

Conectividad cerebral: razonamiento fluido y la coherencia de gamma en niños

Autor (a): Yuliana Casierra Santana

Director: Eduar Herrera

Facultad de ciencias humanas, universidad Icesi

Resumen

Las funciones ejecutivas son un grupo de habilidades cognitivas de orden superior que permiten a los individuos orientarse hacia el futuro, el autocontrol y la realización exitosa de conductas con propósito. Además, permiten la aparición gradual de habilidades como la atención, el lenguaje, la velocidad de procesamiento, la capacidad de memoria y también el razonamiento fluido. El propósito de este estudio fue analizar la relación entre la coherencia interhemisférica y el razonamiento fluido en niños entre los 8 y 12 años de un barrio influenciado por el tercer sector en Cali. Consistió en una muestra de 20 niños (Medad = 9,45, DE = 1,14). Los registros de EEG se realizaron en el laboratorio de ciencias sociales y cognitivas de la universidad Icesi, luego se analizó la coherencia intrahemisférica e interhemisférica de las regiones frontales utilizando el software Python. Al momento de realizar el EEG los niños ya habían sido evaluados con las 7 primeras subpruebas del WISC V. Los resultados correlacionales indicaron que existe una relación positiva entre el razonamiento fluido y la coherencia del EEG en las bandas gamma, en las regiones frontales tanto del hemisferio izquierdo como del derecho. Los resultados del análisis de regresión también revelaron que la coherencia de las ondas delta predijeron positivamente el razonamiento fluido en el hemisferio derecho y negativamente en el izquierdo.

Introducción

Las funciones ejecutivas son un área de gran interés dentro del campo de las neurociencias cognitivas debido a su rol en el neurodesarrollo, dado que son un grupo de habilidades cognitivas de orden superior que permiten a los individuos orientarse hacia el futuro, el autocontrol y la realización exitosa de conductas con propósito. Dentro de estas se incluyen el control de impulsos, la inhibición de respuestas, la atención, la memoria de

trabajo, la flexibilidad cognitiva, la programación, la adaptación y la toma de decisiones. Además, la evidencia neuropsicológica ha sugerido que estas habilidades pueden estar mediadas en gran medida por la corteza prefrontal del cerebro, lo cual permite que la información almacenada pueda aplicarse de manera adaptativa a situaciones novedosas orientadas a problemas (Anderson, 2001; Basharpour et al. 2019).

Dichas funciones surgen en la primera infancia, aunque el desarrollo de estas se extiende hasta la edad adulta. En ese periodo las redes neuronales se adaptan a desafíos ambientales relevantes, lo cual es importante porque el desarrollo de estas habilidades depende de influencias ambientales como el apoyo social y cultural, por ejemplo, relaciones seguras, lenguaje y juego. De igual manera, la plasticidad prolongada de las habilidades de las funciones ejecutivas las deja vulnerables durante más tiempo a la alteración de una amplia gama de influencias, como la pobreza, el abuso, el caos y el estrés (Zelazo et al, 2020).

En el estudio de las funciones ejecutivas, la conectividad cerebral a través de la coherencia de EEG (electroencefalograma) ha sido una de las técnicas más utilizadas. En la literatura se entiende la coherencia como una medida estadística de la coherencia de fase entre dos series temporales, permite medir el nivel de sincronización entre dos áreas del cerebro registradas en diferentes sitios del cuero cabelludo (Basharpour et al. 2019; Thatcher et al. 2005). Lo que se explica a través de la prueba de causalidad de Granger que hace referencia a la conectividad cerebral que describe la relación entre dos (o más) variables, cuando una está causando a la otra (Granger, 1969). De igual manera, Horwitz (2003), descompone la conectividad cerebral en dos tipos, funcional y efectiva. La primera alude a la coherencia temporal entre la actividad de diferentes neuronas, medida mediante la correlación cruzada de sus trenes de picos, y la segunda es una noción más abstracta, refiriendo a un circuito similar a una neurona más simple que produciría la misma relación temporal observada experimentalmente entre dos neuronas en un ensamblaje celular.

En este orden de ideas, Thatcher et al. (2005), utilizaron la técnica de la coherencia de EEG para investigar las correlaciones entre el EEG y la prueba de inteligencia WISC-R utilizando medidas de potencia (potencia absoluta, potencia relativa y relaciones de potencia) y medidas de la red EEG (coherencia y retraso de fase). Sus resultados mostraron que las medidas independientes de la amplitud, como la coherencia, se correlacionaron más

fuertemente con el coeficiente intelectual que las medidas de potencia del EEG. Esto indicó que las propiedades de red de información compartida y acoplamiento reflejadas por la coherencia EEG son las más predictivas del coeficiente intelectual.

A través de la coherencia de EEG, se han realizado diversos estudios que han contribuido al entendimiento de las funciones ejecutivas. Como ejemplo, una investigación buscó comprobar la hipótesis de que los procesos ejecutivos centrales se reflejaban mediante la activación coherente de una red frontoparietal en el rango de frecuencia theta y alfa superior, utilizando esta técnica. Los resultados mostraron que, como esperaban, theta mostró un aumento de la conectividad de largo alcance con mayores demandas del ejecutivo central. Además, la coherencia posterior de corto alcance aumentó en theta durante la difícil condición. Por el contrario, la coherencia alfa superior no aumentó con las demandas ejecutivas, sino que incluso mostró una disminución destacada (Sauseng, 2005).

Del mismo modo, en otra investigación se midió la actividad EEG continua en niños. Los resultados proporcionaron un indicio sobre una posible relación entre la activación cortical medida por el EEG en áreas que se proponen como importantes para el surgimiento de las habilidades de funciones ejecutivas y el desempeño en tareas diseñadas para activar y desafiar estas habilidades en niños en edad preescolar, además, la activación de la batería de funciones ejecutivas se asoció con cambios en la potencia del EEG en la mayoría de los sitios (pre) frontales; sin embargo, los cambios de potencia relacionados con las tareas individuales no estaban relacionados con el desempeño de las tareas de funciones ejecutivas. Por último, los resultados indicaron que los cambios desde el inicio hasta la participación en la tarea en la coherencia del EEG, pero no en la potencia del EEG, se relacionaron significativamente con el rendimiento en la batería referente a las funciones ejecutivas (Swingler et al. 2011).

El desarrollo de funciones ejecutivas está asociado con la aparición gradual de otras capacidades cognitivas, dentro de estas se encuentran la atención, el lenguaje, la velocidad de procesamiento, la capacidad de memoria (Basharpoor et al. 2019); y también se puede considerar el razonamiento fluido, dado que es un tipo de pensamiento que un individuo puede utilizar cuando se enfrenta a una tarea relativamente nueva o que no puede realizarse automáticamente, incluye la capacidad de formar y reconocer conceptos, identificar y percibir relaciones, hacer inferencias y reorganizar o transformar información. Además, sus

bases neuroanatómicas están establecidas en la corteza frontoparietal y se considera una de varias habilidades cognitivas cuando forma parte de pruebas multidimensionales de inteligencia, como las escalas de inteligencia de Wechsler, la evaluación de Kaufman para niños – II, el sistema de evaluación de inteligencia de Reynolds – 2, entre otras (Otero, 2017).

Diversos estudios sobre la coherencia de EEG, han permitido indagar puntualmente sobre el rol del razonamiento fluido. Por ejemplo, Prat et al. (2019), utilizaron electroencefalografía cuantitativa (qEEG) para caracterizar las diferencias individuales en los ritmos neuronales en reposo y relacionarlos con la capacidad de razonamiento fluido, el dominio de la lengua nativa y la posterior capacidad de aprendizaje de una segunda lengua (L2), con el objetivo de obtener una mejor comprensión de las bases neurocognitivas de la habilidad de adquirir una segunda lengua. Sus hallazgos revelaron que las características del funcionamiento intrínseco del cerebro, medidas mediante qEEG en estado de reposo, pueden usarse para predecir diferencias individuales en la adquisición posterior de L2 en la edad adulta. Además, las correlaciones entre la RAPM (matrices progresivas avanzadas de Raven) abreviada, utilizada para medir el razonamiento fluido, y el qEEG en estado de reposo se limitaron a una mayor coherencia theta dentro de la red posterior del hemisferio derecho, que no se superpuso con ninguno de los otros predictores de la obtención de una segunda lengua. Esto puede deberse a que acortar el RAPM redujo la capacidad para detectar diferencias individuales en las capacidades de razonamiento fluido.

Respecto a estudios que han abordado el razonamiento fluido, en otra investigación, examinaron los cambios longitudinales que subyacen a la inteligencia fluida en una muestra de jóvenes con un desarrollo típico. Se basaron en métodos robustos de imágenes de origen, e informaron cambios en la dinámica neuronal subyacente al razonamiento fluido para predecir cambios en el reclutamiento reducido de regiones compensatorias a lo largo del tiempo y un mayor reclutamiento de regiones relevantes para la tarea según lo indexado por cambios en las oscilaciones. Sus hallazgos clave mostraron cambios sólidos en la dinámica oscilatoria neuronal a lo largo de los años del estudio, lo que indicó un reclutamiento reducido de regiones compensatorias adicionales y un mayor reclutamiento de áreas comúnmente asociadas con el razonamiento fluido eficiente en adultos. También reportaron que los jóvenes con mayores capacidades de inteligencia fluida medidas mediante una evaluación

neuropsicológica tradicional tendían a exhibir oscilaciones beta más fuertes (es decir, mayores disminuciones en la potencia en relación con la línea de base) en la circunvolución temporal superior izquierda con el tiempo. (Taylor et al. 2022).

En resumen, el razonamiento fluido revela su importancia en la madurez neuronal, específicamente en la parte frontal, dado que la integridad funcional de la red frontal-parietal parece ser un fuerte predictor de la capacidad de razonamiento fluido. Del mismo modo, se ha encontrado que la corteza prefrontal rostro lateral (RL PFC) juega un papel importante dentro de esta habilidad debido a su papel en las tareas que implican analogías, puesto que estas son consideradas un medio esencial mediante el cual se desarrolla la cognición. También, diversos estudios han relacionado el razonamiento fluido con lo académico, puesto que se han observado relaciones positivas entre la conectividad frontoparietal y la capacidad matemática de los niños además de la lectura y escritura. (Otero, 2017; Wright, 2008).

No obstante, a la hora de estudiar el razonamiento fluido, aún son difusas las interpretaciones, porque al ser parte de las funciones ejecutivas, que están relacionadas con actividad compleja del lóbulo frontal, donde hay presencia de bandas Alfa, Beta, Gamma, Delta y Theta, aún existen limitaciones a la hora de asociarlas con esta habilidad, debido a que no es específico qué onda es la que tiene mayor relación con esta, además, algunas investigaciones han identificado que las bandas de frecuencia alfa, beta y theta, desempeñan un papel importante en las funciones ejecutivas, sin embargo, en otras sólo se ha encontrado mayor influencia de las bandas beta para el razonamiento fluido (Basharpoor et al. 2019; Taylor et al. 2022).

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio tiene como objetivo analizar la relación entre la coherencia interhemisférica y el razonamiento fluido (a través de la técnica de EEG) en niños entre los 8 y 12 años, los cuales pertenecen a un barrio influenciado por el tercer sector en Cali, Colombia. Esto se correlacionará con los resultados obtenidos en la Escala de Inteligencia de Wechsler para niños (WISC -V), de la cual se escogieron las 7 subpruebas (cubos, semejanzas, matrices, vocabulario, dígitos, claves y balanzas). En estas se evalúan componentes de Razonamiento fluido, los cuales están relacionados con las funciones ejecutivas. Se espera poder identificar si existe una relación entre las distintas ondas

cerebrales (Alfa, Beta, Delta, Gamma, Theta) con el razonamiento fluido, además de identificar cuál es la que mejor predice esta habilidad.

Método

Diseño

Es un estudio cuantitativo, de corte descriptivo, correlacional y transversal, puesto que sólo se tomaron datos en un momento específico. Además, se trató de hallar la relación existente entre las variables, las subpruebas de la escala WISC V y la conectividad cerebral en estado de reposo.

Participantes

La muestra está constituida por un grupo de 20 niños con desarrollo típico de la comuna 20, que estudian en distintas sedes de la Institución Educativa Multipropósito, las cuales son Jorge Eliecer Gonzales Rubio y República de Panamá, en los grados tercero y cuarto. Este grupo de chicos son pertenecientes al programa de formación extracurricular en música de la fundación SIDOC, y sus edades oscilan entre los 8 y 12 años. Los participantes fueron reclutados de forma voluntaria, quienes quisieran ser parte del estudio y tuviesen la disponibilidad junto al consentimiento informado de sus padres.

Instrumentos y procedimiento

Registro EEG

Los datos fueron recolectados utilizando la técnica de EEG. Para la recopilación de los datos, se utilizó un amplificador BioSemi ActiveTwo de 64 + 8 canales con electrodos activos tipo pin Ag-AgCl montados en una gorra elástica según el sistema extendido 10-20 (BioSemi, Amsterdam, Países Bajos), muestreados a 2040 Hz. La limpieza del EEG, sin procesar se referenciaron al potencial promedio de todos los electrodos y se re samplearon a 512 Hz. Se filtraron con filtros de respuesta de impulso finito de paso alto de 1 Hz, de paso bajo de 60 Hz, como lo establece el procedimiento estándar, (Johnson et al. 2017).

Se registraron 8 minutos de EEG con los ojos cerrados, en los cuales se les solicitó a los niños permanecer con los ojos cerrados y con la mayor tranquilidad posible. Se utilizó como referencia una grabación de los mastoides, para tener una referencia fija desde el hueso detrás del lóbulo de la oreja. Los datos del EEG se inspeccionaron visualmente en busca de artefactos debidos al parpadeo, movimientos oculares y otros movimientos motores. También, estos datos de EEG sin artefactos, de ocho minutos de la condición de ojos cerrados se analizaron mediante la transformada rápida de Fourier (FFT), con una ventana de Hanning de 1 segundo de ancho y una superposición de épocas del 50 %. En esta investigación se calcularon las medidas de coherencia para la condición de ojos cerrados, teniendo en cuenta las medidas de coherencia de los electrodos frontales, principalmente, debido a que, según la literatura, las funciones ejecutivas, se expresan en mayor medida en el lóbulo frontal (Basharpoor, 2019). Por lo cual, en este estudio se utilizó la coherencia EEG en las bandas, delta theta, alfa, beta y gamma, en las regiones frontales del hemisferio izquierdo (intra hemisférico: izquierdo), hemisferio derecho (intra hemisférico: derecho) y entre los dos hemisferios (interhemisférico), cada una por separado, teniendo en cuenta cada una de las subpruebas del WISC V utilizadas. Por último, cabe resaltar que en este estudio se utilizó la medida de coherencia de EEG referente a la conectividad funcional.

WISC V: Escala de inteligencia de Wechsler para niños

La *Escala de inteligencia de Wechsler para niños (WISC-V)*, es una prueba diseñada para evaluar las aptitudes intelectuales en niños con edades comprendidas entre los 6 años y 0 meses y los 16 años y 11 meses (6:0 - 16:11). Esta escala ofrece pruebas y puntuaciones compuestas que reflejan el funcionamiento intelectual en dominios específicos (memoria de trabajo, comprensión verbal, razonamiento fluido, capacidad visoespacial y velocidad de procesamiento), así como una puntuación compuesta que representa la aptitud intelectual general (CI total), (Wechsler, 2015). La escala está compuesta por 15 subpruebas, cubos, semejanzas, matrices, dígitos, claves, vocabulario, balanzas, puzzles visuales, span de dibujos, búsqueda de símbolos, información, letras y números, cancelación, comprensión, aritmética, de las cuales las últimas 5 son complementarias. Se decidió usar las primeras 7 pruebas aquí mencionadas, puesto que son fundamentales a la contribución de la obtención del CI total (consejo general de la psicología española, 2016 p.4).

Análisis de datos

Para el análisis los datos de EEG, se preprocesaron utilizando el lenguaje de programación Python, para luego generar estadísticas descriptivas en R, se realizó una correlación de Pearson y el análisis de regresión lineal para investigar los predictores, teniendo en cuenta cada onda, con las respectivas subpruebas, como lo han realizado diversos estudios (Ortiz, 2016; Sanabria, 2022).

Resultados

Participaron en total 20 niños, la edad media fue de 9 (DE = ± 1.14); fueron 11 niñas (52%) y 10 niños (48%). Del total de niños que participaron en la investigación, fue excluido uno del análisis de EEG debido a que el registro presentó señales de ruido que impidieron su procesamiento, al igual que de los resultados del WISC -V, para conservar simetría en los datos, por lo cual, al final quedaron 20 sujetos en la muestra. Ver tabla 1.

Tabla 1: Factores sociodemográficos

		Frecuencia	Porcentaje (%)	
Sexo	Femenino	11	55	
	Masculino	9	45	
Nivel de Escolaridad	Tercero	12	60	
	Cuarto	8	40	
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad	8	12	9,4	1,145

La tabla 1 muestra los datos sociodemográficos tenidos en cuenta para esta investigación, donde se revela que la mayoría de los participantes fueron mujeres (55%), además, la mayoría de los niños que participaron estaban en tercer grado (69%).

Tabla 2: Coeficientes de correlación entre habilidades ejecutivas y coherencia de regiones frontales del hemisferio izquierdo

	1	2	3	4	5	6
Coherencia Delta	1.00					
Coherencia Theta	-0.17	1.00				
Coherencia Alfa	-0.23	-0.11	1.00			
Coherencia Beta	0.16	*0.49	-0.01	1.00		
Coherencia Gamma	0.21	-0.01	-0.06	0.35	1.00	
Balanzas	-0.20	-0.01	0.20	0.21	**0.58	1.00

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

1 = Coherencia de delta; 2 = coherencia de theta; 3 = coherencia de alfa; 4 = coherencia de beta; 5 = coherencia de gamma; 6 = balanzas.

Tabla 3: Coeficientes de correlación entre habilidades ejecutivas y coherencia de regiones frontales del hemisferio derecho

	1	2	3	4	5	6
Coherencia Delta	1.00					
Coherencia Theta	-0.45	1.00				
Coherencia Alfa	-0.27	0.03	1.00			
Coherencia Beta	0.04	0.28	0.16	1.00		
Coherencia Gamma	-0.07	0.20	0.16	0.32	1.00	
Balanzas	-0.08	0.18	0.23	0.10	**0.65	1.00

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

1 = Coherencia de delta; 2 = coherencia de theta; 3 = coherencia de alfa; 4 = coherencia de beta; 5 = coherencia de gamma; 6 = balanzas.

Tabla 4: Coeficientes de correlación entre habilidades ejecutivas y coherencia de regiones frontales del hemisferio derecho

	1	2	3	4	5	6
Coherencia Delta	1.00					
Coherencia Theta	-0.37	1.00				
Coherencia Alfa	-0.26	-0.06	1.00			
Coherencia Beta	0.08	0.40	0.07	1.00		
Coherencia Gamma	0.07	0.03	0.04	0.36	1.00	
Balanzas	-0.17	0.11	0.22	0.18	**0.63	1.00

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

1 = Coherencia de delta; 2 = coherencia de theta; 3 = coherencia de alfa; 4 = coherencia de beta; 5 = coherencia de gamma; 6 = balanzas.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que la subprueba balanzas tiene una correlación positiva con la coherencia gamma ($r=0.58$, $p < .001$), además de una correlación positiva entre la coherencia beta y theta ($r=0.49$, $p < .05$), en las regiones del hemisferio izquierdo. Con respecto a los resultados de la tabla 3, también mostraron que la subprueba balanzas

tiene una correlación positiva con la coherencia gamma ($r=0.65$, $p < .001$), en las regiones del hemisferio derecho. De igual manera, los resultados de la tabla 4, reportaron una correlación positiva entre la subprueba balanzas y la coherencia gamma ($r=0.63$, $p < .001$), entre las regiones de los hemisferios derecho e izquierdo, lo que indica que fue constante.

Tabla 5: puntuaciones del WISC V

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Subprueba: Matrices	9	21	13,6	3,48
Subprueba: Balanzas	10	21	14,3	2,59
Razonamiento fluido (matrices + balanzas)	21	40	27,9	5,03

La tabla 5 muestra el desempeño de los niños tanto en la subprueba matrices que obtuvo media de 13,6 (DE = \pm 3,48), como en la subprueba balanzas con una media de 14,3 (DE = \pm 2,59), las cuales son indicadoras de razonamiento fluido el cual obtuvo una media de 27,9 (DE = \pm 5,03).

Tabla 6. Resumen de análisis de regresión lineal para razonamiento fluido

Predictores	B	SE B	β	P
Coherencia Delta (hemisferio izquierdo)	-66.2285	28.9571	-2.287	0.0480*
Coherencia Theta (hemisferio izquierdo)	-27.3347	26.4516	-1.033	0.3284
Coherencia Alfa (hemisferio izquierdo)	0.9009	16.7669	0.054	0.9583
Coherencia Beta (hemisferio izquierdo)	88.0449	63.8384	1.379	0.2011
Coherencia Gamma (hemisferio izquierdo)	76.3506	61.4456	1.243	0.2454
Coherencia Delta (hemisferio derecho)	103.9853	37.1640	2.798	0.0208*
Coherencia Theta (hemisferio derecho)	43.5666	30.6996	1.419	0.1896
Coherencia Alfa (hemisferio derecho)	16.2511	16.5293	0.983	0.3512
Coherencia Beta (hemisferio derecho)	-130.5313	55.6750	-2.345	0.0437*
Coherencia Gamma (hemisferio derecho)	-44.3124	97.2100	-0.456	0.6593
ΔR^2	0.41			

* $p < 0.05$

La tabla 6 muestra los resultados de las variables predictivas combinadas, los cuales explicaron el 41% de la varianza general de razonamiento fluido (ajustado $R^2 = .41$, $F = 2.323$, $P < .1$). Fue encontrado una coherencia Delta ($\beta = -2.287$, $p < .05$) en el hemisferio

izquierdo, además de coherencia Delta ($\beta = 2.798, p < .05$) y una coherencia Beta ($\beta = -2.345, p < .05$) en las regiones del hemisferio derecho, las cuales predijeron negativamente las funciones ejecutivas relacionadas con el razonamiento fluido, la cual, a su vez, abarca las subpruebas matrices y balanzas.

Discusión

El propósito de esta investigación fue analizar la relación entre la coherencia interhemisférica y el razonamiento fluido en niños entre los 8 y 12 años, los cuales pertenecen a un barrio influenciado por el tercer sector en Cali, Colombia. Al igual que se esperaba poder identificar si existía una relación entre las distintas ondas cerebrales (Alfa, Beta, Delta, Gamma, Theta) con el razonamiento fluido, además de identificar cuál era la que mejor predecía esta habilidad.

La regresión lineal, reveló que la coherencia delta para el hemisferio izquierdo predice negativamente el razonamiento fluido, por lo cual, sería congruente resaltar que, para esta habilidad, hay una menor coherencia en las ondas delta. Sin embargo, se presentó una asimetría con el hemisferio derecho, que predecía positivamente las ondas delta. Esto podría ser considerado como un compromiso cognitivo, debido a que estudios como los de Fries (2016), sobre la conectividad a través de la coherencia, han definido la coherencia como un reflejo de simetría entre grupos distantes que proporciona una conexión entre regiones distantes del cerebro, por lo cual, se esperaría que en ambos hemisferios se reflejen las ondas delta de la misma forma. Lo anterior se respalda con un cúmulo de estudios que señala que la exposición a situaciones adversas, generan alteraciones en el neurodesarrollo, (Maguire et al. 2019).

Por otro lado, los resultados de este estudio mostraron que el razonamiento fluido se correlaciona positivamente con la coherencia de las ondas gamma y la subprueba balanzas (que evalúa razonamiento fluido), tanto en las regiones del hemisferio izquierdo como en el derecho, lo que también se vio reflejado en la correlación interhemisférica. Esto es coherente con los resultados de la prueba WISC V (ver tabla 5), los cuales estuvieron en rangos aceptables según Caemmerer et al. (2018), es decir que los niños de esta población demuestran cierta habilidad para formar y reconocer conceptos, identificar y percibir

relaciones, además hacer inferencias y reorganizar o transformar información, lo que permite atribuir una coherencia en las bandas gamma a una madurez neuronal en esta habilidad cognitiva.

Lo anterior es congruente con los hallazgos de Gagol et al. (2018), quienes encontraron evidencia de que los participantes con alta inteligencia fluida (concepto tomado como sinónimo del razonamiento fluido en diversos estudios) muestran un acoplamiento de fase-amplitud (PAC) más fuerte relacionado con una mayor concentración de gamma (~ 36 Hz), al igual que hubo una disminución de potencia espectral en la fase de las oscilaciones delta (~ 3 Hz). Lo cual tiene mucha relevancia, debido a que las ondas gamma están asociadas a procesos que requieren una alta concentración, además de la agrupación perceptiva, también se le relaciona con procesos atencionales y la memoria de trabajo, lo que se atribuye al razonamiento fluido. (Maureira et al. 2020; Maureira et al. 2023).

La alta coherencia gamma presentada evidenciada por la correlación podría asociarse a una buena comunicación interhemisférica. Así mismo, existe evidencia literaria la cual ha demostrado que este factor favorece muchos comportamientos al igual que el desarrollo de las funciones cognitivas, además tanto la actividad gamma como la coherencia gamma entre diferentes áreas del cerebro se han visto como un posible correlato neuronal de la conciencia (Castro et al. 2014). Lo que podría fortalecer la evidencia de que la coherencia de estas bandas se asocia al razonamiento fluido.

Por otro lado, algunos estudios han sugerido que las respuestas gamma tempranas pueden ser beneficiosas en la resolución de problemas novedosos, otros en cambio, afirman que un mayor poder gamma es indicativo de ineficiencias en el procesamiento neuronal (Cohen et al. 2013; Sadaghiani et al., 2012; Taylor et al. 2022). En el caso de la población estudiada en esta investigación, al considerarse una población con altos índices de vulnerabilidad tanto física como psicológica, debido a las circunstancias de violencia a las cuales están expuestos los niños, debido al sector en el que viven, la alta coherencia en la banda gamma, podría deberse a ineficiencias en el proceso neuronal, puesto que, los niños expuestos a muchas adversidades pueden correr mayor riesgo de sufrir variaciones atípicas en el desarrollo cerebral, lo que a su vez, se asocia con una variedad de secuelas psicológicas, conductuales y de salud física (Bick & Nelson, 2016).

De igual manera, algunos estudios a niños de esta población han mostrado déficit en otros aspectos como la cognición social. Céspedes & Dibben (2021), realizaron un estudio longitudinal con dos mediciones, sobre los impactos prosociales de las actividades culturales realizadas por el tercer sector, con niños y adolescentes entre 9 y 14 años, en Cali, Colombia, pertenecientes a programas preexistentes de entrenamiento musical, de baile y de fútbol. Su objetivo consistió en comparar si había diferencias asociadas entre el tipo de entrenamiento recibido y los impactos prosociales adquiridos, a través de tareas sobre la empatía y la prosocialidad. Sus hallazgos mostraron que, los niños que participaron en el programa de formación en danza tenían puntuaciones ligeramente más altas en empatía cognitiva y afectiva. Sin embargo, un año después, ninguno de los grupos mostró alguna diferencia significativa en las tareas.

En el caso de la coherencia entre las ondas beta y theta, se relacionan con las funciones ejecutivas, puesto que estas se reflejan en el lóbulo frontal. Además, el hecho de que hubo mayor coherencia en el hemisferio izquierdo se debe a que las regiones frontales fortalecen las actividades de control ejecutivo y cognitivo, (Basharpoor, 2019), lo que explica su participación en los procesos que impliquen atención o aprendizaje, entre otros. Sin embargo, la coherencia beta en el hemisferio derecho predijo negativamente el razonamiento fluido, lo que implica que, en esta población, la habilidad de razonamiento fluido se asocia con una disminución en la banda beta, en el hemisferio derecho.

Finalmente, estos hallazgos son importantes porque permiten identificar ciertos aspectos que están relacionados con el razonamiento fluido, puesto que la evidencia literaria respalda el hecho de que una mayor coherencia gamma podría estar relacionada con la habilidad cognitiva antes mencionada. Esto permitiría desarrollar nuevas investigaciones sobre esta área, contribuyendo al entendimiento de la actividad cerebral. No obstante, estos resultados deberían ser tomados con cautela porque con este diseño metodológico no es posible establecer si el resultado está directamente ligado a la población.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente estudio contó con ciertas limitaciones. En primer lugar, no se midió la variable vulnerabilidad, la cual permitiera determinar si los resultados se explican por el contexto en el cual viven los niños o es algo específico de esa población; en segundo lugar, no hubo grupos comparativos, que permitieran identificar

diferencias en los resultados de ambos grupos. Por lo tanto, se sugiere para investigaciones futuras, diseñar estudios más robustos, experimentales y/o longitudinales, agregando la variable de vulnerabilidad, además de incluir grupos control.

Conclusiones.

Los resultados del presente estudio indicaron que la mayor coherencia de las ondas gamma en las regiones frontales de los hemisferios izquierdo y derecho puede estar asociada al razonamiento fluido, esto debido a que las ondas gamma se asocian con procesos que requieren un alta concentración, además de la agrupación perceptiva, también se le relaciona con procesos atencionales y la memoria de trabajo, es decir, que requieran una mayor actividad cerebral, (Maureira, 2023), lo que podría asociarse con la habilidad del razonamiento fluido. A pesar de que la evidencia respalda la presencia de las demás ondas cerebrales (alfa, beta, delta y theta) en las funciones ejecutivas, al estudiar el razonamiento fluido, hay una mayor correlación con las ondas gamma, lo cual se observó en los resultados de la correlación entre las ondas cerebrales y las subpruebas del WISC V, donde se evidenció mayor coherencia entre la subprueba balanzas y las ondas gamma. Por otro lado, los resultados también mostraron una cierta asimetría en las ondas delta, revelando un posible compromiso cognitivo en estos niños, lo cual se asociaría al contexto en el cual viven.

Referencias

- Anderson, V. (2001). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Pediatric Rehabilitation*, 4(3), 119–136. doi.org/10.1080/13638490110091347
- Basharpoor, S., Heidari, F., & Molavi, P. (2021). EEG coherence in theta, alpha, and beta bands in frontal regions and executive functions. *Applied Neuropsychology: Adult*, 28(3), 310–317. doi:10.1080/23279095.2019.1632860
- Bick, J., & Nelson, C. A. (2016). Early Adverse Experiences and the Developing Brain. *Neuropsychopharmacology*, 41(1), 177–196. doi : 10.1038/npp.2015.252
- Caemmerer, J. M., Maddocks, D. L. S., Keith, T. Z., & Reynolds, M. R. (2018). Effects of cognitive abilities on child and youth academic achievement: Evidence from the WISC-V and WIAT-III. *Intelligence*, 68, 6–20. doi:10.1016/j.intell.2018.02.005

- Castro, S., Cavelli, M., Vollono, P., Chase, M. H., Falconi, A., & Torterolo, P. (2014). Inter-hemispheric coherence of neocortical gamma oscillations during sleep and wakefulness. *Neuroscience Letters*, 578, 197–202. doi: 10.1016/j.neulet.2014.06.044
- Cohen, M. X., & Ridderinkhof, K. R. (2013). EEG Source Reconstruction Reveals Frontal-Parietal Dynamics of Spatial Conflict Processing. *PLoS ONE*, 8(2), e57293. doi: 10.1371/journal.pone.0057293
- Céspedes, J., & Dibben, N. (2021). Promoting prosociality in Colombia: Is music more effective than other cultural interventions? *Musicae Scientiae*, 25(3), 332–357. doi: 10.1177/10298649211013505
- Consejo general de la psicología española (2016). Evaluación de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños-V (WISC-V). Cop.es.
- Wechsler, D. (2015). Escala Wechsler de inteligencia para niños. Quinta edición (WISC-V). Pearson.
- Fries, P. (2005). A mechanism for cognitive dynamics: Neuronal communication through neuronal coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 474–480. doi:10.1016/j.tics.2005.08.011
- Gągol, A., Magnuski, M., Kroczeck, B., Kałamała, P., Ociepka, M., Santarnecchi, E., & Chuderski, A. (2018). Delta-gamma coupling as a potential neurophysiological mechanism of fluid intelligence. *Intelligence*, 66, 54–63. doi: 10.1016/j.intell.2017.11.003
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424. doi: 10.2307/1912791
- Horwitz, B. (2003). The elusive concept of brain connectivity. *NeuroImage*, 19(2), 466–470. doi : 10.1016/S1053-8119(03)00112-5
- Johnson, E. L., Dewar, C. D., Solbakk, A.-K., Endestad, T., Meling, T. R., & Knight, R. T. (2017). Bidirectional Frontoparietal Oscillatory Systems Support Working Memory. *Current Biology*, 27(12), 1829-1835.e4. doi: 10.1016/j.cub.2017.05.046
- Maguire, M. J., & Schneider, J. M. (2019). Socioeconomic status related differences in resting state EEG activity correspond to differences in vocabulary and working memory in grade school. *Brain and Cognition*, 137(103619), 103619. doi: 10.1016/j.bandc.2019.103619
- Maureira C, F., & Flores Ferro, E. (2020). Estabilidad de la actividad eléctrica no lineal durante condiciones basales con los ojos cerrados. *Revista cubana de investigaciones biomédicas*, 39(3).
- Maureira C, F., Díaz Muñoz, H., Hadweh Briceño, M., Bravo Rojas, P., & Flores Ferro, E. (2023). Análisis no-lineal de la onda gamma del electroencefalograma en una prueba de atención e inhibición. *Revista cubana de investigaciones biomédicas*, 42.

- Ortiz, F. J. (2019). Detección automática de emociones mediante el análisis del electroencefalograma. [Tesis de grado]. Universidad de Sevilla
- Otero, T. M. (2017). Brief review of fluid reasoning: Conceptualization, neurobasis, and applications. *Applied Neuropsychology: Child*, 6(3), 204–211. doi:10.1080/21622965.2017.1317484
- Prat, C. S., Yamasaki, B. L., & Peterson, E. R. (2018). Individual Differences in Resting-state Brain Rhythms Uniquely Predict Second Language Learning Rate and Willingness to Communicate in Adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1–17. doi:10.1162/jocn_a_01337
- Sadaghiani, S., Scheeringa, R., Lehongre, K., Morillon, B., Giraud, A.-L., D'Esposito, M., & Kleinschmidt, A. (2012). Alpha-Band Phase Synchrony Is Related to Activity in the Fronto-Parietal Adaptive Control Network. *Journal of Neuroscience*, 32(41), 14305–14310. doi:10.1523/jneurosci.1358-12.2012
- Sanabria, B. (2022). Estudio del TEA en niños mediante algoritmos de análisis y de clasificación de expresiones emocionales, EEG y N170 [Tesis doctoral]. Universidad Veracruzana: Centro de Investigaciones Biomédicas Región Xalapa
- Sauseng, P., Klimesch, W., Schabus, M., & Doppelmayr, M. (2005). Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*, 57(2), 97–103. doi:10.1016/j.ijpsycho.2005.03.018
- Swingler, M. M., Willoughby, M. T., & Calkins, S. D. (2011). EEG power and coherence during preschoolers' performance of an executive function battery. *Developmental Psychobiology*, 53(8), 771–784. doi:10.1002/dev.20588
- Thatcher, R. W., North, D., & Biver, C. (2005). EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology*, 116(9), 2129–2141. doi:10.1016/j.clinph.2005.04.026
- Taylor, B. K., Heinrichs-Graham, E., Eastman, J. A., Frenzel, M. R., Wang, Y.-P., Calhoun, V. D., Stephen, J. M., & Wilson, T. W. (2022). Longitudinal changes in the neural oscillatory dynamics underlying abstract reasoning in children and adolescents. *NeuroImage*, 253, 119094. doi: 10.1016/j.neuroimage.2022.119094
- Wright, S. B., Matlen B, J., Baym, C, L., Ferrer, E. Bunge, S, A. (2007). Neural correlates of fluid reasoning in children and adults. *Frontiers in Human Neuroscience*. doi:10.3389/neuro.09.008.2007

Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2020). The neurodevelopment of executive function skills: Implications for academic achievement gaps. *Psychology & Neuroscience*, 13(3), 273–298.
doi.org/10.1037/pne0000208