 <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2019.09.001>
- Gómez-León, M. I. (2020a). La psicobiología de la motivación en el desarrollo de las altas capacidades intelectuales. Revisión bibliográfica. *Psiquiatría biológica*, 27 (2), 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2020.01.003>
- Gómez-León, M. I. (2020b). Bases psicobiológicas de la creatividad en los niños con altas capacidades. *Psiquiatría biológica*, 27 (1), 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2020.01.004>
- Gómez-León, M. I. (2020c). Desarrollo de la alta capacidad durante la infancia temprana. *Papeles del Psicólogo*, 41 (2), 147-158. <https://doi.org/10.23923/pap.psicol2020.2930>
- Gómez-León, M. I. (2020d). Psicobiología de la alta capacidad intelectual y el trastorno por déficit de atención con hiperactividad. Diagnóstico diferencial. *Psiquiatría biológica*, 27 (3), 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.psiq.2020.06.003>
- Goriounova, N. A. y Mansvelter, H. D. (2019). Genes, cells and brain areas of intelligence. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 44. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00044>
- Jiménez, J. E., Artilles, C., Rodríguez, C., García, E., Camacho, J. y Moraes, J. (2008). Creatividad e inteligencia: ¿dos hermanas gemelas inseparables? **revista española de pedagogía**, 240, 261-282.
- Karama, S., Colom, R., Johnson, W., Deary, I. J., Haier, R., Waber, D. P., Lepage, C., Ganjavi, H., Jung, R., Evans, A. C. y Brain Development Cooperative Group (2011). Cortical thickness correlates of specific cognitive performance accounted for by the general factor of intelligence in healthy children aged 6 to 18 [Correlaciones del grosor cortical del rendimiento cognitivo específico contabilizado por el factor general de la inteligencia en niños sanos de 6 a 18 años]. *NeuroImage*, 55 (4), 1443-1453. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.016>
- Kenett, Y. N., Medaglia, J. D., Beaty, R. E., Chen, Q., Betzel, R. F., Thompson-Schill, S. L. y Qiu,

- J. (2018). Driving the brain towards creativity and intelligence: A network control theory analysis [Dirigiendo el cerebro hacia la creatividad y la inteligencia: un análisis de la teoría de control de redes]. *Neuropsychologia*, 118 (Pt A), 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.01.001>
- Khundrakpam, B. S., Lewis, J. D., Reid, A., Karama, S., Zhao, L., Chouinard-Decorte, F., Evans, A. C. y Brain Development Cooperative Group (2017). Imaging structural covariance in the development of intelligence [La imagen de la covarianza estructural en el desarrollo de la inteligencia]. *NeuroImage*, 144, 227-240. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.08.041>
- Kim, D. J., Davis, E. P., Sandman, C. A., Sporns, O., O'Donnell, B. F., Buss, C. y Hetrick, W. P. (2016). Children's intellectual ability is associated with structural network integrity [La capacidad intelectual de los niños está asociada a la integridad estructural de la red]. *NeuroImage*, 124, 550-556. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.012>
- Kocevar, G., Suprano, I., Stamile, C., Hannoun, S., Fournieret, P., Revol, O., Nusbaum, F. y Sappey-Marinié, D. (2019). Brain structural connectivity correlates with fluid intelligence in children: A DTI graph analysis [La conectividad estructural del cerebro se correlaciona con la inteligencia fluida en los niños: un análisis gráfico DTI]. *Intelligence*, 72, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.12.003>
- Koenis, M., Brouwer, R. M., Swagerman, S. C., van Soelen, I., Boomsma, D. I. y Hulshoff Pol, H. E. (2018). Association between structural brain network efficiency and intelligence increases during adolescence [La asociación entre la eficiencia estructural de la red cerebral y la inteligencia aumenta durante la adolescencia]. *Human brain mapping*, 39 (2), 822-836. <https://doi.org/10.1002/hbm.23885>
- Lange, N., Froimowitz, M. P., Bigler, E. D., Lainhart, J. E. y Brain Development Cooperative Group (2010). Associations between IQ, total and regional brain volumes, and demography in a large normative sample of healthy children and adolescents. *Developmental neuropsychology*, 35 (3), 296-317. <https://doi.org/10.1080/87565641003696833>
- Langeslag, S. J., Schmidt, M., Ghassabian, A., Jaddoe, V. W., Hofman, A., van der Lugt, A., Verhulst, F. C., Tiemeier, H. y White, T. J. (2013). Functional connectivity between parietal and frontal brain regions and intelligence in young children: the Generation R study [Conectividad funcional entre regiones cerebrales parietales y frontales e inteligencia en niños pequeños: el estudio de la Generación R]. *Human brain mapping*, 34 (12), 3299-3307. <https://doi.org/10.1002/hbm.22143>
- MacDonald, P. A., Ganjavi, H., Collins, D. L., Evans, A. C. y Karama, S. (2014). Investigating the relation between striatal volume and IQ [Investigación de la relación entre el volumen estriatal y el CI]. *Brain imaging and behavior*, 8 (1), 52-59. <https://doi.org/10.1007/s11682-013-9242-3>
- Margolis, A., Bansal, R., Hao, X., Algermissen, M., Erickson, C., Klahr, K. W., Naglieri, J. A. y Peterson, B. S. (2013). Using IQ discrepancy scores to examine the neural correlates of specific cognitive abilities. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 33 (35), 14135-14145. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0775-13.2013>
- Menary, K., Collins, P. F., Porter, J. N., Muetzel, R., Olson, E. A., Kumar, V., Steinbach, M., Lim, K. O. y Luciana, M. (2013). Associations between cortical thickness and general intelligence in children, adolescents and young adults [Asociaciones entre el grosor cortical y la inteligencia general en niños, adolescentes y adultos jóvenes]. *Intelligence*, 41 (5), 597-606. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.07.010>
- Navas-Sánchez, F. J., Alemán-Gómez, Y., Sánchez-González, J., Guzmán-De-Villoria, J. A., Franco, C., Robles, O., Arango, C. y Desco, M. (2014). White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient [Correlación de la microestructura de la materia blanca con la superdotación matemática y el cociente intelectual]. *Human brain mapping*, 35 (6), 2619-2631. <https://doi.org/10.1002/hbm.22355>
- Nolla, G. C., Pareja, E. M. D., Tudela, J. M. O. y de la Rosa, A. L. (2017). Análisis y valoración de la situación actual del alumnado con altas capacidades en España. *Revista de Educación Inclu-*

- siva*, 5 (2), 129-140. <https://revistaeducacioninclusiva.es/index.php/REI/article/view/238/232>
- Nusbaum, F., Hannoun, S., Kocevar, G., Stamile, C., Fournieret, P., Revol, O. y 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 [Diferencias hemisféricas en la microestructura de la materia blanca entre dos perfiles de niños con alto coeficiente intelectual frente a los controles: un estudio estadístico espacial basado en tractos]. *Frontiers in neuroscience*, 11, 173. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00173>
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z. y Elmagarmid, A. (2016). Rayyan — a web and mobile app for systematic reviews [Rayyan - una aplicación web y móvil para revisiones sistemáticas]. *Systematic Reviews*, 5, 210. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Pfeiffer, S. I. (2020). *Giftedness and talent development in children and youth [Desarrollo de altas capacidades y talentos en niños y jóvenes]*. En P. Ward, J. M. Schraagen, J. Gore y E. M. Roth (Eds.), *The Oxford Handbook of Expertise* (pp. 103-127). Oxford University Press.
- Renzulli, J. S. (2021). El papel del profesor en el desarrollo de habilidades cognitivas complejas en personas jóvenes. **revista española de pedagogía**, 79 (278), 13-32. <https://doi.org/10.22550/REP79-1-2021-01>
- Sastre-Riba, S. y Castelló, A. (2017). Fiabilidad y estabilidad en el diagnóstico de la alta capacidad intelectual. *Revista de Neurología*, 64 (1), 51-58. <https://doi.org/10.33588/rn.64S01.2017028>
- Sastre-Riba, S. y Ortiz, T. (2018). Neurofuncionalidad ejecutiva: estudio comparativo en las altas capacidades. *Revista de Neurología*, 66 (1), 51-56. <https://doi.org/10.33588/rn.66S01.2018026>
- Schnack, H. G., van Haren, N. E., Brouwer, R. M., Evans, A., Durston, S., Boomsma, D. I., Kahn, R. S. y Hulshoff Pol, H. E. (2015). Changes in thickness and surface area of the human cortex and their relationship with intelligence [Los cambios en el grosor y la superficie del córtex humano y su relación con la inteligencia]. *Cerebral cortex*, 25 (6), 1608-1617. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht357>
- Silverman, L. K. y Gilman, B. J. (2020). Best practices in gifted identification and assessment: Lessons from the WISC-V [Mejores prácticas en la identificación y evaluación de superdotados: lecciones del WISC-V]. *Psychology in the Schools*, 57 (10), 1569-1581. <https://doi.org/10.1002/pits.22361>
- Solé-Casals, J., Serra-Grabulosa, J. M., Romero-García, R., Vilaseca, G., Adan, A., Vilaró, N., Bargalló, N. y Bullmore, E. T. (2019). Structural brain network of gifted children has a more integrated and versatile topology [La red estructural del cerebro de los niños superdotados tiene una topología más integrada y versátil]. *Brain structure & function*, 224 (7), 2373-2383. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01914-9>
- Sripada, C., Angstadt, M., Taxali, A., Clark, D. A., Greathouse, T., Rutherford, S., Dickens, J. R., Shedden, K., Gard, A. M., Hyde, L. W., Weigard, A. y Heitzeg, M. (2021). Brain-wide functional connectivity patterns support general cognitive ability and mediate effects of socioeconomic status in youth [Los patrones de conectividad funcional de todo el cerebro apoyan la capacidad cognitiva general y median los efectos del estatus socioeconómico en los jóvenes]. *Translational psychiatry*, 11 (1), 571. <https://doi.org/10.1038/s41398-021-01704-0>
- Sternberg, R. J. (2012). Inteligencia. *Diálogos en neurociencia clínica*, 14 (1), 19-27. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2012.14.1/rsternberg>
- Sternberg, R. J. y O'Hara, L. (2005). Creatividad e inteligencia. *CIC. Cuadernos de Información y Comunicación*, 10, 113-149. <https://www-redalyc.org/articulo.oa?id=93501006>
- Sugiarti, R., Suhariadi, F. y Erlangga, E. (2018). The chance of gifted intelligent students' success in career [La posibilidad de que los estudiantes inteligentes superdotados tengan éxito en su carrera]. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 9 (9), 277. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.01009.4>
- Suprano, I., Delon-Martin, C., Kocevar, G., Stamile, C., Hannoun, S., Achard, S., Badhwar, A., Fournieret, P., Revol, O., Nusbaum, F. y Sappey-Marinié, D. (2019). Topological modification of brain networks organization in children with high intelligence quotient: A resting-state fmri study [Modificación topológica de la organización de

- las redes cerebrales en niños con alto coeficiente intelectual: un estudio de RMF en estado de reposo]. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 241. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00241>
- Tamnes, C. K., Fjell, A. M., Østby, Y., Westlye, L. T., Due-Tønnessen, P., Bjørnerud, A. y Walhovd, K. B. (2011). The brain dynamics of intellectual development: waxing and waning white and gray matter [La dinámica cerebral del desarrollo intelectual: aumento y disminución de la materia blanca y gris]. *Neuropsychologia*, 49 (13), 3605-3611. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.012>
- Tourón, J. (2020). Las altas capacidades en el sistema educativo español: reflexiones sobre el concepto y la identificación. *Revista de Investigación Educativa*, 38 (1), 15-32.
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B. y Gottesman, I. I. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychological science*, 14 (6), 623-628. https://doi.org/10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1475.x
- Waber, D. P., Forbes, P. W., Almlí, C. R., Blood, E. A. y Brain Development Cooperative Group (2012). Four-year longitudinal performance of a population-based sample of healthy children on a neuropsychological battery: The NIH MRI study of normal brain development [Rendimiento longitudinal de cuatro años de una muestra poblacional de niños sanos en una batería neuropsicológica: el estudio de resonancia magnética del NIH sobre el desarrollo normal del cerebro]. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 18 (2), 179-190. <https://doi.org/10.1017/S1355617711001536>
- Wang, L., Wee, C. Y., Suk, H. I., Tang, X. y Shen, D. (2015). MRI-based intelligence quotient (IQ) estimation with sparse learning [Estimación del cociente intelectual (CI) mediante resonancia magnética con aprendizaje disperso]. *PLoS one*, 10 (3), e0117295. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117295>
- Wechsler, D. (1943). Non-intellective factors in general intelligence [Factores no intelectuales de la inteligencia general]. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 38, 101-103. <https://doi.org/10.1037/h0060613>
- Westerhausen, R., Friesen, C. M., Rohani, D. A., Krogsrud, S. K., Tamnes, C. K., Skranes, J. S., Håberg, A. K., Fjell, A. M. y Walhovd, K. B. (2018). The corpus callosum as anatomical marker of intelligence? A critical examination in a large-scale developmental study [¿El cuerpo calloso como marcador anatómico de la inteligencia? Un examen crítico en un estudio de desarrollo a gran escala]. *Brain structure & function*, 223 (1), 285-296. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1493-0>
- Westlye, L. T., Walhovd, K. B., Dale, A. M., Bjørnerud, A., Due-Tønnessen, P., Engvig, A., Grydeland, H., Tamnes, C. K., Ostby, Y. y Fjell, A. M. (2010). Life-span changes of the human brain white matter: diffusion tensor imaging (DTI) and volumetry [Cambios en la materia blanca del cerebro humano a lo largo de la vida: imágenes con tensor de difusión (DTI) y volumetría]. *Cerebral cortex*, 20 (9), 2055-2068. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp280>

Biografía de la autora

María Isabel Gómez-León es Profesora de postgrado en las titulaciones de Máster de Educación Especial, Máster de Atención Temprana y Desarrollo Infantil, Máster de Neuropsicología y Educación y Máster de Neuromarketing en la Universidad Internacional de La Rioja y en las titulaciones de Máster de Procesos Educativos de Enseñanza y Aprendizaje, Máster de Atención a la Diversidad y Máster en Estudios Avanzados en Altas Capacidades y Gestión del talento y Profesora de los grados de Educación Infantil y Educación Primaria en la Universidad Antonio de Nebrija; Profesora de postgrado en las titulaciones de Máster de Competencias Docentes Avanzadas y del Máster de Orientación e Intervención Psicopedagógica en la Universidad Camilo José Cela; y Directora y Profesora de postgrado en el Máster de Atención Temprana en la Universidad Francisco de Vitoria.

 <https://orcid.org/0000-0001-7466-5441>

