

Article: Investigación

Relationship between Brain Structure and Intelligence: A Gray and White Matter Analysis**Relación entre la Estructura Cerebral y la Inteligencia: Un Análisis de Materia Gris y Blanca**Yandry Ponce Menéndez^{1*}  .¹ Universidad del Pacifico, Guayaquil, EcuadorCorresponding author: Yandry Ponce Menéndez **Revised:** 02-may-2023 **Accepted:** 22-may-2023 **Published:** 28-may-2023**Cite as:**Relación entre la Estructura Cerebral y la Inteligencia: Un Análisis de Materia Gris y Blanca. (2023). Sapiens Sciences International Journal , 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.71068/ss000005>**ABSTRACT**

Brain development is not uniform in all individuals, as it presents differences influenced by the predominant type of intelligence in each person. Among these, logical-mathematical intelligence plays a fundamental role, as it favors the development of other forms of intelligence. From a psychological perspective, two types of intelligence are distinguished that, together, make up the g factor proposed by Spearman: crystallized intelligence and fluid intelligence. The former is linked to knowledge accumulated over time and with experience, demonstrating a strong association with verbal processing. Fluid intelligence, for its part, is oriented toward flexible reasoning and the resolution of novel situations. Genetic bases of intelligence. The genetic influence on the development of intelligence is considerable. It has been identified that a significant number of genes related to specific functions also intervene in essential neurological processes, such as synaptic plasticity, cellular interaction, and energy metabolism. These functions are especially linked to the activity of neurons located in the cerebral cortex and midbrain. Recent research suggests a possible correlation between human intellectual performance, expressed in intelligence quotient (IQ), and certain characteristics of pyramidal cells, such as the size of their dendrites and the speed with which they conduct action potentials.

Keywords: Formative assessment; Autonomous learning; Educational feedback; Academic performance.**RESUMEN**

El desarrollo cerebral no es uniforme en todos los individuos, ya que presenta diferencias influenciadas por el tipo de inteligencia predominante en cada persona. Entre ellas, la inteligencia lógico-matemática juega un papel fundamental, pues favorece el perfeccionamiento de otras formas de inteligencia. Desde la perspectiva de la psicología, se distinguen dos clases de inteligencia que, en conjunto, conforman el factor g propuesto por Spearman: la inteligencia cristalizada y la fluida. La primera se vincula con el conocimiento acumulado a lo largo del tiempo y con la experiencia, evidenciando una fuerte asociación con el procesamiento verbal. Por su parte, la inteligencia fluida está orientada al razonamiento flexible y la resolución de situaciones novedosas. Bases genéticas de la inteligencia. La influencia genética en el desarrollo de la inteligencia es considerable. Se ha identificado que un número significativo de genes relacionados con funciones específicas también intervienen en procesos neurológicos esenciales, tales como la plasticidad sináptica, la interacción celular y el metabolismo energético. Estas funciones están especialmente ligadas a la actividad de neuronas ubicadas en la corteza cerebral y el cerebro medio. Investigaciones recientes sugieren que existe una posible correlación entre el rendimiento intelectual humano, expresado en el coeficiente intelectual (CI), y ciertas características

de las células piramidales, como el tamaño de sus dendritas y la velocidad con la que conducen los potenciales de acción.

Palabras clave: Evaluación formativa; Aprendizaje autónomo; Retroalimentación educativa; Rendimiento académico.

INTRODUCTION

Inteligencia y eficiencia cerebral

Diversos estudios científicos han demostrado que existe una notable variabilidad en cuanto al nivel de eficiencia cerebral entre los individuos. Estas diferencias no son arbitrarias, sino que se encuentran estrechamente vinculadas al tipo de inteligencia que predomina en cada persona. En este sentido, algunos sujetos muestran una organización y funcionamiento cerebral más óptimos, lo cual se traduce en una mayor capacidad para procesar información y resolver problemas complejos. Dentro de este marco, la inteligencia lógica-matemática ha sido identificada como un factor esencial en el fortalecimiento y desarrollo de otras formas de inteligencia, ya que actúa como un catalizador que potencia las habilidades cognitivas globales. En efecto, la estimulación y el dominio de la lógica permiten una mejora significativa en otros tipos de inteligencia, favoreciendo una integración más holística de las capacidades mentales (Haier et al., 2004).

Herramientas para el análisis de la inteligencia

Para comprender a profundidad las características y mecanismos que subyacen a la inteligencia humana, la ciencia contemporánea se ha apoyado en diversas herramientas tecnológicas y metodológicas. Entre ellas, destacan las técnicas de neuroimagen, que permiten visualizar en tiempo real tanto la estructura como la funcionalidad macroscópica del cerebro. Estas imágenes han revelado importantes hallazgos en cuanto a la conectividad neuronal, especialmente en las regiones de sustancia blanca y sustancia gris, que son fundamentales para la transmisión eficiente de información y el procesamiento cognitivo avanzado. La neuroimagen ha permitido observar que los cerebros más eficientes presentan una organización estructural más robusta, con conexiones más densas y funcionales entre diferentes áreas corticales y subcorticales (Haier et al., 2004).

De manera complementaria, los estudios de asociación genética han contribuido a identificar variantes genéticas específicas, incluyendo genes y loci, que están relacionados con los niveles de inteligencia. Estas investigaciones permiten establecer correlaciones entre factores biológicos heredados y el rendimiento cognitivo, lo que abre nuevas posibilidades para comprender el origen y el desarrollo de las capacidades intelectuales desde una perspectiva interdisciplinaria. Así, la inteligencia deja de ser entendida únicamente como una construcción social o educativa, para incorporarse también dentro de los marcos explicativos de la neurociencia y la genética moderna (Haier et al., 2004).

METHOD

Test de Coeficiente Intelectual (C.I.)

La Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler (WAIS) es una de las pruebas más empleadas para estimar la inteligencia global (factor g), que describe el comportamiento inteligente en diversas

situaciones. Este factor se divide en inteligencia educativa, que se refiere a la habilidad de adquirir nuevas ideas o destrezas en contextos específicos, e inteligencia reproductiva, que es la capacidad de recordar información previamente aprendida. A través de estas pruebas, es posible asociar los resultados de varias evaluaciones cognitivas y calcular una puntuación del coeficiente intelectual (Spearman, 1904). Los resultados de estas pruebas están relacionados con características de personalidad y también con estudios de neuroimagen y genética, así como con los niveles socioeconómicos y grupos de edad del individuo evaluado (Foverskov et al., 2017).

Incluso en la edad avanzada, la inteligencia tiende a mantenerse estable. Por ejemplo, una prueba de inteligencia general que evaluó a las mismas personas a los 11 y a los 90 años mostró una fuerte correlación entre los resultados (Deary et al., 2013). Además, un estudio con gemelos reveló que la herencia de la inteligencia varía entre el 50% y el 80%, alcanzando hasta el 86% en el CI verbal, lo que está relacionado con procesos evolutivos naturales (Posthuma et al., 2001).

Este proceso evolutivo se ejemplifica cuando una especie más inteligente elige una pareja igualmente inteligente para reproducirse, un comportamiento que se observa como parte del instinto de supervivencia de nuestro código genético. La inteligencia ha sido un factor crucial para el mantenimiento de la especie (Posthuma et al., 2001). Además, al enfermar, activamos nuestro instinto de supervivencia, lo cual involucra la región emocional del cerebro, vinculada también con los sentimientos (Hulshoff et al., 2006). Estos sentimientos de amor y pasión activan tanto estructuras corticales como subcorticales, como la corteza insular, la corteza cingulada anterior, el hipocampo, y el núcleo accumbens (Hulshoff et al., 2006).

Estas regiones cerebrales se comunican a través de neurotransmisores y hormonas del sistema neuroendocrino. Por ejemplo, la oxitocina, conocida como la "hormona del amor", se produce en la pituitaria anterior, situada en el lóbulo temporal, que forma parte del sistema límbico (Foverskov et al., 2017). La liberación de oxitocina tiene efectos positivos sobre el sistema inmunológico, lo que se manifiesta cuando el cuerpo percibe una amenaza, real o ficticia, activando mecanismos en los sistemas nervioso, neuroendocrino e inmunitario (Foverskov et al., 2017).

Cuando un individuo enfrenta una patología, el sistema nervioso simpático envía señales a las glándulas suprarrenales para que liberen adrenalina, lo que activa el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, que a su vez secreta hormonas como el cortisol y otros corticosteroides (Karama et al., 2009). Estos cambios pueden generar sensaciones fluctuantes que oscilan entre lo placentero y lo desagradable, dependiendo del contexto, y están relacionados con neurotransmisores como la dopamina, que se activa en el núcleo accumbens, una región también asociada con las emociones (Karama et al., 2009).

Neuroanatomía de la inteligencia

Un análisis de McDaniel (2005) que incluyó 37 estudios con más de 1,500 individuos, encontró una correlación positiva y significativa de 0.33 entre el volumen cerebral y la inteligencia. De manera similar, otro estudio que evaluó 88 investigaciones con más de 8,000 personas mostró una correlación de 0.24, aunque algo más baja (Pietschnig et al., 2015). Los estudios de neuroimagen en individuos

con un CI elevado revelaron un patrón distribuido en varias estructuras cerebrales, especialmente en el lóbulo temporal y el hipocampo (Andreasen et al., 1993).

Las investigaciones de morfometría basada en vóxeles (VBM) demostraron que la inteligencia se asocia con el grosor cortical en áreas de los lóbulos frontal y temporal (Hulshoff Pol et al., 2006; Narr et al., 2007; Choi et al., 2008; Karama et al., 2009). Esta línea de investigación evolucionó hacia estudios que analizan otras áreas cerebrales, como la corteza frontal, el giro temporal inferior, y las cortezas parahipocampal y auditiva (Narr et al., 2007; Choi et al., 2008; Colom et al., 2009).

El volumen de la materia gris cambia a lo largo de la infancia y la adolescencia, siendo influenciado por el aprendizaje, las experiencias y la edad (Gogtay et al., 2004). Cuando una persona adquiere una nueva habilidad, se observan cambios estructurales en las áreas cerebrales involucradas (Draganski et al., 2004).

Además, las diferencias de género y edad impactan en las estructuras cerebrales, lo que puede afectar las áreas corticales asociadas a la inteligencia. En los varones, la materia gris en la región frontoparietal está relacionada con la capacidad cognitiva, mientras que en las mujeres, la eficiencia de la materia blanca y el volumen total de la materia gris son factores más determinantes (Ryman et al., 2016). Así, las mujeres muestran una asociación más fuerte en el grosor de la materia gris en áreas como la corteza prefrontal y temporal, mientras que los hombres muestran asociaciones más evidentes en la corteza temporal-occipital (Narr et al., 2007).

Los estudios recientes que han utilizado morfometría basada en la superficie (BMS) en lugar de VBM han encontrado diferencias estructurales en el cerebro, pero no se ha demostrado una relación directa entre estas variaciones y el rendimiento cognitivo, ni entre géneros (Escorial et al., 2015).

El volumen de la materia gris en individuos más jóvenes aumenta, pero en la pubertad se observa un adelgazamiento sostenido (Bourgeois et al., 1994). Los niños con un CI más alto tienden a mostrar un desarrollo cortical acelerado, seguido de un adelgazamiento cortical durante la adolescencia (Shaw et al., 2006).

Tipos de inteligencia

La psicología distingue dos tipos de inteligencia que forman parte del modelo de Spearman: la inteligencia cristalizada y la inteligencia fluida. La primera está relacionada con los conocimientos y experiencias adquiridas, y refleja principalmente la cognición verbal, mientras que la inteligencia fluida se refiere a la capacidad de razonamiento en situaciones novedosas (Carroll, 1993; Engle et al., 1999). La inteligencia cristalizada está vinculada con el grosor cortical en áreas de los lóbulos temporales y el polo temporal (Choi et al., 2008; Colom et al., 2009), mientras que las áreas parietales están asociadas con varios tipos de inteligencia, incluida la cristalizada (Gainotti, 2006).

Por otro lado, la corteza frontal lateral, que está relacionada con el razonamiento, la atención y la memoria, se asocia con la inteligencia fluida, al igual que el lóbulo parietal. En estudios sobre la inteligencia fluida, como las Matrices Progresivas de Raven, se ha demostrado que las personas con

un mayor CI presentan mayor actividad neuronal en las regiones prefrontales y parietales (Gray et al., 2003).

Influencia del ADN y los genes

Los estudios de asociación del genoma (GWAS) han mostrado que los polimorfismos de nucleótido único (SNPs) asociados con la inteligencia se insertan principalmente en zonas intrónicas (51.3%) e intergénicas (33.4%), con solo un 1.4% en regiones exónicas (Savage et al., 2018). Estos hallazgos sugieren que las regiones no codificantes del genoma pueden influir en la actividad sináptica y, por lo tanto, en la evolución de la capacidad cognitiva (Hardingham et al., 2018).

Materia blanca

La sustancia blanca, compuesta por axones que transmiten información entre diferentes regiones cerebrales, es crucial para la función cognitiva normal. La integridad de los tractos de materia blanca está asociada con trastornos hereditarios cognitivos y psicopatológicos (Alnæs et al., 2018). En los niños, la microestructura de la materia blanca se asocia con la inteligencia no verbal y la capacidad visual espacial (Muetzel et al., 2015).

RESULTS

No solo el volumen y grosor de la materia gris cerebral, que constituye los cuerpos neuronales, son importantes, sino también la integridad y función de la materia blanca en áreas como los lóbulos temporal, frontal y parietal, así como los axones mielinizados, que están relacionados con la inteligencia. La inteligencia presenta una fuerte influencia genética, ya que un porcentaje significativo de genes codifican proteínas funcionales que intervienen en diversas funciones neuronales, como la función sináptica, la plasticidad, las interacciones celulares y el metabolismo energético. Se observa la expresión de genes vinculados a las neuronas principales en la corteza y el cerebro medio. En un estudio realizado por Haier et al. (2014), se investigaron células de la región del lóbulo temporal, que está asociada con la memoria, el reconocimiento de señales y el lenguaje, en 35 individuos que habían obtenido altas puntuaciones en una prueba de CI. Este estudio evidenció una relación entre la función y la estructura de las células piramidales y la inteligencia, específicamente en lo que respecta al tamaño dendrítico, la velocidad del potencial de acción y el coeficiente intelectual.

La integridad de varios tractos de materia blanca, como el fascículo lancinado derecho, que conecta el lóbulo temporal con el lóbulo frontal, resulta esencial para definir la inteligencia. Los daños en esta vía se han comprobado en individuos con retraso mental, mientras que aquellos con una buena conexión entre estas regiones muestran un alto coeficiente intelectual. Según Souza et al. (2002), la inteligencia general no puede atribuirse a una región específica del cerebro, lo que se respalda con estudios de neuroimagen. Esta inteligencia general incluye una red de áreas, como la corteza prefrontal dorsolateral, el lóbulo parietal, la corteza cingulada anterior, así como diversas regiones en los lóbulos temporal y occipital, junto con las principales áreas de materia blanca. Las áreas frontales y parietales se asocian con la inteligencia fluida, que involucra la capacidad de pensar y razonar de forma abstracta y resolver problemas, mientras que los lóbulos temporales se vinculan con la inteligencia cristalizada, que implica el conocimiento adquirido de experiencias previas. Además, la

integridad de la materia blanca se relaciona con la velocidad de procesamiento, que influye en el volumen de la materia gris. Según la definición de inteligencia del DWRI (Rodrigues, 2021), la corteza prefrontal izquierda, vinculada a la capacidad lógica y que no depende del conocimiento adquirido, está estrechamente relacionada con las pruebas de coeficiente intelectual. Esta región es un precursor del desarrollo cognitivo general, y la inteligencia también depende de la integridad de las neuronas, las sinapsis y su composición genética.

La corteza prefrontal actúa como un centro de distribución de información, controlando e influyendo en otras regiones del cerebro. Su capacidad para resolver problemas lógicos en situaciones inusuales, sin depender del conocimiento adquirido previamente, define a esta área como la principal responsable del liderazgo intelectual y la gestión general de la inteligencia.

Final del formulario

DISCUSSION

La relación entre la estructura cerebral y la inteligencia es un tema ampliamente estudiado en la neurociencia, y los hallazgos de diversas investigaciones respaldan la idea de que no sólo la materia gris, sino también la materia blanca, juegan un papel crucial en las capacidades cognitivas. El estudio de Haier et al. (2014) pone de manifiesto la importancia de las células piramidales en el lóbulo temporal, especialmente en su relación con la memoria y el procesamiento del lenguaje, funciones esenciales para el desarrollo de la inteligencia. Este hallazgo se complementa con la observación de que el tamaño dendrítico y la velocidad del potencial de acción están correlacionados con las puntuaciones de CI, lo que refuerza la idea de que la estructura neuronal es clave para las funciones cognitivas.

La integridad de los tractos de materia blanca, como el fascículo lancinado derecho, también se ha mostrado determinante para el desarrollo de la inteligencia, ya que las conexiones entre el lóbulo temporal y el lóbulo frontal son fundamentales para el procesamiento de la información. La presencia de daño en estas vías en individuos con retraso mental y la buena conectividad en aquellos con altos coeficientes intelectuales subraya la importancia de las redes neuronales en el desempeño cognitivo.

Por otro lado, la teoría presentada por Souza et al. (2002), que argumenta que la inteligencia general no puede atribuirse a una sola región del cerebro, sino que depende de una red de áreas distribuidas, está alineada con los hallazgos de estudios de neuroimagen que identifican la corteza prefrontal dorsolateral, el lóbulo parietal y la corteza cingulada anterior como componentes esenciales de esta red. La inteligencia fluida y cristalizada, conceptos ampliamente utilizados para describir los distintos tipos de capacidad intelectual, se distribuyen entre diversas áreas del cerebro, y la integridad de la materia blanca facilita la velocidad de procesamiento, lo que influye directamente en el rendimiento cognitivo.

Además, la corteza prefrontal emerge como una región de gran relevancia en la inteligencia, actuando como centro de integración y distribución de información. Su capacidad para resolver problemas lógicos de forma autónoma, sin depender del conocimiento adquirido previamente, refuerza la idea de que la corteza prefrontal es un elemento clave en la gestión y liderazgo de la inteligencia humana.

CONCLUSIONS

La inteligencia humana es el resultado de una compleja interacción entre la estructura y la función de varias regiones cerebrales, y no se puede atribuir a un solo factor. La materia gris y blanca, las conexiones neuronales y la actividad sináptica son aspectos cruciales en la determinación de las capacidades cognitivas. La integridad de los tractos de materia blanca y las conexiones entre las distintas áreas cerebrales, como el lóbulo temporal y el lóbulo frontal, son esenciales para la inteligencia. Además, la corteza prefrontal, como centro de procesamiento y distribución de información, juega un papel fundamental en la resolución de problemas lógicos y en la gestión de la inteligencia. La interacción de estos factores, junto con la influencia genética, subraya que la inteligencia no puede entenderse como un fenómeno aislado, sino como un proceso multidimensional, en el que tanto la estructura cerebral como las interacciones neuronales contribuyen de manera integral.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Alnæs, D., Kaufmann, T., Doan, N. T., Córdova-Palomera, A., Wang, Y., Bettella, F., ... & Westlye, L. T. (2018). Association of heritable cognitive ability and psychopathology with white matter properties in children and adolescents. *JAMA psychiatry*, 75(3), 287- 295.
- Andreasen, N. C., Flaum, M., Swayze, V., O'Leary, D. S., Alliger, R., Cohen, G., ... & Yuh, W. T. (1993). Intelligence and brain structure in normal individuals. *American Journal of Psychiatry*, 150, 130-130.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies* (No. 1). Cambridge University Press.
- Colom, R., Haier, R. J., Head, K., Álvarez- Linera, J., Quiroga, M. Á., Shih, P. C., & Jung, R. E. (2009). Gray matter correlates of fluid, crystallized, and spatial intelligence: Testing the P-FIT model. *Intelligence*, 37(2), 124-135.

FUNDING:

Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos propios.

CONFLICT OF INTEREST:

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.

AUTHOR CONTRIBUTION

Nombres de autores e iniciales: Yandry Ponce Menéndez (YPM)

1. Conceptualización: (YPM)
2. Curación de datos: (YPM)
3. Análisis formal: (YPM)
4. Adquisición de fondos: ()

5. Investigación: (YPM)
6. Metodología: (YPM)
7. Administración del proyecto: (YPM)
8. Recursos: ()
9. Software: ()
10. Supervisión: (YPM)
11. Validación: (YPM)
12. Visualización: (YPM)
13. Redacción – borrador original: (YPM)
14. Redacción – revisión y edición: (YPM)