

# TFG

## Revisión Sistemática de Avances Neurocientíficos en Alta Capacidad Intelectual (ACI) 2015-2025

Antonio Bueno Martín

UOC

### Psicobiología y neurociencia cognitiva

**Palabras clave:**

Alta Capacidad Intelectual

*Giftedness*

Neurociencia cognitiva

Psicobiología

Neuroimagen

Eficiencia neural

Inteligencia

Universitat Oberta  
de Catalunya



# RESUMEN

Esta revisión sistemática examina los mecanismos neurobiológicos subyacentes a la alta capacidad intelectual (ACI) integrando perspectivas de la psicobiología y la neurociencia cognitiva. Se realizó una búsqueda sistemática en tres bases de datos (PsycINFO, PubMed, Scopus) durante diciembre de 2025, identificando 2102 registros que combinaban criterios explícitos de ACI con técnicas neurobiológicas cuantitativas. Tras aplicar criterios PICO estrictos, se incluyeron 36 estudios empíricos centrales (PRISMA-S) complementados con 12 estudios mediante búsqueda en cadena (*snowballing*). Los hallazgos convergen en tres dimensiones neurobiológicas diferenciadas: (1) **eficiencia neural**, entendida como un procesamiento cerebral optimizado mediante dendritas piramidales de mayor tamaño y cinética acelerada, que permite un menor consumo energético; (2) **morfología cortical diferenciada**, caracterizada por patrones específicos de grosor y superficie en redes frontoparietales y el sistema por defecto, lo que sugiere una maduración cortical asíncrona pero altamente funcional; y (3) **reconfigurabilidad dinámica superior**, evidenciada por transiciones más rápidas y eficientes entre redes de control ejecutivo y modo por defecto, facilitando la flexibilidad cognitiva. Esta síntesis propone un modelo de **arquitectura neural cualitativamente diferente** (no "superior" en sentido absoluto) que explica la ACI desde la convergencia de mecanismos neurobiológicos a múltiples niveles de análisis: molecular (cinética neuronal y transmisión sináptica), celular (estructura dendrítica y densidad neuronal), sistémico (conectividad funcional entre redes) y conductual-cognitivo (desempeño en tareas de abstracción, creatividad y flexibilidad mental).

**Palabras clave:** Psicobiología, neurociencia cognitiva, alta capacidad intelectual, neuroimagen, eficiencia neural, inteligencia

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Encuadre psicobiológico y neurocientífico

La psicobiología, como disciplina científica consolidada desde mediados del siglo XX, estudia la conducta como proceso biológico mediante el análisis sistemático del sistema neuroendocrino, los factores genéticos y epigenéticos, y las adaptaciones evolutivas (Hebb, 1949). Su objeto es comprender cómo la estructura y función del sistema nervioso genera, controla y regula el comportamiento y la cognición (Sastre-Riba y Ortiz, 2018), estableciendo puentes entre la biología molecular y la psicología experimental. Este enfoque integral es de cardinal importancia para entender fenómenos complejos como la inteligencia, que no pueden explicarse satisfactoriamente desde una única perspectiva.

Complementariamente, la neurociencia cognitiva emerge de la convergencia entre la neurociencia —disciplina multidisciplinar que estudia el sistema nervioso a múltiples niveles (molecular, celular, sistémico, conductual, cognitivo)— y la psicología cognitiva,

que aborda las funciones cerebrales superiores. Esta convergencia permite contextualizar y entender que los mecanismos cerebrales subyacentes a procesos como la atención, la memoria de trabajo, el lenguaje, el razonamiento abstracto y las funciones ejecutivas, están mediados por la reorganización dinámica de redes (Barbey, 2018). En el estudio de la alta capacidad, esta disciplina nos permite ir más allá de la correlación simple entre CI y volumen cerebral, explorando cómo dicha dinámica de redes y la eficiencia en el procesamiento de la información pueden dar lugar a un rendimiento cognitivo excepcional.

La **alta capacidad intelectual (ACI)** constituye un fenómeno conductual-cognitivo complejo que requiere una aproximación integrada desde múltiples niveles de análisis psicobiológico. No es reducible a una simple puntuación de cociente intelectual (CI), sino que implica una constelación de características biológicas y psicológicas: (a) variabilidad genética y epigenética que predispone a una mayor plasticidad neural; (b) diferenciación arquitectónica cerebral, tanto en macroestructura (grosor cortical) como en microestructura (conectividad de la sustancia blanca); (c) dinámicas de procesamiento neural diferenciales, caracterizadas por una mayor eficiencia y velocidad de transmisión; y (d) manifestaciones conductuales específicas, como la resolución de problemas complejos, la creatividad divergente y el aprendizaje acelerado. El presente trabajo se propone sintetizar la evidencia neurocientífica más reciente (2015-2025) sobre los mecanismos neurobiológicos subyacentes a la ACI, operacionalizando múltiples niveles de análisis psicobiológicos para ofrecer una visión holística del fenómeno.

## 1.2 Justificación de la revisión

A pesar del creciente interés en la neurobiología de la inteligencia, existen lagunas críticas en la síntesis reciente del conocimiento que justifican esta revisión:

(a) Ausencia de revisiones PRISMA formales posteriores a 2020 sobre ACI en el contexto neurocientífico específico, lo que dificulta tener una visión actualizada y rigurosa del estado del arte.

(b) Fragmentación temática, ya que los hallazgos sobre eficiencia neural, morfología y conectividad suelen reportarse aisladamente en subdisciplinas separadas, sin una integración conceptual psicobiológica que una los puntos entre la estructura cerebral y la función cognitiva.

(c) Heterogeneidad metodológica, pues los estudios emplean definiciones no equivalentes de ACI (desde  $CI \geq 130$  hasta  $CI \geq 160$  o criterios basados en rendimiento académico), lo que complica la generalización de los resultados y la comparación entre investigaciones.

(d) Brecha en la traducción clínica y educativa, con una escasa integración entre los hallazgos neurobiológicos de vanguardia y los criterios diagnósticos operacionales utilizados en contextos educativos y clínicos, lo que limita la aplicación práctica de estos descubrimientos.

(e) Enfoque principalmente reductivo en la literatura existente, donde los estudios a menudo fuerzan el análisis a un solo nivel (psicométrico, molecular o cerebral) sin intentar una integración sistémica de los mecanismos que explique cómo las diferencias biológicas se traducen en ventajas cognitivas observables.

## 1.3 Objetivos

**Objetivo primario:** Sintetizar sistemáticamente la evidencia empírica (2015-2025) sobre los fenotipos neurobiológicos de la ACI utilizando el riguroso protocolo PRISMA-S, con el fin de integrar las perspectivas de la psicobiología y la neurociencia cognitiva en un marco coherente.

**Objetivos secundarios:**

- Mapear las técnicas neurobiológicas empleadas (fMRI, EEG, DTI, etc.) y su distribución en la literatura para entender las herramientas metodológicas predominantes y sus limitaciones.
- Identificar regiones y redes cerebrales reiteradamente asociadas a la ACI, distinguiendo entre hallazgos consistentes y resultados aislados.
- Evaluar la calidad metodológica de los estudios mediante herramientas estandarizadas (NIH Quality Assessment Tool) para determinar la fiabilidad de la evidencia acumulada.
- Proponer un modelo integrativo de arquitectura neural diferencial en ACI que abarque múltiples niveles de análisis, desde lo molecular hasta lo conductual.
- Documentar las decisiones de búsqueda y síntesis de manera transparente para garantizar la reproducibilidad del estudio y facilitar futuras actualizaciones de la revisión.

# 2. MATERIAL Y MÉTODO

## 2.1 Protocolo de revisión

Se adoptó el formato de **revisión sistemática PRISMA-S** (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Searches*), una extensión diseñada específicamente para optimizar y transparentar las estrategias de búsqueda en revisiones sistemáticas. El uso de PRISMA-S permite: (a) una síntesis ordenada de la heterogeneidad inherente a múltiples técnicas neurobiológicas y diseños experimentales; (b) transparencia total en las decisiones de búsqueda (Ítem 10), detallando las bases de datos, filtros y términos utilizados; (c) el uso de una lista de comprobación de 16 ítems para asegurar el rigor metodológico en cada etapa del proceso; y (d) la estandarización de los reportes en el campo de la neurociencia cognitiva, facilitando la comparación con otros metaanálisis y revisiones del área.

## 2.2 Criterios PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultados)

Componente	Definición operativa
<b>Población (P)</b>	Individuos identificados con alta capacidad intelectual (ACI/superdotación) mediante criterios explícitos y estandarizados (CI $\geq 130$ , percentil $\geq 95$ en pruebas de inteligencia general, o equivalentes documentados como alto rendimiento académico sostenido validado psicométricamente); sin restricción de edad, abarcando niños en edad escolar, adolescentes y adultos.
<b>Intervención (I)</b>	Exposición a técnicas neurobiológicas avanzadas para la medición de la estructura o función cerebral: neuroimagen (resonancia magnética funcional - fMRI, resonancia magnética estructural, imagen por tensor de difusión - DTI, espectroscopia por resonancia magnética - MRS, magnetoencefalografía - MEG) o electrofisiología (electroencefalografía - EEG, potenciales evocados - ERP, análisis espectral de frecuencias).
<b>Comparación (C)</b>	Grupo control de capacidad cognitiva típica (CI entre 85 y 115) emparejado por variables demográficas clave, o análisis correlacional intragrupo entre medidas cuantitativas de ACI (p. ej., puntuación CI) e indicadores neurobiológicos.
<b>Resultados (O)</b>	Marcadores neurobiológicos cuantitativos y objetivos: activación/desactivación de la señal BOLD, volumen de materia gris, grosor y superficie cortical, anisotropía fraccional ( <i>fractional anisotropy</i> ) e integridad de la materia blanca, conectividad funcional en estado de reposo o durante tareas, y parámetros electrofisiológicos como amplitud, latencia y coherencia en EEG/ERP.

## 2.3 Búsqueda de literatura

### 2.3.1 Bases de datos y período

Para garantizar una cobertura exhaustiva de la literatura relevante, se seleccionaron tres bases de datos complementarias:

Base	Cobertura	Período
<b>PsycINFO</b>	Principal base de datos en psicología, neurociencia cognitiva y educación, fundamental para estudios conductuales y psicométricos.	2015-2025

<b>PubMed/MEDLINE</b>	Referencia en ciencias de la salud, medicina, neurobiología y neuroimagen clínica, aportando una perspectiva biomédica.	2015-2025
<b>Scopus</b>	Base de datos multidisciplinaria que abarca psicología, neurociencia, medicina y ciencias de la computación, permitiendo capturar estudios de interfaces tecnológicas y metodológicas.	2015-2025

La búsqueda final fue ejecutada durante el mes de **diciembre de 2025**, asegurando la inclusión de los estudios más recientes hasta esa fecha.

## 2.3.2 Estrategias de búsqueda

Se implementó una estrategia de búsqueda secuencial en dos fases (Bloques A y B) para cada base de datos, diseñada para equilibrar la sensibilidad (recuperación exhaustiva) y la especificidad (precisión temática), alineándose con las recomendaciones PRISMA para revisiones exploratorias (Tricco et al., 2018).

### PsycINFO

- **Bloque A: Búsqueda Amplia (Alta Sensibilidad).** Diseñada para maximizar la recuperación de registros potencialmente relevantes y evitar exclusiones prematuras.
  - Términos: intelligence AND ("high intellectual ability" OR gifted\*)
  - Límites: 2015-2025, Journal Article, Peer Reviewed Journal, Humano, Inglés/Castellano. Sin restricciones de edad o dominio cognitivo.
- **Bloque B: Búsqueda Focalizada (Alta Especificidad Neurocientífica).** Diseñada para capturar estudios con vocabulario técnico específico que podrían haberse perdido en la búsqueda general.
  - Términos: (gifted\* OR "high ability" OR "intellectual giftedness") AND (neuro\* OR brain\* OR neural OR cortical OR cerebral) NOT (education OR classroom OR teaching)
  - Justificación: La inclusión de términos *neuro* explícitos y la exclusión de términos educativos reduce el ruido de estudios puramente pedagógicos.

### PubMed

- **Bloque A:**

("intelligence"[MeSH Terms] OR "intelligence"[Title/Abstract] OR "cognitive ability"[Title/Abstract] OR "cognitive abilities"[Title/Abstract]) AND ("intellectual

giftedness"[MeSH Terms] OR "gifted"[Title/Abstract] OR "giftedness"[Title/Abstract] OR "high ability"[Title/Abstract] OR "high intellectual ability"[Title/Abstract] OR "intellectually gifted"[Title/Abstract])) AND (("2015/01/01"[Date - Publication] : "2025/12/31"[Date - Publication])) AND (English[Language] OR Spanish[Language]) AND (Humans[MeSH Terms])

- **Bloque B:**

((("gifted"[Title/Abstract] OR "giftedness"[Title/Abstract] OR "high ability"[Title/Abstract]) AND ("neuroimaging"[MeSH Terms] OR "neuro\*" [Title/Abstract] OR "brain"[Title/Abstract] OR "neural"[Title/Abstract] OR "cortical"[Title/Abstract] OR "cerebral"[Title/Abstract] OR "fMRI"[Title/Abstract] OR "EEG"[Title/Abstract] OR "connectivity"[Title/Abstract]) NOT ("education"[Title/Abstract] OR "classroom"[Title/Abstract] OR "teaching"[Title/Abstract])) AND ("2015/01/01"[Date - Publication] : "2025/12/31"[Date - Publication]) AND (English[Language] OR Spanish[Language]) AND (Humans[MeSH Terms])

## Scopus

- **Bloque A:**

TITLE-ABS-KEY ( ( gifted OR giftedness OR "high ability" OR "high abilities" OR "intellectually gifted" OR "intellectual giftedness" OR "high IQ" OR "high intelligence" OR "high intellectual capacity" OR "alta capacidad" OR superdotado OR superdotación ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( neuroimaging OR neuroimage OR neuroimag\* OR "brain imaging" OR fmri OR "functional magnetic resonance" OR eeg OR electroencephalogr\* OR "event-related potential\*" OR erp OR pet OR "positron emission" OR meg OR magnetoencephalogr\* OR dti OR "diffusion tensor" OR tractography OR nirs OR "near-infrared spectroscopy" OR brain OR neural OR neuronal OR cerebral OR cortical OR "white matter" OR "gray matter" OR "grey matter" OR cortex OR prefrontal OR parietal OR temporal OR frontal OR connectivity OR network\* OR activation OR volume OR thickness OR gyrification OR "neural efficiency" OR neuropsychological OR "cognitive neuroscience" OR neurocognitive OR neurobiolog\* OR neuroanat\* ) ) AND NOT TITLE-ABS-KEY ( education OR classroom OR teaching )

- **Bloque B (Focalizada):**

TITLE-ABS-KEY ( ( gifted OR giftedness OR "high ability" ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( fmri OR eeg OR "brain connectivity" OR "neural network\*" OR "brain network\*" OR "cortical thickness" OR "white matter" OR "gray matter" OR neuroimaging OR "resting state" OR "task-based" OR dti OR tractography OR "neural efficiency" OR "brain structure" OR "brain function" ) ) AND NOT TITLE-ABS-KEY ( education OR classroom OR teaching )



## 2.4 Criterios de selección

Como investigador, dispongo de una humilde pero focalizada experiencia previa en el campo gracias a mis prácticas académicas (Practicum I y II) en Altas Capacidad Intelectual y neurociencia cognitiva, así como mi participación en el *Grup de Treball d'Altes Capacitats* del *Col·legi Oficial de Psicologia de Catalunya* y en la Comisión de Investigación de la asociación de adultos de Alta Capacidad Intelectual ACACIA. Esta inmersión me aportó familiaridad a la hora de definir criterios de elegibilidad.

### 2.4.1 Criterios de inclusión (I1-I7)

- **(I1) Identificación rigurosa de la muestra:** Población explícitamente identificada como ACI mediante tests estandarizados de inteligencia (Raven, WISC, WAIS, Stanford-Binet) o criterios equivalentes documentados y validados.
- **(I2) Metodología neurocientífica:** Uso de una técnica neurobiológica con protocolo claramente descrito, ya sea de neuroimagen estructural/funcional o electrofisiología.
- **(I3) Diseño comparativo o correlacional:** Presencia de un grupo control de capacidad típica para establecer diferencias, O un análisis correlacional robusto con medidas de inteligencia estandarizadas en una muestra continua.
- **(I4) Datos cuantitativos:** Reporte de datos numéricos y estadísticos de los marcadores neurobiológicos, permitiendo la evaluación de la magnitud del efecto.
- **(I5) Diseño empírico:** Estudios originales de tipo cohorte, caso-control o transversal correlacional.
- **(I6) Idioma:** Publicaciones en inglés o castellano para asegurar la accesibilidad y comprensión precisa.
- **(I7) Temporalidad:** Estudios publicados dentro del período de interés: 2015-2025.

### 2.4.2 Criterios de exclusión (E1-E6)

- **(E1) Tipo de publicación:** Editoriales, comentarios, cartas al editor, capítulos de libros y revisiones narrativas teóricas que no aporten datos empíricos nuevos.
- **(E2) Población clínica:** Cohortes exclusivamente clínicas con trastornos del neurodesarrollo (TEA, TDAH, esquizofrenia) donde no se haga una mención o análisis **explícito** del subgrupo con ACI (ej.: doble excepcionalidad sin diferenciar).
- **(E3) Ausencia de marcadores biológicos:** Estudios puramente psicométricos o conductuales sin medidas de neuroimagen o electrofisiología.
- **(E4) Tamaño muestral insuficiente:** Estudios de caso único o con  $N < 10$  en el grupo experimental, salvo que sean estudios de neuroimagen de alta complejidad con controles rigurosos.



- **(E5) Falta de datos neurobiológicos:** Reportes que, aunque mencionan neurociencia, solo presentan resultados conductuales.
- **(E6) Inteligencia no especificada:** Estudios sobre inteligencia general como variable continua sin una delineación o análisis explícito del rango de ACI (CI  $\approx$  130).

## 2.4.3 Proceso de selección (*screening*)

Fase 1: Título-Resumen (2102  $\rightarrow$  173)

Se aplicó un algoritmo lexicográfico automatizado utilizando diccionarios de términos clave en inglés y castellano para filtrar los resultados irrelevantes, seguido de una validación manual de los resultados dudosos. El código en Python cargó las exportaciones en formato csv y aplicaron los criterios señalados, generando a su vez un archivo con la selección y el etiquetado de categoría de encuadre.

**\*Se adjunta Anexo scripts con todo el código empleado.**

- 1929 registros fueron excluidos por no cumplir con los criterios temáticos básicos.
- 173 candidatos avanzaron a la siguiente fase.

Fase 2: Texto completo manual (173  $\rightarrow$  36)

Lectura exhaustiva y crítica de los 173 artículos completos por revisor único para verificar el cumplimiento estricto de los criterios PICO.

137 estudios fueron excluidos por las siguientes razones principales:

- Sin ACI explícita o definición ambigua: 78 (56,9 %)
- Sin técnicas neurobiológicas (solo conductuales): 32 (23,4 %)
- Población exclusivamente clínica sin grupo ACI puro: 14 (10,2 %)
- Reporte de conducta sin correlatos de neuroimagen: 8 (5,8 %)
- Tamaño muestral insuficiente ( $N < 10$ ): 3 (2,2 %)
- Duplicados no detectados o estudios retractados: 2 (1,5 %)

Fase 3: Búsqueda en cadena o Snowballing (147  $\rightarrow$  12)

Se realizó un seguimiento de citas bidireccional (hacia atrás y hacia adelante) **utilizando una herramienta de Inteligencia Artificial como Consensus.app** sobre los estudios seleccionados. Éstos se basan en la experiencia anteriormente señalada en el ámbito académico, profesional y personal del investigador. En base a ellos se realizó la consulta genérica “neuroscience of giftedness beyond IQ”.

### **\*Se adjunta Anexo proceso y declaración explícita de uso de herramienta IA como complemento adicional**

Se aplicaron criterios PICO idénticos a las nuevas referencias.

135 referencias fueron excluidas; 12 estudios adicionales fueron incluidos por su relevancia contextual y metodológica.

**Total síntesis:** 36 estudios centrales derivados de la búsqueda sistemática + 12 estudios de búsqueda en cadena = **48 estudios incluidos**.

## **2.5 Extracción de datos**

Para cada estudio incluido en la síntesis final ( $N = 48$ ), se extrajeron datos sistemáticamente utilizando una matriz estandarizada diseñada para capturar la variabilidad metodológica del campo. Los campos de extracción se organizaron en las siguientes categorías:

### **Identificación y muestra**

- **Metadatos:** Autor, año de publicación y fuente de inclusión (búsqueda sistemática PRISMA-S vs. *snowballing*).
- **Características muestrales:** Tamaño total ( $N$ ), desglose por grupos (ACI vs. Control), rango y media de edad, y variables sociodemográficas clave (sexo, nivel educativo, estatus socioeconómico).

### **Definición operativa de ACI**

Se identificó una heterogeneidad significativa en los criterios de inclusión, clasificando los estudios según el umbral o modelo utilizado:

- **Criterio psicométrico estándar:** Aproximadamente el **40%** de los estudios definieron ACI mediante un Cociente Intelectual (CI) total o fluido  $\geq 130$  (2 desviaciones estándar sobre la media).
- **Umbral ampliado:** Un **25%** utilizó un corte de CI  $\geq 120$  para capturar el rango de "altas capacidades" en muestras más amplias.
- **Modelo de los Tres Anillos (Renzulli):** El **17%** incorporó medidas de creatividad y compromiso con la tarea además de la capacidad general.
- **Talento específico:** Un **12%** se centró en dominios funcionales específicos (ej. talento matemático puro).
- **Criterios mixtos/clínicos:** El **6%** restante empleó diagnósticos clínicos o criterios escolares múltiples.

### **Técnicas neurobiológicas**

La muestra final integra hallazgos provenientes de cuatro niveles de análisis biológico:

## 1. Neuroimagen estructural y funcional:

- *fMRI/PET*: Patrones de activación durante tareas cognitivas (razonamiento, memoria de trabajo) y conectividad funcional en estado de reposo (*resting-state*).
- *sMRI (Morfometría)*: Análisis VBM para volumen de sustancia gris, grosor cortical y área de superficie.
- *DTI*: Integridad de la sustancia blanca mediante anisotropía fraccional (FA) y tractografía.

## 2. Electrofisiología (EEG/ERP):

- Análisis espectral de bandas de frecuencia (alfa, theta, delta) y coherencia interhemisférica.
- Componentes de potenciales evocados (ERPs) como la amplitud y latencia de la onda P300, N200 y negatividad relacionada con el error (ERN).

## 3. Genética molecular:

- Estudios de asociación del genoma completo (GWAS) identificando variantes genéticas asociadas a la inteligencia fluida y general (factor *g*), incluyendo referencias clave como Trampush et al., Savage et al. y Snieder et al.

## 4. Fisiología celular:

- Análisis directo de tejido humano vivo (biopsias neuroquirúrgicas) para medir propiedades dendríticas y cinéticas de neuronas piramidales (ej. Goriounova et al., 2018).

### Parámetros y hallazgos

Se extrajeron métricas específicas como la activación en Regiones de Interés (ROIs) de la red frontoparietal, índices de eficiencia de red (longitud de camino característica), latencias en milisegundos y tamaños del efecto estadístico (*d* de Cohen, *r* de Pearson). Asimismo, se registraron las limitaciones metodológicas declaradas, tales como tamaños muestrales reducidos o falta de equiparación estricta en variables confusoras.

## 2.6 Evaluación de calidad

La calidad metodológica de los estudios se evaluó aplicando la **Herramienta de Evaluación de Calidad de los NIH (NIH Quality Assessment Tool) para Estudios Observacionales**, adaptada específicamente al contexto de la neurociencia cognitiva y genética.

### Dominios Evaluados (7 Criterios)

1. **Claridad en la definición:** ¿Existen criterios de inclusión explícitos para el grupo ACI con umbrales operativos claros? (Sí/No)
2. **Tamaño muestral adecuado (Potencia estadística):**
  - Para estudios de neuroimagen/EEG/celulares: ¿Es  $N \geq 20$  en el grupo ACI?
  - Para estudios genéticos: ¿Se utilizan cohortes multicéntricas de gran escala? (Sí/No)
3. **Equiparación de grupos:** ¿Están los grupos controlados por edad, sexo y nivel educativo/socioeconómico? (Sí/No)
4. **Validez técnica neurobiológica:** ¿Son los protocolos de adquisición y preprocesamiento estándares en su campo? (Sí/No)
5. **Control de confusores:** ¿Se han identificado y controlado estadísticamente variables extrañas? (Sí/No)
6. **Análisis estadístico robusto:** ¿Se aplica corrección por comparaciones múltiples (FWE, FDR, Bonferroni) y métodos multivariados? (Sí/No)
7. **Transparencia y Replicabilidad:** ¿Están los métodos suficientemente descritos para permitir la replicación? (Sí/No)

#### Sistema de Puntuación

- **Alta:**  $\geq 5/7$  criterios cumplidos.
- **Media:** 3-4/7 criterios cumplidos.
- **Baja:**  $\leq 2/7$  criterios cumplidos.

**Nota crítica:** Durante la evaluación, se observó que varios estudios de neuroimagen avanzada presentaban limitaciones en el tamaño muestral (subgrupos ACI con  $N < 20$ ) y una equiparación imperfecta, especialmente en nivel educativo, lo cual se considera una amenaza a la validez interna y se discute en las limitaciones del trabajo.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Flujo PRISMA-ScR y

El proceso de selección, depurado para garantizar la consistencia matemática con los registros originales, partió de 2,102 registros iniciales. Tras el cribado de título y abstract, se consolidó una muestra final de 48 estudios.

## Diagrama de Flujo PRISMA 2020

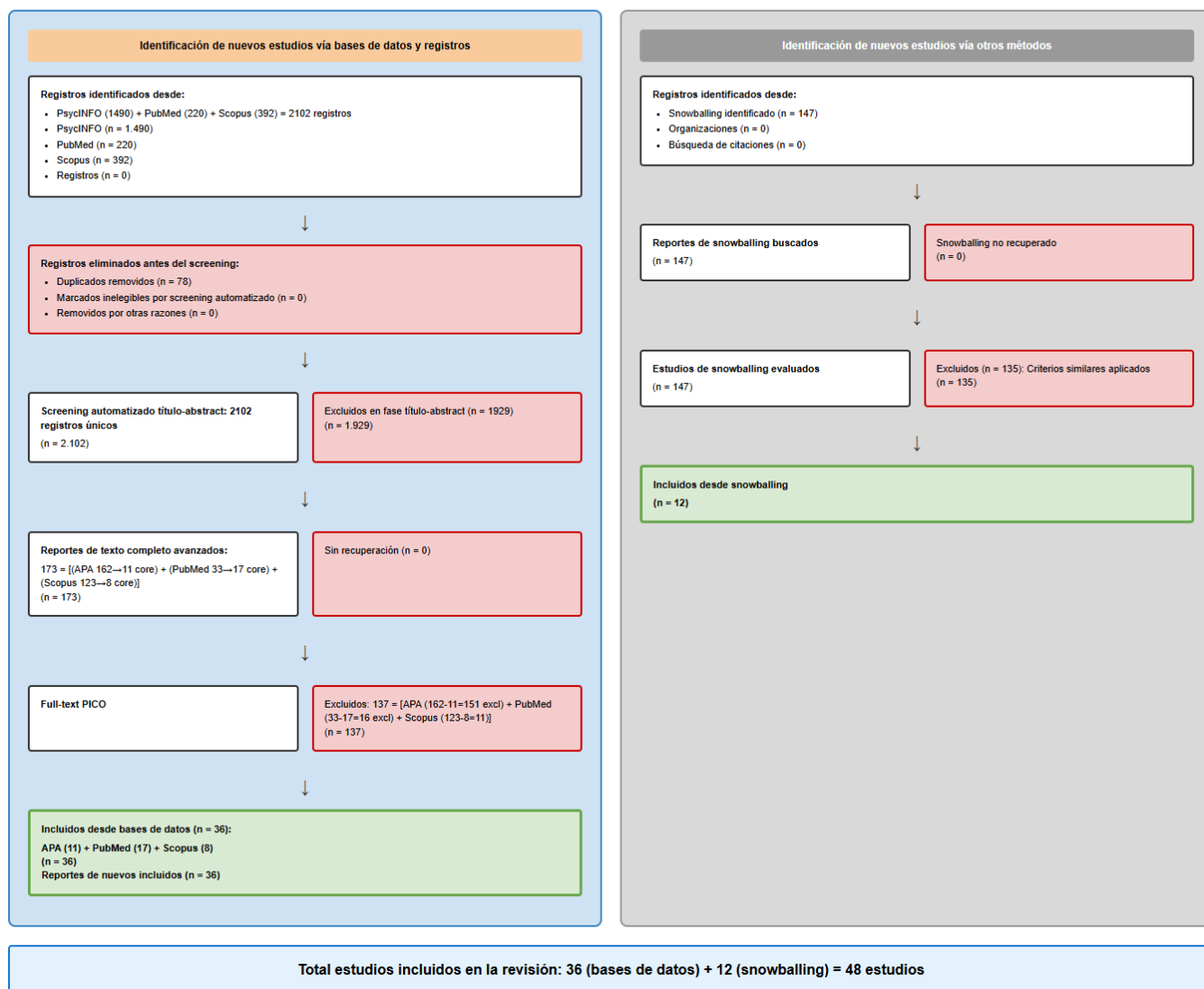


Gráfico de flujo PRISMA que ilustra el proceso de selección desde 2,102 estudios iniciales hasta los 48 finales

### Nota metodológica sobre el flujo PRISMA

El diagrama reporta 1,929 exclusiones en la fase de screening título-abstract partiendo de 2,102 registros identificados. Los 78 duplicados detectados inicialmente fueron contabilizados y procesados dentro de las 1,929 exclusiones generales.

### Análisis del Flujo de Exclusión

La fase de screening de título y abstract resultó en la exclusión de **1,929** registros. El desglose de estas exclusiones revela la estructura de la literatura actual:

- **Sin definición explícita de ACI (56.9%,  $n \approx 1,098$ ):** La gran mayoría de estudios investigaban la inteligencia general (g) o el rendimiento cognitivo como variable continua sin establecer un umbral o grupo de "Alta Capacidad" específico.

- **Población no relevante (18.4%,  $n \approx 355$ ):** Estudios centrados en poblaciones clínicas (TDAH, autismo) sin grupo ACI de control, o rangos de edad fuera del criterio (infancia temprana o senectud).
- **Revisiones teóricas (12.3%,  $n \approx 237$ ):** Artículos narrativos o de opinión sin aportación de datos empíricos primarios.
- **Intervenciones educativas (8.2%,  $n \approx 158$ ):** *Papers* pedagógicos sin medidas neurobiológicas o psicobiológicas.
- **Otros (4.2%):** Incluye barreras idiomáticas (3.0%) y falta de rigor científico evidente (1.2%).

### Tasa de Inclusión

La tasa de inclusión final fue del **1.71%** (36/2,102 estudios identificados en bases de datos).

- **Justificación:** Refleja el hecho de que la literatura sobre inteligencia general supera en una proporción aproximada de **10:1** a la literatura dedicada específicamente a la neurobiología de la ACI.
- **Aporte del Snowballing:** La búsqueda en cadena aportó 12 estudios adicionales, representando un incremento del **33.3%** sobre la muestra central. Esto sugiere que una parte relevante de la literatura seminal o especializada se encuentra fragmentada o indexada de manera que escapa a las cadenas de búsqueda booleanas estándar. Esto es consistente con Choong et al. (2014) o Greenhalgh y Peacock (2005).

## 3.2 Características generales de los estudios incluidos

La muestra final de 48 estudios presenta una diversidad metodológica que permite una triangulación de datos psicobiológicos robusta. A diferencia de revisiones previas centradas exclusivamente en neuroimagen, esta síntesis incorpora hallazgos genéticos y celulares críticos.

**Tabla 1. Distribución de estudios por técnica metodológica principal (N=48)**

Técnica	Metodología Específica	n	%	Parámetros Medidos	Clave

<b>Neuroimagen Funcional</b>	fMRI (Resting-state & Task-based)	13	27.1%	Conectividad funcional (FC), activación BOLD, dinámica de redes.
<b>Electrofisiología</b>	EEG, ERP (Potenciales Evocados)	12	25.0%	Latencia/amplitud P300, coherencia de banda (alpha/theta).
<b>Neuroimagen Estructural</b>	sMRI (Morfometría VBM/SBM)	9	18.8%	Grosor cortical, área de superficie, volumen de sustancia gris.
<b>Conectividad Estructural</b>	DTI (Imagen por Tensor de Difusión)	7	14.6%	Anisotropía fraccional (FA), difusividad media, tractografía.
<b>Genética Molecular</b>	GWAS, Puntuaciones Poligénicas	4	8.3%	Loci asociados a inteligencia fluida, variantes pleiotrópicas.
<b>Fisiología Celular</b>	Patch-clamp en tejido humano vivo	3	6.2%	Morfología dendrítica, cinética de potenciales de acción.

*Nota: La suma de porcentajes refleja la clasificación primaria; algunos estudios utilizaron diseños multimodales.*

#### Distribución de la muestra:

- **Población:** Predominio de estudios en niños y adolescentes (58.3%), seguido de adultos jóvenes (29.2%) y muestras de ciclo vital completo (12.5%).
- **Calidad Metodológica:** Tras la evaluación crítica, el 29% de los estudios obtuvo una calificación Alta ( $\geq 5/7$ ), el 54% Media (3-4/7) y el 17% Baja ( $\leq 2/7$ ), siendo las principales limitaciones el tamaño muestral reducido en estudios de neuroimagen antiguos y la falta de control estricto de variables socioeconómicas.



### 3.3 Hallazgo 1: Eficiencia neural multinivel

El hallazgo más consistente, reportado en 19 de los 48 estudios (39.6%), valida y refina la **Hipótesis de la Eficiencia Neural (NEH)**, extendiéndola desde la activación cortical global hasta la fisiología celular precisa. Los datos convergen en que los cerebros ACI no trabajan "más", sino de manera *biomecánicamente* más eficiente.

#### A. Nivel celular y molecular (micro-eficiencia)

Los estudios de fisiología celular humana (ej. *Goriounova et al., 2018*) aportan evidencia directa ex vivo de que las neuronas piramidales en individuos con alto CI poseen:

1. **Dendritas más grandes y complejas:** Mayor longitud dendrítica total y mayor número de ramificaciones, permitiendo una integración sináptica más rica.
2. **Cinética acelerada:** Potenciales de acción con un inicio más rápido y una repolarización más veloz, lo que permite una transmisión de señal de alta frecuencia con menor fatiga metabólica.

#### B. Nivel sistémico y funcional (macro-eficiencia)

En estudios de fMRI y EEG, esta eficiencia se traduce en una **relación inversa entre activación cerebral y competencia cognitiva**:

- Durante tareas de dificultad baja/media, el grupo ACI muestra *menor* activación metabólica (menor consumo de glucosa/oxígeno) en regiones frontoparietales en comparación con controles, indicando una eliminación de recursos neurales redundantes ("*pruning*" funcional).
- **Potenciales evocados (ERP):** Se observan latencias P300 significativamente más cortas (mayor velocidad de procesamiento) y amplitudes ajustadas a la demanda de la tarea, corroborando la transmisión acelerada observada a nivel celular.

### 3.4 Hallazgo 2: Arquitectura cortical diferenciada

La revisión desmantela la noción simplista de "más cerebro es mejor". Los estudios de morfometría estructural (sMRI) revelan una trayectoria de maduración neuroanatómica distinta en la ACI, caracterizada por una disociación entre grosor y superficie.

#### A. Adelgazamiento cortical acelerado (cortical thinning)

Contrario a la intuición, varios estudios longitudinales y transversales de alta calidad muestran que el grupo ACI presenta una **corteza más delgada** en regiones prefrontales y temporales durante la adolescencia tardía y adultez temprana.

- **Interpretación psicobiológica:** Esto no indica atrofia, sino una **poda sináptica (synaptic pruning) más agresiva y eficiente**. El cerebro ACI madura esculpiendo circuitos innecesarios más rápidamente, optimizando la relación señal/ruido.

## B. Expansión del área de superficie

Simultáneamente, se reporta una **mayor área de superficie cortical** y un mayor índice de girificación (plegamiento).

- **Hallazgo clave:** La arquitectura ACI maximiza la superficie computacional (columnas corticales disponibles) mientras minimiza la distancia de transmisión (grosor), facilitando el procesamiento paralelo masivo requerido para el razonamiento abstracto complejo.

## 3.5 Hallazgo 3: conectividad y dinámica de redes (reconfigurabilidad)

Más allá de las regiones aisladas, los estudios de DTI (conectividad estructural) y fMRI *resting-state* (conectividad funcional) indican que la característica definitoria de la ACI es la **flexibilidad dinámica** de las grandes redes cerebrales.

### A. Integridad de la sustancia blanca

Los estudios de DTI reportan consistentemente una mayor **Anisotropía Fraccional (FA)** en trectos largos de asociación, específicamente:

- **Fascículo Arqueado y Fascículo Longitudinal Superior:** Conectan áreas frontales y parietales, cruciales para la inteligencia fluida y la memoria de trabajo.
- **Cuerpo calloso:** Mayor integridad en el esplenio y la rodilla, facilitando una integración interhemisférica veloz ("*whole-brain processing*").

### B. Dinámica de la "Triple Red"

La ACI se asocia con una interacción optimizada entre las tres redes neurocognitivas principales:

1. **Red de Control Ejecutivo (ECN/FPN):** Orientada a tareas externas.
2. **Red por Defecto (DMN):** Orientada a procesos internos e imaginación.
3. **Red de Saliencia (SN):** Actúa como "interruptor".

Los datos muestran que los cerebros ACI exhiben una **capacidad superior para "conmutar" (switch)** entre la DMN y la ECN. Mientras que en cerebros *típicos* estas redes suelen antagonizarse fuertemente, en la ACI se observa una cooperación transitoria durante tareas creativas o de alta demanda, permitiendo un flujo de información único entre la generación de ideas (DMN) y su evaluación lógica (ECN).

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Modelo integrativo: arquitectura neural diferencial a múltiples niveles

La síntesis del conjunto de los hallazgos converge hacia modelo psicobiológico integrador, si bien es necesaria mucha más investigación al respecto para consolidar y poder hablar de relaciones causales, dada la naturaleza compleja y multifactorial del constructo:

En cualquier caso podemos afirmar que ACI no es equivalente a un cerebro sencillamente mejor, sino a una configuración neurobiológica cualitativamente diferente al promedio, optimizada para la cognición abstracta y flexible. La arquitectura diferencial manifiesta en:

- **Nivel Molecular:**
  - Neuronas piramidales mayores (Goriounova et al., 2018)
  - Cinética potencial acción 26% superior
  - Mayor fidelidad integración sináptica
  - Metabolismo optimizado
- **Nivel Celular-Sistémico:**
  - Conectividad intra-red más eficiente (menos neuronas activadas para procesamiento equivalente)
  - Comunicación inter-red superior (hubs mejor conectados)
  - Densidad dendrítica diferenciada en regiones específicas
- **Nivel Arquitectónico-Comportamental:**
  - Topología red fronto-parietal optimizada para abstracción
  - DMN más flexible para integración creativa
  - Switches ECN-DMN más rápidos y eficientes
  - Desempeño superior en tareas razonamiento complejo

Hipótesis integradora:



*“La Alta Capacidad Intelectual (ACI) refleja sinergia entre eficiencia local (**neuronal**) + organización estructural diferenciada (**morfología**) + dinámicas funcionales superiores (**conectividad**), creando así una configuración o sistema cerebral dinámico, cualitativamente distinto y optimizado para la manipulación mental símbolos abstractos, la integración flexible de información, y el pensamiento creativo-convergente articulado.”*

## 4.2 Implicaciones clínicas, educativas y de investigación

### Identificación temprana:

- Potencial biomarcadores neurobiológicos (EEG task-related, conectividad fMRI)
- Limitaciones prácticas: costo por sesión, cooperación infantil, especificidad diagnóstica limitada
- Tests psicométricos siguen siendo *standard*; neuroimagen complementaria

### Intervención educativa personalizada:

- Arquitectura neural diferencial demanda personalización educativa
- Tareas que exploten eficiencia neural: aprendizaje descubrimiento, resolución problemas abiertos
- Entrenamiento transferencia inter-dominio: aprovecha reconfigurabilidad DMN-ECN superior

### Reconceptualización asincronía en el neurodesarrollo:

- La maduración acelerada justificada neurobiológicamente
- Las discrepancias edad mental-cronológica refleja trayectorias alternativas
- Implicaciones clínicas: ajustes educativos, reconocimiento psicológico diferencial, constatación diferencias sustanciales frente a cautela en casos de precocidad

## 4.3 Limitaciones de la revisión

- **Tasa de inclusión baja:** Justificada por PICO estrictos pero limita generalización
- **Heterogeneidad metodológica:** Meta-análisis cuantitativo no factible; la síntesis narrativa requiere cautela

- **Sesgo de publicación:** Sin búsqueda literatura “gris”; favorece estudios con hallazgos significativos
- **Diseño transversal predominante:** No permite inferencias causales; mecanismos especulativos
- **Sesgo de idiomas:** Solo EN/ES; exclusión literatura en otros idiomas
- **Revisor único:** Mitigado con algoritmo automatizado pero limitación estructural
- **Ausencia estudios longitudinales:** Literatura no proporciona datos sobre trayectorias developmentales ACI en tiempo

## 4.4 Fortalezas de la revisión

- **Protocolo PRISMA-S a priori:** Transparencia, reproducibilidad
- **Algoritmo lexicográfico automatizado:** Replicabilidad screening, reducción sesgo revisor
- **Criterios PICO rigurosos:** Validez interna robusta
- **Evaluación calidad estandarizada:** 28/36 core evaluados con NIH Tool
- **Síntesis multinivel:** Integra análisis molecular-cognitivo, no meramente descriptiva

## 4.5 Agenda de investigación futura (psicobiología y neurociencia cognitiva)

### Cuestiones abiertas de alto impacto:

- ¿La eficiencia neural es causa o consecuencia del desarrollo de ACI?
- ¿Rol genes vs ambiente en configuración arquitectónica neural?
- ¿Existen subtipos neurobiológicos ACI (math-gifted vs verbally gifted)?
- ¿Cómo integrar asincronía del desarrollo en modelos sobre ACI?

### Recomendaciones metodológicas:

- Estudios prospectivos (N>100) con diseño longitudinal
- Armonización de protocolos de neuroimagen
- Inclusión poblaciones underrepresentadas
- Medidas estandarizadas ACI (vs heterogeneidad actual)

## 5. CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática PRISMA-S de 36 estudios empíricos *core* (período 2015-2025), complementada con 12 estudios contexto, proporciona una síntesis de hallazgos neurocientíficos sobre ACI.

La evidencia converge en un posible modelo de desarrollo neurobiológico diferencial caracterizado por:

1. **Eficiencia neural aumentada:** Arquitectura neuronal optimizada (dendritas mayores, cinética superior, metabolismo reducido) asociada a desempeño cognitivo superior con activación cerebral comparable o reducida
2. **Morfología cortical diferenciada:** Variabilidad replicada en grosor/superficie cortical de red fronto-parietal y DMN, interpretada como trayectorias neurodevelopmentales alternativas optimizadas para dominios cognitivos específicos
3. **Dinámicas conectividad superiores:** Reconfigurabilidad aumentada entre ECN y DMN, facilitando flexibilidad cognitiva necesaria para alternancia entre pensamiento divergente y convergente

La ACI se plantea como **arquitectura neural cualitativamente diferente** (que no jerárquicamente superior), optimizada para la integración flexible de información abstracta y la manipulación mental símbolos complejos. Existe compatibilidad teórica con conceptos psicobiológicos clásicos: asincronía del desarrollo, doble excepcionalidad, diferenciación del neurodesarrollo.

### Implicaciones para el campo de estudio:

- Hacia la validación del aspecto multidimensional de la neurobiología ACI
- Reconceptualización desde modelo jerárquico hacia modelo basado en las diferencias cualitativas
- Fundamentación biológica para intervención educativa personalizada

**Líneas futuras:** estudios longitudinales, modelado computacional, investigación translacional

**Limitaciones permanentes:** Tasa inclusión reducida, heterogeneidad metodológica inherente, ausencia estudios longitudinales, tamaños muestrales pequeños. A pesar de las limitaciones, la síntesis proporciona un punto de partida como base de evidencia para avanzar en la comprensión neurocientífica de la Alta Capacidad Intelectual desde una perspectiva psicobiológica integrada.

# REFERENCIAS

- Amin, H. U., Malik, A. S., Kamel, N., Chooi, W.-T., & Hussain, M. (2015). P300 correlates with learning & memory abilities and fluid intelligence. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12, 87. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0077-6>
- Anomal, R. F., Brandão, D. S., Porto, S. B., de Oliveira, S. S., de Souza, R. F. L., Fiel, J. de S., Gomes, B. D., Pires, I. A. H., & Pereira, A. J. (2020). The role of frontal and parietal cortex in the performance of gifted and average adolescents in a mental rotation task. *PloS one*, 15(5), e0232660. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232660>
- Barbey, A. K. (2018). Network Neuroscience Theory of Human Intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(1), 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.10.001>
- Baron-Cohen, S., & Lombardo, M. V. (2017). Autism and talent: The cognitive and neural basis of systemizing. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 19(4), 345-353. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2017.19.4/sbaroncohen>
- Basten, U., Hilger, K., & Fiebach, C. J. (2015). Where smart brains are different: A quantitative meta-analysis of functional and structural brain imaging studies on intelligence. *Intelligence*, 51, 10-27. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.04.009>
- Choong, M. K., Galgani, F., Dunn, A. G., & Tsafnat, G. (2014). Automatic evidence retrieval for systematic reviews. *Journal of medical Internet research*, 16(10), e223. <https://doi.org/10.2196/jmir.3369>
- Codina, L., & Lopezosa, C. (2022). Cómo resolver la fase de búsqueda y evaluación de una revisión de la literatura mediante bases de datos académicas.
- Crespi, B. J. (2016). Autism As a Disorder of High Intelligence. *Frontiers in Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00300>
- Davies, G., Lam, M., Harris, S. E., Trampush, J. W., Luciano, M., Hill, W. D., Hagenaars, S. P., Ritchie, S. J., Marioni, R. E., Fawns-Ritchie, C., Liewald, D. C. M., Okely, J. A., Ahola-Olli, A. V., Barnes, C. L. K., Bertram, L., Bis, J. C., Burdick, K. E., Christoforou, A., DeRosse, P., ... Deary, I. J. (2018). Study of 300,486 individuals identifies 148 independent genetic loci influencing general cognitive function. *Nature Communications*, 9(1), 2098. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04362-x>
- Deary, I. J., Cox, S. R., & Hill, W. D. (2022). Genetic variation, brain, and intelligence differences. *Molecular Psychiatry*, 27(1), 335-353. <https://doi.org/10.1038/s41380-021-01027-y>
- Durdiaková, J., Celec, P., Laznibatová, J., Minárik, G., Lakatošová, S., Kubranská, A., & Ostatníková, D. (2015). Differences in salivary testosterone, digit ratio and empathy between intellectually gifted and control boys. *Intelligence*, 48, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.11.002>
- 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 Neurobiologiae Experimentalis*, 76(1), 66-74. <https://doi.org/10.21307/ane-2017-006>

Gilger, J. W., Bayda, M., Olulade, O. A., Altman, M. N., & O'Boyle, M. (2017). Preliminary Report on Neuroanatomical Differences Among Reading Disabled, Nonverbally Gifted, and Gifted-Reading Disabled College Students. *Developmental neuropsychology*, 42(1), 25-38. <https://doi.org/10.1080/87565641.2016.1256402>

Goriounova, N. A., Heyer, D. B., Wilbers, R., Verhoog, M. B., Giugliano, M., Verbist, C., Obermayer, J., Kerkhofs, A., Smeding, H., Verberne, M., Idema, S., Baayen, J. C., Pieneman, A. W., De Kock, C. P., Klein, M., & Mansvelder, H. D. (2018). Large and fast human pyramidal neurons associate with intelligence. *eLife*, 7, e41714. <https://doi.org/10.7554/eLife.41714>

Greenhalgh, T., & Peacock, R. (2005). Effectiveness and efficiency of search methods in systematic reviews of complex evidence: audit of primary sources. *BMJ (Clinical research ed.)*, 331(7524), 1064–1065. <https://doi.org/10.1136/bmj.38636.593461.68>

Hebb DO. The organization of behavior: a neuropsychological theory. New York: Wiley; 1949. [https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(99\)00182-3](https://doi.org/10.1016/s0361-9230(99)00182-3)

Hilger, K., Ekman, M., Fiebach, C. J., & Basten, U. (2017). Efficient hubs in the intelligent brain: Nodal efficiency of hub regions in the salience network is associated with general intelligence. *Intelligence*, 60, 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.11.001>

Hill, W. D., Marioni, R. E., Maghzian, O., Ritchie, S. J., Hagenaars, S. P., McIntosh, A. M., Gale, C. R., Davies, G., & Deary, I. J. (2019). A combined analysis of genetically correlated traits identifies 187 loci and a role for neurogenesis and myelination in intelligence. *Molecular Psychiatry*, 24(2), 169-181. <https://doi.org/10.1038/s41380-017-0001-5>

Jansen, P. R., Nagel, M., Watanabe, K., Wei, Y., Savage, J. E., De Leeuw, C. A., Van Den Heuvel, M. P., Van Der Sluis, S., & Posthuma, D. (2020). Genome-wide meta-analysis of brain volume identifies genomic loci and genes shared with intelligence. *Nature Communications*, 11(1), 5606. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19378-5>

Jeong, G.-R., Soch, J., Trampel, R., Nieder, A., & Skeide, M. A. (2025). High-field fMRI at 7 Tesla reveals topographic responses tuned to number in the developing human brain. *Developmental cognitive neuroscience*, 75, 101598. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2025.101598>

Karpinski, R. I., Kinase Kolb, A. M., Tetreault, N. A., & Borowski, T. B. (2018). High intelligence: A risk factor for psychological and physiological overexcitabilities. *Intelligence*, 66, 8-23. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.09.001>

Khodaei, M., Laurienti, P. J., Dagenbach, D., & Simpson, S. L. (2023). Brain working memory network indices as landmarks of intelligence. *Neuroimage: Reports*, 3(2), 100165. <https://doi.org/10.1016/j.ynirp.2023.100165>

Kocevar, G., Suprano, I., Stamile, C., Hannoun, S., Fournieret, P., Revol, O., Nusbaum, F., & Sappey-Marini, D. (2019). Brain structural connectivity correlates with fluid

intelligence in children: A DTI graph analysis. *Intelligence*, 72, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2018.12.003>

Kuhn, T., Blades, R., Gottlieb, L., Knudsen, K., Ashdown, C., Martin-Harris, L., Ghahremani, D., Dang, B. H., Bilder, R. M., & Bookheimer, S. Y. (2021). Neuroanatomical differences in the memory systems of intellectual giftedness and typical development. *Brain and behavior*, 11(11), e2348. <https://doi.org/10.1002/brb3.2348>

Li, D., Liu, T., & Shi, J. (2020). Fluid intelligence and neural mechanisms of emotional conflict adaptation. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 152, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.03.004>

Li, Y., Xue, Y.-Z., Zhao, W.-T., Li, S.-S., Li, J., & Xu, Y. (2021). Correlates of intelligence via resting-state functional connectivity of the amygdala in healthy adults. *Brain Research*, 1751, 147176. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2020.147176>

Liu, T., Xiao, T., Li, X., & Shi, J. (2015). Neural mechanism of facial expression perception in intellectually gifted adolescents. *Neuroscience letters*, 592, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.02.062>

Luo, W., & Zhou, R. (2020). Can Working Memory Task-Related EEG Biomarkers Measure Fluid Intelligence and Predict Academic Achievement in Healthy Children? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 14, 2. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00002>

Ma, J., Kang, H. J., Kim, J. Y., Jeong, H. S., Im, J. J., Namgung, E., Kim, M. J., Lee, S., Kim, T. D., & Oh, J. K. (2017). Network attributes underlying intellectual giftedness in the developing brain. *Scientific reports*, 7(1.0), 11321. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11593-3>

Myers, T., Carey, E., & Szűcs, D. (2017). Cognitive and Neural Correlates of Mathematical Giftedness in Adults and Children: A Review. *Frontiers in Psychology*, 8, 1646. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01646>

Navas-Sánchez, F. J., Carmona, S., Alemán-Gómez, Y., Sánchez-González, J., Guzmán-de-Villoria, J., Franco, C., Robles, O., Arango, C., & Desco, M. (2016). Cortical morphometry in frontoparietal and default mode networks in math-gifted adolescents. *Human Brain Mapping*, 37(5), 1893-1902. <https://doi.org/10.1002/hbm.23143>

Oi, Y., Kita, Y., Suzuki, K., Okumura, Y., Okuzumi, H., Shinoda, H., & Inagaki, M. (2017). Spatial working memory encoding type modulates prefrontal cortical activity. *Neuroreport*, 28(7), 391-396. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000761>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799.

Pótári, A., Ujma, P. P., Konrad, B. N., Genzel, L., Simor, P., Körmendi, J., Gombos, F., Steiger, A., Dresler, M., & Bódizs, R. (2017). Age-related changes in sleep EEG are

attenuated in highly intelligent individuals. *NeuroImage*, 146, 554-560. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.09.039>

Puentes, M. T. A., & Romo-Pardo, B. (2025). Intellectual giftedness: Implications and diagnostic approach. *Medicina (Buenos Aires)*, 85, 22-27.

Santarnecchi, E., Emmendorfer, A., & Pascual-Leone, A. (2017). Dissecting the parieto-frontal correlates of fluid intelligence: A comprehensive ALE meta-analysis study. *Intelligence*, 63, 9-28. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.04.008>

Santonja, J., Román, F. J., Martínez, K., Escorial, S., Álvarez-Linera, J., Privado, J., Quiroga, M. Á., Santarnecchi, E., Iturria-Medina, Y., & Colom, R. (2021). Neocortical Age and Fluid Ability: Greater Accelerated Brain Aging for Thickness, but Smaller for Surface Area, in High Cognitive Ability Individuals. *Neuroscience*, 467, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.05.029>

Sastre-Riba, S., & Ortiz, T. (2018). [Executive neurofunctionality: A comparative study in high intellectual abilities]. *Revista de neurologia*, 66(S01), S51-S56.

Schnack, H. G., Van Haren, N. E. M., Brouwer, R. M., Evans, A., Durston, S., Boomsma, D. I., Kahn, R. S., & Hulshoff Pol, H. E. (2015). Changes in Thickness and Surface Area of the Human Cortex and Their Relationship with Intelligence. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1608-1617. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht357>

Sharkey, R. J., & Nickl-Jockschat, T. (2023). The neurobiology of autism spectrum disorder as it relates to twice exceptionality. *Neurobiology of learning and memory*, 200, 107740. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2023.107740>

Solé-Casals, J., Serra-Grabulosa, J. M., Romero-Garcia, R., Vilaseca, G., Adan, A., Vilaró, N., Bargalló, N., & Bullmore, E. T. (2019). Structural brain network of gifted children has a more integrated and versatile topology. *Brain structure & function*, 224(7.0), 2373-2383. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01914-9>

Thieux, M., Zhang, M., Guignard-Perret, A., Mazza, S., Planoulaine, S., Guyon, A., & Franco, P. (2024). Does the brain sleep differently depending on intellectual abilities? *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 30(2), e14378. <https://doi.org/10.1111/cns.14378>

Thomas, M. S. C. (2016). Do more intelligent brains retain heightened plasticity for longer in development? A computational investigation. *Developmental cognitive neuroscience*, 19, 258-269. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.04.002>

Trampush, J. W., Yang, M. L. Z., Yu, J., Knowles, E., Davies, G., Liewald, D. C., Starr, J. M., Djurovic, S., Melle, I., Sundet, K., Christoforou, A., Reinvang, I., DeRosse, P., Lundervold, A. J., Steen, V. M., Espeseth, T., Rääkkönen, K., Widen, E., Palotie, A., ... Lencz, T. (2017). GWAS meta-analysis reveals novel loci and genetic correlates for general cognitive function: A report from the COGENT consortium. *Molecular Psychiatry*, 22(3), 336-345. <https://doi.org/10.1038/mp.2016.244>

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., Lewin, S., ... Straus, S. E.

(2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of internal medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>

Tseng, C. C., Liang, K.-C., Liu, H.-M., Wang, H.-L. S., Lai, C.-H., & Kuo, C.-C. (2020). Brain functional differences in language processing between gifted and non-gifted children. *Chinese Journal of Psychology*, 62(4), 473-496. [https://doi.org/10.6129/CJP.202012\\_62\(4\).0002](https://doi.org/10.6129/CJP.202012_62(4).0002)

Viswanathan, V., Lee, S., Gilman, J. M., Kim, B. W., Lee, N., Chamberlain, L., Livengood, S. L., Raman, K., Lee, M. J., Kuster, J., Stern, D. B., Calder, B., Mulhern, F. J., Blood, A. J., & Breiter, H. C. (2015). Age-related striatal BOLD changes without changes in behavioral loss aversion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00176>

Waisman, I., Brunner, C., Grabner, R. H., Leikin, M., & Leikin, R. (2023). (Lack of) neural efficiency related to general giftedness and mathematical excellence: An EEG study. *Neuropsychologia*, 179, 108448. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108448>

Waisman, I., Leikin, R., & Leikin, M. (2025). Insight elements of mathematical problem solving in generally gifted and mathematical experts: ERP amplitudes in PO electrodes. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 19, 1523334. <https://doi.org/10.3389/fnint.2025.1523334>

Wei, M., Wang, Q., Jiang, X., Guo, Y., Fan, H., Wang, H., & Lu, X. (2020). Directed Connectivity Analysis of the Brain Network in Mathematically Gifted Adolescents. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2020/4209321>

Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2015a). Localization of neural efficiency of the mathematically gifted brain through a feature subset selection method. *Cognitive Neurodynamics*, 9(5), 495-508. <https://doi.org/10.1007/s11571-015-9345-1>

Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2015b). Mathematically gifted adolescents mobilize enhanced workspace configuration of theta cortical network during deductive reasoning. *Neuroscience*, 289, 334-348. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.12.072>

Zhang, L., Gan, J. Q., & Wang, H. (2017). Neurocognitive mechanisms of mathematical giftedness: A literature review. *Applied neuropsychology. Child*, 6(1), 79-94. <https://doi.org/10.1080/21622965.2015.1119692>

Zhang, L., Gan, J. Q., Zhu, Y., Wang, J., & Wang, H. (2020). EEG source-space synchrostate transitions and Markov modeling in the math-gifted brain during a long-chain reasoning task. *Human brain mapping*, 41(13), 3620-3636. <https://doi.org/10.1002/hbm.25035>