

CAPÍTULO 1

Procesamiento emocional en niños con Trastorno de Estrés Postraumático: Evidencia a partir de un estudio de neuroimagen funcional (fMRI)¹

Emotional processing in children with post-traumatic stress disorder: evidence from a study of functional neuroimaging (fMRI)

Mauricio Barrera-Valencia

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0003-2095-0153>

✉ mauricio.barrera@udea.edu.co

Liliana Calderón-Delgado

Universidad CES, Medellín, Colombia

© <https://orcid.org/0000-0001-7415-7957>

✉ lcalderon@ces.edu.co

Ivette Noriega

Case Western Reserve University, Cleveland, USA

© <https://orcid.org/0000-0002-9177-1649>

✉ ivette.noriega@case.edu

Kareem Al-Khalil

Duke University, Durham, USA

© <https://orcid.org/0000-0003-1387-6733>

✉ kalkhalil@mrn.org

Elizabeth Trejos-Castillo

Texas Tech University, Lubbock, USA

© <https://orcid.org/0000-0002-3301-8042>

✉ elizabeth.Trejos@ttu.edu

Michael W. O'Boyle

Texas Tech University, Lubbock, USA

© <https://orcid.org/0000-0001-8604-7421>

✉ Michael.oboyle@ttu.edu

¹ El capítulo es producto del proyecto de investigación titulado, *Alteraciones neurobiológicas en niños, niñas y adolescentes con trastorno por estrés postraumático: evidencia a partir de la evaluación neuropsicológica y el estudio con Neuroimagen (IRMf)*, financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (COLCIENCIAS), contrato 854 de 2015 código 122871149988, realizado entre enero de 2016 y junio de 2019.

Cita este capítulo / Cite this chapter

Barrera-Valencia, M.; Calderón-Delgado, L.; Noriega, I.; Al-Khalil, K.; Trejos-Castillo, E. & O'Boyle, M. (2022). Procesamiento emocional en niños con Trastorno de Estrés Postraumático: Evidencia a partir de un estudio de neuroimagen funcional (fMRI). En: Erazo, O. (eds. científico). *Alcances en neurociencias cognitivas. Fundamentación línea de investigación en neurociencias y neurodesarrollo*. Tomo 2. (pp. 27-53). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali. Doi: <https://doi.org/10.35985/9786287604421.1>

Resumen

Introducción: Las experiencias traumáticas en la infancia son un factor que afecta el desarrollo socioemocional y la maduración cerebral. El objetivo del estudio fue describir el procesamiento emocional en un grupo de niños con Estrés postraumático (TEPT) usando neuroimágenes funcionales.

Método: Se tomó una muestra de 21 niños con TEPT y 22 controles; se presentaron dos tareas durante la sesión de neuroimagen; la primera, fue una tarea tipo stroop, donde se debía indicar el color en que estaba impresa una palabra, omitiendo la valencia emocional. En la segunda, se presentaron caras con distinta valencia emocional y se debía identificar la valencia correspondiente.

Resultados: En la tarea tipo stroop, el análisis de varianza reveló un tamaño de efecto por grupo, siendo el grupo control más preciso que el grupo TEPT con mayor activación de áreas corticales en el grupo control. La tarea de caras arrojó menores tiempos de reacción para caras negativas en el grupo TEPT y activaciones cerebrales similares entre los dos grupos.

Conclusiones: Se propone que las diferencias a nivel cerebral se explicarían por un procesamiento implícito, mediado por un procesamiento tipo bottom-up. Así, los niños no logran expresar lo que sienten no porque “no encuentran las palabras para hacerlo” sino que realmente no tienen forma de acceder a las sensaciones y emociones derivadas de la experiencia traumática.

De confirmarse este resultado con otros estudios, se plantearía la necesidad de incluir en la evaluación del TEPT infantil la afectación en los componentes cognitivos y la posibilidad de desarrollar estrategias de intervención que promuevan el fortalecimiento de componentes asociados a función ejecutiva.

Palabras clave: Neuropsicología; trastorno de estrés postraumático; procesamiento emocional.

Abstract

Introduction: Early traumatic experiences are one of the most critical factors affecting socioemotional and cerebral development. This article aimed to describe the emotional processing in a sample of children with post-traumatic stress (PTSD) through fMRI.

Method: Participants (21 PTSD and 22 controls) were asked to perform two different tasks: one a kind of Stroop test which requires them to report the ink color of words without attend to the emotional valence. The second was a set of positive, neutral, and negative faces; participants were asked to report the emotional valence of each face.

Results: For the Stroop-type task, the Analysis of Variance revealed a significant main effect for the group, with the control group being significantly more accurate than the PTSD group and the control group getting higher activation in cortical areas. The same analysis revealed shorter reaction times in PTSD for negative faces and similar cerebral activation among both groups for the faces condition.

Conclusion: Based on the results, implicit processing may explain brain differences through bottom-up processing. Thus, children are unable to express what they feel, not because “they do not find the right words to express themselves” but because they cannot access the sensation and emotions associated with the traumatic experience.

If other studies confirm the current results, it raises the need to include the assessment of the cognitive domain in children with PTSD; And it raises the possibility of developing strategies to strengthen several compounds of executive functioning.

Key Word: Neuropsychology; Post-traumatic stress disorder; emotional processing.

Introducción

Las experiencias traumáticas en la infancia se constituyen en uno de los factores que mejor predicen la aparición de enfermedad mental en la adultez y sus efectos tienen importantes repercusiones para el neurodesarrollo; estudios previos sugieren que entre los 10 y los 14 años (período que normalmente coincide con la pubertad), dicha relación se hace más evidente (Viner, 2015; Malarbi, Abu-Rayya, Muscara, & Stargatt, 2017; Ohashi et al., 2019). Particularmente, las experiencias adversas en esta etapa de la vida se han asociado con mayores tasas de depresión, ansiedad y Trastorno de estrés postraumático (TEPT)² (Richards et al, 2011), situación que ha llevado a sugerir un efecto negativo sobre el desarrollo cerebral, afectando la forma en que la información emocional es procesada y priorizada (Marusak, Martin, Etkin, & Thomason, 2015; Barrera, Calderón & Bell, 2013; Calderón-Delgado y Barrera-Valencia, 2012).

En Colombia, según la encuesta de violencia contra niños, niñas y adolescentes (NNA)³, (Gobierno de Colombia, 2019), las causas de violencia contra esta población afectan a un 40,8% de las niñas y adolescentes y a un 42,1% de los niños y adolescentes. La misma encuesta señala que el malestar psicológico y el nivel de afectación percibido en las niñas y adolescentes fluctuó entre un 55,7% y un 78,5%, mientras que en el caso de su contraparte masculina dicha percepción giró en torno a un 39,9% y un 49,7%. Si bien esta discrepancia puede estar reflejando una mayor disposición de las niñas a reconocer los efectos de las experiencias traumáticas, es más probable que la diferencia se pueda explicar mejor en términos de una mayor vulnerabilidad en la población femenina, situación que las hace más susceptibles a desarrollar secuelas en su salud mental en el mediano y largo plazo.

Varios estudios describen las alteraciones estructurales y funcionales asociadas a eventos traumáticos en la edad adulta mediante el uso de técnicas de neuroimagen; sin embargo, los estudios con población

² TEPT: abreviatura para trastorno de estrés postraumático.

³ NNA: abreviatura para niños, niñas y adolescentes.

infantil empleando este tipo de técnicas son comparativamente escasos (Herringa, 2017). Por ejemplo, en un metaanálisis realizado con una ventana de observación de catorce años (2000-2014), solo se identificaron 8 artículos que emplearan técnicas de neuroimagen en población infantil (Milani, Hoffmann, Fossaluzza, Jackowski, & Mello, 2017). Aunque la bibliografía relacionada con el tema es más amplia, la mayoría de los estudios de neuroimagen son realizados con población adulta que ha vivido experiencias traumáticas en la infancia y no con NNA directamente (Noriega, et al. 2021; Calderón-Delgado et al, 2020; Barrera-Valencia, Calderón-Delgado y Acevedo, 2017a).

El procesamiento emocional inicia con la identificación de un estímulo al cual se le asigna una valencia afectiva (Pessoa, 2017); dicha asignación, depende de muchos factores, y contrario a lo que tradicionalmente se pensaba, en relación con la universalidad de las emociones, depende en buena parte de factores culturales que median la asignación de valencia y la activación de emociones específicas (Barrett, 2017). De acuerdo con Scheuerecker y col (2007), dicho procesamiento se puede dar de forma consciente o no consciente o, según el modelo de Gyurak, Gross y Etkin (2011), de forma explícita o implícita. Existe una amplia red de estructuras involucradas en este proceso que incluyen áreas prefrontales y límbicas (Pessoa, 2017). Así, las áreas prefrontales jugarían un papel importante en la regulación de la respuesta emocional, mediante un mecanismo top-down; mientras que, las estructuras límbicas, se encargarían de generar la cascada de respuestas emocionales acordes al estímulo (procesamiento bottom-up). Dado que esta red se configura durante el desarrollo, a partir de las experiencias tempranas que vive el niño, se plantea que los eventos traumáticos afectan su proceso normal de consolidación (Fitzgerald, DiGangi, & Phan, 2018). Sin embargo, no es claro si el evento traumático afecta mayormente el procesamiento explícito o implícito (Calderón-Delgado et al. 2020). Clarificar esto podría tener importantes repercusiones para la evaluación y la intervención de los niños con TEPT.

Con el fin de identificar los cambios que sufren a nivel cerebral los niños que han vivido situaciones traumáticas, se propone el

presente estudio cuyo objetivo fue comparar el funcionamiento cerebral (mediante el uso de técnicas de resonancia magnética funcional [fMRI]) de un grupo de NNA con TEPT y un grupo control mediante dos tareas con contenido emocional: una que requiere un procesamiento implícito y otra que involucra un procesamiento explícito de los estímulos emocionales.

Método

Participantes: Previa autorización de la secretaría de educación local, se visitaron durante dos años escuelas públicas de estrato 1 y 2. A partir de dichas visitas se seleccionó de forma intencional veintiún NNA con TEPT (2 niños y 19 niñas, con edades entre 9 y 14 años), cuyos puntajes en la escala infantil para síntomas de TEPT (Bustos, Rincón, & Aedo, 2009) fueran mayores a 24 ($M=46,3$; $DS=7,8$). Todos los participantes fueron evaluados por psicología y psiquiatría con el fin de confirmar el diagnóstico de TEPT (a partir de los criterios diagnósticos del DSM-5). Todos reportaron, en los últimos seis meses, haber vivido al menos un evento traumático de naturaleza física (como abuso sexual) o psicológico (como experimentar una situación en donde sintió su vida amenazada); además los síntomas estaban activos al momento de hacer las evaluaciones. Por su parte veintidós controles (11 niños y 11 niñas, con edades entre 9 y 14 años), fueron seleccionados de las mismas escuelas públicas y los mismos barrios de donde se tomaron los casos (dando como resultado características sociodemográficas similares) y se les aplicó la misma escala infantil para síntomas de TEPT (con puntajes menores a 8; $M=5,4$; $DS=3,5$). Todos los participantes fueron diestros, sin historia previa de trastornos psiquiátricos, traumatismo craneoencefálico o trastornos del aprendizaje.

Instrumentos y procedimiento: Se empleó la Mini Entrevista Neuropsiquiátrica infantil (MINI Kids; Sheehan et al., 1998) para identificar los casos y descartar síntomas que no estuvieran asociados a la experiencia traumática. Los síntomas de depresión (grupo TEPT $M=23,43$; $DS= 8,21$ /grupo control $M=6,61$; $DS=3,63$) se monitorearon mediante

el inventario infantil de depresión (CDI; Kovacs, 1992). Como se puede apreciar, los dos grupos difieren en sus puntajes en el CDI, siendo mayor el puntaje obtenido por el grupo de TEPT. Esto fue algo esperable, dada la naturaleza de las experiencias traumáticas vividas por el grupo con TEPT, y ha sido reportado en estudios previos (Vibhakar, Allen, Gee, & Meiser-Stedman, 2019; Calderón-Delgado y Barrera-Valencia, 2013; Barrera-Valencia, Calderón-Delgado, Trejos-Castillo & O'Boyle 2017b), en los cuales se señala la alta comorbilidad entre los síntomas de TEPT y depresión.

Tareas experimentales: Se diseñaron dos tareas experimentales en el software Psychopy (Peirce, 2007), las cuales se ejecutaron (modificando el orden de presentación de cada tarea de forma aleatoria) mientras se tomaron las imágenes en el fMRI. Las respuestas fueron registradas mediante un guante en fibra de vidrio y se entrenó a todos los participantes en su uso antes de ingresar al equipo.

Tarea de procesamiento emocional de palabras. Esta tarea fue una adaptación de la tarea propuesta por Thomaes et al., (2013) y consistió en una serie de 72 palabras con contenido emocional (24 positivas, 24 neutras y 24 negativas), las cuales fueron presentadas aleatoriamente mediante una proyección en secuencias de 2,5 segundos, con intervalos variables entre 1 y 3 segundos. La tarea de los participantes consistió en identificar el color impreso de cada palabra (haciendo caso omiso del contenido de la palabra) y presionar el botón correspondiente en el guante, colocado en su mano derecha según correspondiera (ver figura 1).

Figura 1. Ejemplo de las palabras empleadas según su valencia positiva, neutra o negativa. Los participantes debían marcar según el color, no el contenido.

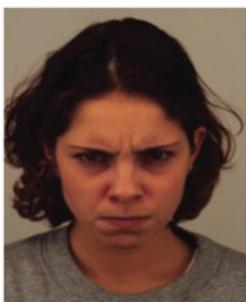


Ubicación Aproximada

Fuente: propia.

Tarea de procesamiento emocional de caras. Esta tarea se diseñó con base en la propuesta de Masten et al. (2008), y consistió en un conjunto de 72 caras: 24 negativas, 24 neutras y 24 positivas. Las caras empleadas para esta tarea fueron seleccionadas a partir de la base de datos de Karolinska (Lundqvist, Flykt, & Öhman, 1998). Cada ensayo fue presentado de forma aleatoria por 2,5 segundos. La tarea de los participantes consistió en identificar si la cara era positiva, neutra o negativa y marcar su respuesta, según correspondiera (ver Figura 2).

Figura 2. Ejemplo de las caras empleadas en la tarea de procesamiento emocional.



Cara negativa



Cara neutra



Cara positiva

Fuente: propia.

Adquisición de imágenes. Todas las imágenes fueron adquiridas mediante un equipo de fMRI de tres teslas marca Siemens (Skyra) con 20 canales. Se empleó un ponderado sagital en T1 para la adquisición de las imágenes anatómicas mediante los siguientes parámetros: Total de volúmenes=176; tiempo de repetición=2,3 seg; Tamaño del voxel=0,98 x 0,98 x 0,98 mm; echo time=3 seg; campo de visión=250mm x 250mm; ángulo de giro=9°. Los datos de fMRI (47 tomas axiales) fueron adquiridas usando un gradiente de imagen echo-planar (EPI) con los siguientes parámetros: total de volúmenes=184; tiempo de repetición= 2,5 seg; tamaño del voxel=2,5 x 2,5 x 3 mm; Echo time=20seg; campo de visión= 200mm x 200mm; ángulo de giro=70°.

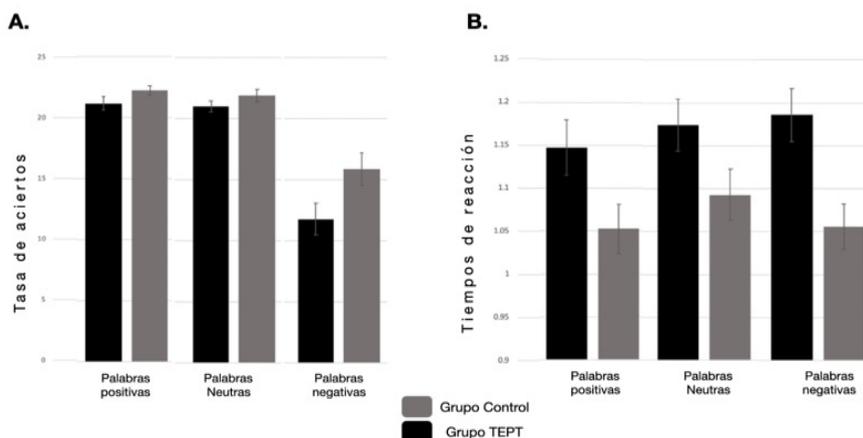
Procesamiento y análisis de los datos de las imágenes. Se empleó el software FSL (threshold for significance) para el pre-procesamiento y análisis de todas las imágenes. Después de la extracción de las imágenes cerebrales, se empleó una corrección en la sincronización con el fin de alinear temporalmente las tomas de fMRI y una corrección de movimiento de los datos mediante el uso de MCFLIRT, así como el suavizado espacial mediante FW-HM de 5mm, el cual fue usado para reducir los efectos de ruido. Para cada participante, las imágenes funcionales fueron inicialmente alineadas usando su propia imagen estructural previamente registrada, seguida de una transformación de su espacio original en un espacio estandarizado de MNI-152. Se llevó a cabo un análisis lineal general de primer nivel (GLM), mediante una convolución gamma doble para corregir la demora entre la señal EPI y la función de la respuesta hemodinámica (HRF). Asimismo, se realizó un GLM con efecto fijo (ver Beckmann, Jenkinson, & Smith, 2003; Woolrich, 2008; Woolrich, Behrens, Beckmann, Jenkinson, & Smith, 2004) sobre la respuesta de la sangre oxigenada (BOLD) frente a los estímulos como una función de los miembros del grupo (TEPT vs. Controles). El conjunto de mapas cerebrales que contienen los agrupamientos de voxels significativamente activos según lo determinado por los t-test del family-wise, fueron analizados mediante un conjunto de activaciones no paramétricas a $z > 2,3$ con un valor límite de $p < 0,05$. La teoría de campos aleatorio de Gauss, se empleó para corregir múltiples comparaciones (Worsley, Taylor, Tomaiuolo, & Lerch, 2004).

El presente estudio se llevó a cabo de acuerdo con la declaración de Helsinki, y fue aprobado por el comité de ética de la Universidad CES, mediante acta No 82 de julio 7 de 2015. Con base en el protocolo definido por dicho comité, todos los 43 participantes firmaron un asentimiento y sus padres o representante legal firmaron el respectivo consentimiento informado.

Resultados

Tarea de procesamiento emocional de palabras: Se analizó por separado la tasa de aciertos y los tiempos de reacción de cada grupo (ver figura 3). Para el análisis de la tasa de aciertos, se llevó a cabo un Análisis de Varianza (ANOVA) de diseño mixto 2 grupos (TEPT vs Controles) X 3 tipos de palabra (positiva, neutra y negativa), tomando el número total de aciertos en la determinación del color en que está impresa la palabra. Este análisis reveló un tamaño de efecto por grupo [$F(1, 42) = 5,8$ $p < 0,02$] siendo el grupo control más preciso que el grupo de TEPT. También fue significativo el tamaño de efecto para tipo de palabra [$F(2, 84) = 69,9$ $p < 0,0001$]. Las comparaciones post-hoc usando la prueba de diferencias mínimas (TDM) reveló que las palabras negativas produjeron de forma significativa menos respuestas correctas ($p < 0,05$), al compararlas, tanto con las palabras positivas como las neutras; a su vez estos dos últimos tipos de palabras no difirieron entre sí. En cuanto a la interacción entre grupo y tipo de palabra, se encontró que era marginalmente confiable [$F(2, 84) = 2,78$, $p < 0,067$]. Las comparaciones de esta interacción usando la prueba TDM, reveló que el grupo con TEPT, fue menos preciso en determinar el color de la palabra impresa de las palabras negativas ($p < 0,05$), mientras que los dos grupos no presentaron diferencias en la precisión para determinar el color de las palabras positivas o neutras (figura 3).

Figura 3. A. Comparación tasa de aciertos entre los grupos según el tipo de palabra (positiva, neutra o negativa). B. Comparación tiempos de reacción según el tipo de palabra.



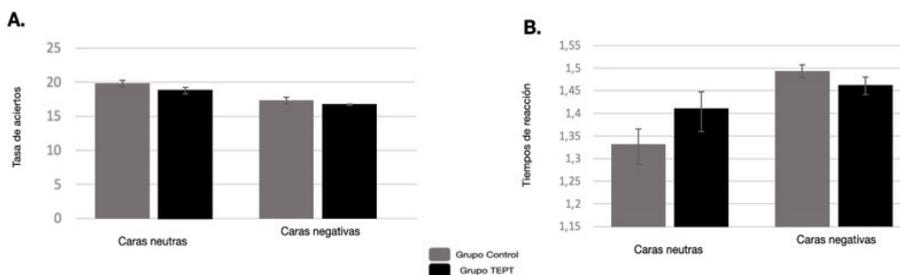
Fuente: propia.

Para los análisis de tiempos de reacción se llevó a cabo un análisis similar de ANOVA mixto entre 2 grupos X 3 tipos de palabra, el cual reveló un tamaño de efecto significativo para grupo [$F(1,42) = 6,63, p < 0,05$] en donde el grupo de TEPT fue más lento que el grupo control. También se encontró un tamaño de efecto significativo para tipo de palabra [$F(2, 84) = 4,02, p < 0,05$], de forma tal que todos los participantes exhibieron de forma significativa respuestas más rápidas para palabras positivas al compararlas con las palabras neutras ($p < 0,05$) y de forma marginal, respuestas más rápidas comparadas con las palabras negativas ($p < 0,1$), sin que los tiempos de reacción entre palabras negativas y neutras difirieron entre sí. En cuanto a la interacción grupo x tipo de palabra, no hubo resultados significativos ($p < 0,12$). Sin embargo, basados en los resultados de una interacción marginalmente confiable para precisión de respuesta, se elaboraron comparaciones de la interacción entre los tiempos de reacción, usando la prueba TDM, el cual reveló que el grupo con TEPT respondió más lentamente tanto para palabras positivas como negativas comparado con el grupo control ($p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente). En cuanto a los tiempos de reacción

para identificar el color de palabras neutras no se observaron diferencias significativas entre los dos grupos (figura 3).

Tarea de procesamiento emocional de caras: Al igual que con la tarea anterior, se hicieron análisis separados para tasa de aciertos y tiempos de reacción. Sin embargo, al revisar las medias y desviación estándar de los dos grupos en las tres condiciones, tanto para tasa de aciertos como tiempos de reacción, se encontró que en la condición de caras positivas los valores fueron exactamente los mismo para ambos grupos (Tasa de aciertos: $M= 23,4$ DS 0.23 ; tiempos de reacción: $M= 1.36$ DS $0,12$), motivo por el cual la condición de caras positivas no se incluyó en los análisis estadísticos. Para el caso de tasa de aciertos, se llevó a cabo un análisis ANOVA 2X2 (grupo TEPT y controles X caras neutras y negativas). Dicho análisis reveló un tamaño de efecto significativo para tipo de cara, $F(1, 41) = 13.1$, $p=0.001$, pero no entre grupos, $F(1, 41) = 0.17$, $p=0.68$ (ver gráfico 4, A). Adicionalmente, no se observaron interacciones entre las condiciones, $F(1, 82) = 0,045$, $p=0,83$. Asimismo, se llevó a cabo un análisis 2X2 (2 grupos X dos condiciones, neutra, negativa), para comparar los tiempos de reacción. Dicho análisis reveló un tamaño de efecto para el tipo de cara, $F(1, 41) = 22,9$, $p < 0,001$, pero no para grupos, $F(1, 41) = 0,31$, $p=0,58$. No obstante, la interacción entre las condiciones fue significativa $F(1, 41) = 7,58$, $p=0,008$. (ver figura 4).

Figura 4. A. Tasa de aciertos entre controles y TEPT según condición (caras neutras y negativas). B. Tiempos de reacción entre grupos según condición. No se grafica la condición de caras positivas, por cuanto el desempeño fue igual en los dos grupos.

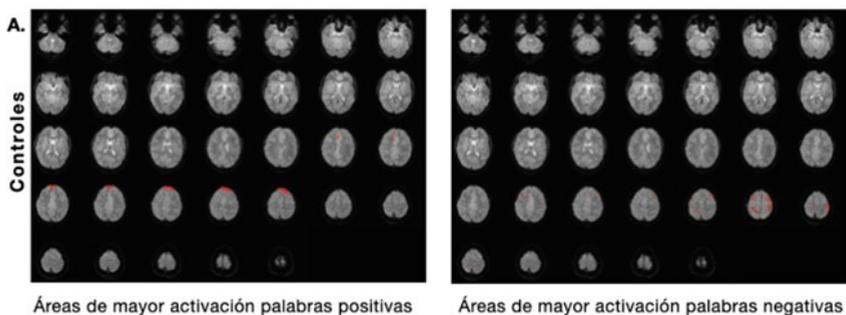


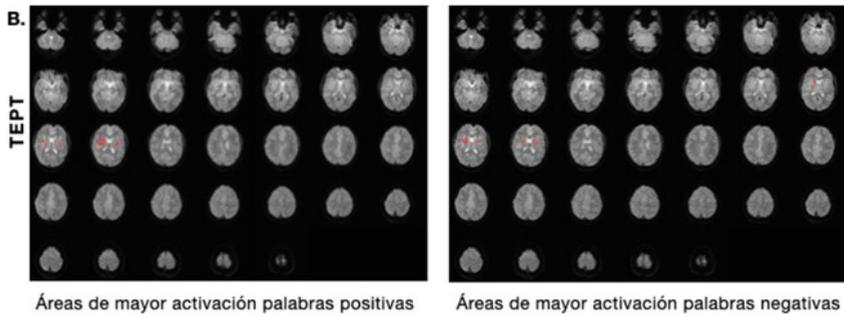
Fuente: propia.

Áreas de activación cerebral. En las figuras 5 y 6 se presentan las áreas de activación que mayor contraste generaron. Dichos contrastes se dieron al comparar la condición palabras positivas vs. palabras negativas y en la tarea de caras los mayores contrastes se obtuvieron entre caras neutras y caras negativas.

En la figura 5, se presentan los niveles de activación significativos de las áreas cerebrales del grupo de controles, contrastado con el grupo TEPT (parte superior), y las áreas que fueron más activas en el grupo de TEPT, en comparación con el grupo de controles (parte inferior del gráfico). En el grupo de controles, las áreas que mostraron mayor activación durante el procesamiento de palabras positivas fueron los polos frontales y giro frontal superior de forma bilateral. Para el caso de las palabras negativas se observó mayor activación de los giros frontales superior y medio de forma bilateral. Otras áreas activas fueron el giro angular de ambos hemisferios, los giros precentral y postcentral derechos, la corteza paracingular derecha, el giro supramarginal izquierdo, el giro superior parietal izquierdo, el giro superior temporal izquierdo y las cortezas superiores e inferiores de los lóbulos occipitales. Para el grupo con TEPT (parte inferior figura 5), las áreas de mayor activación fueron el tálamo (aunque solo el derecho y solo para palabras negativas), el opérculo central (solo para palabras positivas), el pallidum (el izquierdo y solo para palabras negativas) y la ínsula y el putamen de forma bilateral tanto para palabras positivas como negativas.

Figura 5. Áreas de activación durante el procesamiento de palabras positivas y negativas. El panel **A.** corresponde al grupo de controles. El panel **B.** corresponde al grupo TEPT.

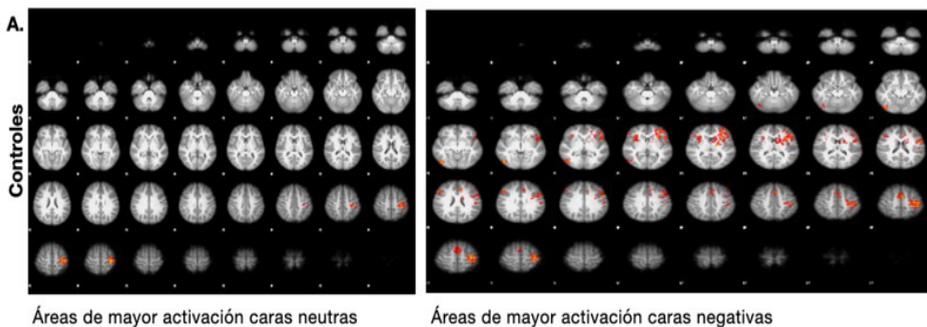


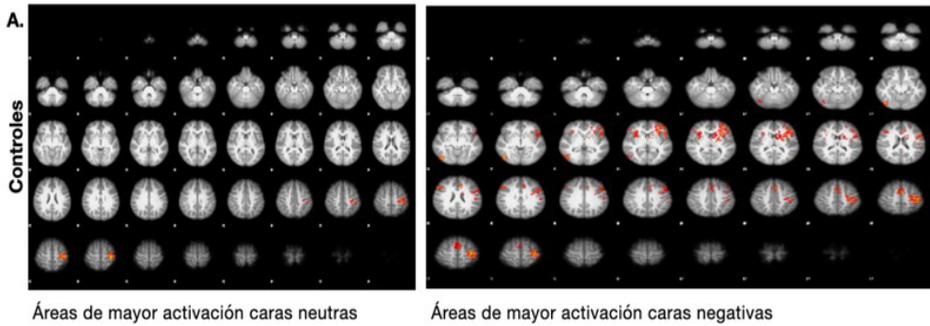


Fuente: propia.

Para el caso de la tarea de caras se llevó a cabo un análisis mediante FSL (threshold for significance) entre caras neutras y negativas. En el grupo de controles las mayores activaciones para caras neutras se circunscribieron al giro postcentral izquierdo, mientras que las activaciones durante el procesamiento de caras negativas abarcaron las siguientes áreas: opérculo frontal izquierdo, giro precentral izquierdo, giro del cíngulo anterior izquierdo, giro frontal medio derecho y corteza occipital lateral derecha. En el grupo de TEPT, las áreas de mayor activación coincidieron tanto en la tarea de rostros neutros como negativos e incluyeron las siguientes áreas: giro poscentral izquierdo, giro fusciforme derecho, par triangularis izquierdo, opérculo frontal derecho (Ver figura 6).

Figura 6. Áreas de activación durante el procesamiento de caras neutras y negativas. El panel **A.** corresponde al grupo de controles. El panel **B.** corresponde al grupo TEPT.





Fuente: propia.

En las tablas 1 y 2, se presentan las regiones cerebrales, junto con sus respectivas coordenadas, de mayor activación para cada tarea y según cada condición.

Tabla 1. Regiones cerebrales en las que se muestra las mayores activaciones para cada grupo, para palabras positivas y negativas.

Grupo	Valencia	Tamaño Clúster (voxels)	Z-Max	Coordenadas Max MNI Z, Y, Z en mm.	Región máxima intensidad
CON TROLES	Palabras Positivas	1107***	3.69	(-2, 52, 38)	Frontal Superior Izquierdo
			3.67	w(6, 52, 46)	Polo Frontal Derecho
			3.45	(-6, 54, 42)	Polo Frontal izquierdo
			3.42	(24, 50, 42)	Polo Frontal Derecho
	Palabras Negativas	529**	4.62	(2, 34, 42)	Paracingulado Derecho
			4.56	(42, -20, 66)	Precentral/Postcentral Derecho
			4.47	(4, 38, 56)	Frontal Superior Derecho
			4.42	(44, 8, 58)	Frontal Medial Derecho
			4.41	(52, -44, 60)	Giro Angular Derecho
			3.71	(-44, -50, 60)	Lóbulo Parietal Superior Izquierdo
			3.42	(-50, -50, 58)	Supramarginal Izquierdo
			3.40	(-42, -64, 58)	Lóbulo Occipital Superior Izquierdo
	Palabras Negativas	427*	3.79	(-54, -48, 14)	Supramarginal Izquierdo
			3.74	(-44, -74, 8)	Lóbulo Occipital Inferior Izquierdo
			3.67	(-56, -64, 14)	Lóbulo Occipital Superior Izquierdo
			3.53	(-60, -58, 14)	Giro Angular Izquierdo
			3.40	(-58, -34, 4)	Giro Temporal Superior Izquierdo

Grupo	Valencia	Tamaño Clúster (voxels)	Z-Max	Coordinadas Max MNI Z, Y, Z en mm.	Región máxima intensidad
TEPT	Palabras Positivas	545*	3.97	(26, -10, 6)	Putamen derecho
			3.14	(40, 4, 8)	Opérculo Central
			3.09	(20, 10, 6)	Putamen Derecho
			3.06	(36, 12, 0)	Insula Derecha
		518*	3.75	(-36, -12, 4)	Insula Izquierda
			3.73	(-30, -12, 4)	Putamen Izquierdo
			3.62	(-36, 2, 8)	Insula Izquierda
			3.18	(-26, 0, 0)	Putamen Izquierdo
	Palabras Negativas	490*	3.70	(20, 0, 0)	Pallidum Derecho
			3.35	(24, -28, 4)	Tálamo Derecho
			3.29	(26, -12, 4)	Putamen Derecho
			3.17	(28, -4, 2)	Putamen Derecho
			3.68	(-26, 0, 0)	Putamen Izquierdo
			3.64	(-36, 0, 8)	Insula Izquierda
455*	3.51	(-28, -8, 4)	Putamen izquierdo		
	3.40	(-38, -12, 2)	Insula Izquierda		
	2.94	(-26, -20, 2)	Pallidum Izquierdo		

Fuente: propia.

Nota. El tamaño del clúster se presenta como un número comprendido en los voxels. Con diferencia estadística: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. También se incluye la intensidad (en puntuaciones z), la localización (coordenadas MNI) y la región del voxel con el pico de activación (de intensidad máxima).

Tabla 2. Regiones cerebrales en las que se muestra las mayores activaciones para cada grupo, para caras con valencia neutra y negativa.

Grupo	Valencia	Tamaño del Clúster (voxels)	Z-Max	Coordenadas Max MNI (X, Y, Z en mm)	Regiones máxima intensidad
CONTROLES	Neutral	892 ***	5.37	(-38, -34, 60)	Giro post central izquierdo
		2833 ***	5.26	(-32, 16, 10)	Opérculo frontal izquierdo
		1429 ***	5.69	(-40, -20, 54)	Giro precentral izquierdo
	Negativa	961 ***	4.79	(-8, 28, 22)	Giro cingular anterior izquierdo
		599 **	4.61	(50, 26, 26)	Giro frontal medio
		513 *	5.56	(44, -78, -6)	División inferior corteza occipital lateral derecha
TEPT	Neutral	3741 ***	7.45	(-36, -28, 58)	Giro postcentral izquierdo
		1061 ***	6.76	(42, -46, -22)	Giro fusiforme derecho
		1021 ***	4.67	(-52, 22, -4)	Par triangularis frontal izquierdo
		797 ***	4.7	(42, 18, 0)	Opérculo frontal derecho
	Negativa	2441 ***	7.27	(-36, -28, 56)	Giro postcentral izquierdo
		1964 ***	7.3	(42, -46, -22)	Giro fusiforme derecho
		1327 ***	5.92	(-4, 4, 52)	Área motora suplementaria
		1113 ***	5.95	(-52, 22, -4)	Par triangularis frontal izquierdo
		650 **	4.72	(40, 22, 0)	Opérculo frontal derecho
		465 *	6.59	(-40, -48, -20)	Giro fusiforme izquierdo

Fuente: propia.

Nota. El tamaño del clúster se presenta como un número comprendido en los voxels. Con diferencia estadística: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. También. Se incluye la intensidad (en puntuaciones z), la

localización (coordenadas MNI) y la región del voxel con el pico de activación (de intensidad máxima).

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo comparar el funcionamiento cerebral de un grupo de niños con TEPT y un grupo control, mediante dos tareas con contenido emocional: una que requiere un procesamiento implícito y otra que involucró un procesamiento explícito de los estímulos emocionales.

En conjunto, los resultados conductuales sugieren un bajo desempeño del grupo con TEPT en las dos tareas experimentales, con menores tasas de acierto y mayores tiempos para responder, en comparación con los resultados obtenidos por el grupo control. La única excepción a este patrón se dio en los tiempos de reacción para caras negativas, en donde el grupo con TEPT empleó menos tiempo, sin afectar de forma importante la tasa de aciertos (la cual fue similar a la obtenida por el grupo control).

En cuanto a los resultados de neuroimagen, la tarea de procesamiento de caras generó un conjunto de activaciones muy similar en ambos grupos, con un incremento de la señal en áreas corticales frontales. Por su parte la tarea de palabras, presentó un patrón diferente, caracterizado por una marcada activación cortical en el grupo control (principalmente de áreas frontales y similar al observado en el procesamiento de caras), mientras que el grupo con TEPT presentó un patrón de mayor activación a nivel subcortical, con mayor intensidad de señal en áreas como el putamen, el pallidum y el tálamo del hemisferio derecho y la ínsula izquierda; es de anotar que dicho patrón fue más notorio para la condición de palabras negativas.

Existen otras áreas que presentaron una intensidad de señal importante; tales es el caso del giro angular, las áreas occipitales y el giro fusiforme. Sin embargo, desde una perspectiva neuropsicológica, dichas activaciones corresponderían más a la naturaleza de la tarea

y no tanto a las características de los dos grupos evaluados. Así, por ejemplo, en la tarea de palabras se detectó una mayor activación del giro angular, cuya activación se ha asociado principalmente al procesamiento del significado de las palabras (Ardila, 2018); las áreas que conforman el lóbulo occipital estarían encargadas del procesamiento visual y el giro fusiforme (activo únicamente en la tarea de caras), se asociaría a la discriminación de rostros (Ardila y Roselli, 2019; Lezak, M. et al., 2012).

Aunque existe una amplia literatura que relaciona la experiencia traumática con mayores activaciones de estructuras como la amígdala, el presente estudio no encontró tales activaciones. Este es un hallazgo que se reporta con mucha frecuencia cuando se emplean muestra de adultos, pero que no resulta ser tan consistente cuando se toman muestras de NNA directamente. Así, por ejemplo, Hart, et al. (2018), quienes trabajaron con una muestra de características similares a la del presente estudio, no encontraron diferencias en la activación de la amígdala. Al respecto, estos autores sugieren que una posible explicación puede estar dada por el hecho que la mayoría de los estudios que reportan cambios funcionales en la amígdala, emplean esta estructura como la principal o la única región de interés (ROI). Para el caso del presente estudio, dado que existe pocas referencias previas, se tomaron todas aquellas áreas que generaron diferencias entre los grupos, para de esta forma tratar de establecer el impacto de la experiencia traumática sobre la activación cerebral en su conjunto.

Tal vez los hallazgos más significativos del presente estudio tienen que ver con las mayores activaciones del grupo con TEPT de áreas subcorticales en la condición de estímulos de valencia negativa con procesamiento implícito y los menores tiempos de reacción en el procesamiento explícito de estímulos con valencia negativa, comparados con el grupo control. En opinión de los autores del presente estudio, estas diferencias estarían revelando un procesamiento más automático de la tarea implícita, el cual, al ser de forma no consciente, genera una activación de estructuras subcorticales (procesamiento bottom-up), que no logra ser regulada por las estructuras corticales (principalmente del lóbulo frontal).

Al respecto, Tamietto, & De Gelder (2010), han sugerido que existe un conjunto de estructuras subcorticales, que estarían mediando los aspectos preconscientes de la experiencia emocional y más recientemente, McCrory y col (2013), Jovanovic (2017) y Claderón-Delgado, et al. (2021), han reportado una mayor activación de estructuras subcorticales durante una tarea de procesamiento preconsciente de estímulos con contenido emocional en niños con TEPT.

En el caso que nuevos estudios pudieran confirmar tales hallazgos, habría importantes implicaciones para los procesos de evaluación e intervención del TEPT en población infantil. En primer lugar, pareciera haber un conjunto de activaciones subcorticales asociadas al trauma (a manera de mecanismos bottom-up) de difícil acceso al procesamiento consciente, que generarían un impacto importante sobre el procesamiento de la experiencia traumática. De ser esto así, se podría entender la dificultad de los niños para verbalizar sus estados emocionales, no como una dificultad en el procesamiento verbal, sino como un mecanismo automático de procesamiento de la experiencia traumática. Al respecto, hay que recordar que este es un cerebro en desarrollo, en donde las estructuras frontales aún no están completamente desarrolladas y por tanto no tienen la habilidad de generar un control top-down sobre el procesamiento subcortical. Así, los niños no logran expresar lo que sienten no porque “no encuentran las palabras para hacerlo” sino que realmente no tienen forma de acceder a las sensaciones y emociones derivadas de la experiencia traumática.

En este sentido, parece claro que los niños pudieran beneficiarse de enfoques terapéuticos que incluyan estrategias para regular el nivel de activación (arousal). En otras palabras, más que buscar estrategias de tipo top-down que ayuden a los niños a regular sus estados emocionales, se pudiera pensar en trabajar estrategias tipo bottom-up que modifiquen el estado de malestar (principalmente de tipo fisiológico), que generó la experiencia traumática.

El presente estudio cuenta con limitaciones para la generalización de los resultados: en primer lugar, la muestra de casos está conformada mayoritariamente con niñas, mientras que la muestra de controles estuvo balanceada en esta variable. Si bien es una limitación importante, los autores de este estudio, consideran que esta situación está reflejando una realidad epidemiológica, por cuanto la población femenina es mucho más susceptible de vivir experiencias traumáticas en sus vidas.

Este es un estudio que empleó técnicas de neuroimagen funcional; sin embargo, para poder tener un panorama más completo de lo que está ocurriendo a nivel cerebral, se hace necesario integrar otras técnicas de neuroimagen como la tractografía o el resting state.

Referencias bibliográficas

- Ardila, A., Roselli, M. (2019). *Neuropsicología Clínica (2ª ed.)*. Manual Moderno: México.
- Ardila, A. (2017). Historical development of human cognition: A cultural-historical neuropsychological perspective (Vol. 3). Springer.
- Barrera-Valencia, M., Calderón-Delgado, L., Acevedo, D.C. (2017a). Alteraciones en el funcionamiento cognitivo en una muestra de niños, niñas y adolescentes con trastorno de estrés postraumático derivado del conflicto armado en Colombia. *Revista CES* 10(2) 50-65. <http://dx.doi.org/10.21615/cesp.10.2.4>
- Barrera-Valencia, M., Calderón-Delgado, L., Trejos-Castillo, E., & O'Boyle, M. (2017b). Cognitive profiles of Post-traumatic Stress Disorder and depression in children and adolescents. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 17(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2017.05.001>
- Barrera, M., Calderón, L., & Bell, V. (2013). The cognitive impact of sexual abuse and PTSD in children: a neuropsychological

study. *Journal of child sexual abuse*, 22(6), 625-638. Doi: 10.1080/10538712.2013.811141

Barrett, L.F. (2017). *How emotions are made: The secret life of the brain*. Macmillan, USA

Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M. (2003). General multilevel linear modeling for group analysis in fMRI. *NeuroImage*, 20(2), 1052-1063. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00435-X](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00435-X)

Bustos, P., Rincón, P., & Aedo, J. (2009). Validación Preliminar de la Escala Infantil de Síntomas del Trastorno de Estrés Postraumático (Child PTSD Symptom Scale, CPSS) en Niños/as y Adolescentes Víctimas de Violencia Sexual. *Psykhé (Santiago)*, 18(2), 113-126. <https://doi.org/10.4067/S0718-22282009000200008>

Calderón-Delgado, L., Barrera-Valencia, M., Noriega, I., Al-Khalil, K., Trejos-Castillo, E., & O'Boyle, M. (2021). Contribution from functional neuroimaging studies to the comprehension of traumatic child experiences: preliminary findings. *Revista CES Psicología* 14(3) 19-33. <https://dx.doi.org/10.21615/cesp.5437>

Calderón-Delgado, L., Barrera-Valencia, M., Noriega, I., Al-Khalil, K., Mosi, J., Chavez, B., Galvan, M. & O'Boyle, M. (2020). Implicit processing of emotional words by children with Post-Traumatic Stress Disorder: An fMRI investigation. *International Journal of Clinical and Health Psychology* 20(1) 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2019.11.002>

Calderón-Delgado, L., Barrera-Valencia, M., Al-Khalil, K., Noriega, I., Trejos-Castillo, E., Duque, J., Cardona, X. & O'Boyle, M. (2018). Neurocognitive Characteristics of Children with Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD): Evidence from Neuropsychological Testing and fMRI Data. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 24(Supplement S2), 33. doi:10.1017/S1355617718001182

- Calderón-Delgado, L y Barrera-Valencia, M., (2013). Comparación del perfil neuropsicológico en una muestra de niños, niñas y adolescentes con y sin sintomatología depresiva. *Revista Colombiana de Psicología* 22(2) 361-374.
- Calderón-Delgado, L., & Barrera-Valencia, M. (2012). Exploración neuropsicológica de la atención y la memoria en niños y adolescentes víctimas de la violencia en Colombia: estudio preliminar. *CES Psicología*, 5(1), 39-48. En: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/psicologia/article/view/2174/1458>
- Fitzgerald, J. M., DiGangi, J. A., & Phan, K. L. (2018). Functional neuroanatomy of emotion and its regulation in PTSD. *Harvard Review of Psychiatry*, 26(3), 116. Doi:10.1097/HRP.0000000000000185
- Gobierno de Colombia, Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). *Encuesta de Violencia contra Niños, Niñas y Adolescentes en Colombia, 2018*. Bogotá, Colombia. En: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-tiene-por-primera-vez-encuesta-de-violencia-contra-menores-de-edad.aspx>
- Gyurak, A., Gross, J. J., & Etkin, A. (2011). Explicit and implicit emotion regulation: a dual-process framework. *Cognition and emotion*, 25(3), 400-412. Doi: 10.1080/02699931.2010.544160
- Hart, H., Lim, L., Mehta, M. A., Simmons, A., Mirza, K. A. H., & Rubia, K. (2018). Altered fear processing in adolescents with a history of severe childhood maltreatment: an fMRI study. *Psychological Medicine*, 48(7), 1092–1101. <https://doi.org/10.1017/S0033291716003585>
- Herringa, R. J. (2017). Trauma, PTSD, and the developing brain. *Current Psychiatry Reports*, 19(10), 1-9. Doi: 10.1007/s11920-017-0825-3
- Jovanovic, T. (2017). 6.3 Effects of Trauma Exposure on Fear Inhibition Circuitry in the Developing Brain. *Journal of the*

American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 56(10), S309.
<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.07.608>

- Kovacs, M. (1992). *kovacs children's depression inventory*. Retrieved from https://scholar.google.com.co/scholar?q=kovacs+children%27s+depression+inventory&hl=en&as_sdt=0,5&scilu=4521666029320754508:480&scisig=AMstHGQAAAAWHb_R0qx5Zhl0yKOK7g5Wc8dZr-geW0y&gmla=AJsN-F5SFgGdAVOI-JP7_DIFIKDL3l-7M4KrQ5ZuqdQ4-yyVZJ2ftmf7rHQ_o2GCOB5aRs
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed.). Oxford University Press.
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). *The Karolinska directed emotional faces (KDEF)*. CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet, 91(630), 2-2.
- Malarbi, S., Abu-Rayya, H. M., Muscara, F., & Stargatt, R. (2017). Neuropsychological functioning of childhood trauma and post-traumatic stress disorder: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 72, 68–86. <https://doi.org/10.1016/J.NEUBIOREV.2016.11.004>
- Marusak, H. A., Martin, K. R., Etkin, A., & Thomason, M. E. (2015). Childhood trauma exposure disrupts the automatic regulation of emotional processing. *Neuropsychopharmacology*, 40(5), 1250-1258. En: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4367470/pdf/npp2014311a.pdf>
- Masten, C. L., Guyer, A. E., Hodgdon, H. B., McClure, E. B., Charney, D. S., Ernst, M., ... & Monk, C. S. (2008). Recognition of facial emotions among maltreated children with high rates of post-traumatic stress disorder. *Child abuse & neglect*, 32(1), 139-153. En: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2268025/pdf/nihms38481.pdf>

- McCrorry, E. J., De Brito, S. A., Kelly, P. A., Bird, G., Sebastian, C. L., Mechelli, A., ... & Viding, E. (2013). Amygdala activation in maltreated children during pre-attentive emotional processing. *The British Journal of Psychiatry*, 202(4), 269-276. Doi: 10.1192/bjp.bp.112.116624
- Milani, A. C. C., Hoffmann, E. V., Fossaluza, V., Jackowski, A. P., & Mello, M. F. (2017). Does pediatric post-traumatic stress disorder alter the brain? Systematic review and meta-analysis of structural and functional magnetic resonance imaging studies. *Psychiatry and clinical neurosciences*, 71(3), 154-169. Doi: 10.1111/pcn.12473
- Noriega, I., Trejos-Castillo, E., Chae, Y., Calderón-Delgado, L., Barrera-Valencia, M., Al-Khalil, K., O'Boyle, M.W. (2021). Emotional memory processing in post-traumatic stress disorder affected Colombian youth. *International Journal of Psychology* 56(3) 387-393. Doi: <https://doi.org/10.1002/ijop.12730>
- Ohashi, K., Anderson, C. M., Bolger, E. A., Khan, A., McGreenery, C. E., & Teicher, M. H. (2019). Susceptibility or Resilience to Maltreatment Can Be Explained by Specific Differences in Brain Network Architecture. *Biological Psychiatry*, 85(8), 690-702. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.10.016>
- Peirce JW (2007). PsychoPy-Software de psicofísica en Python. *Revista de métodos de neurociencia*, 162 (1-2), 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.11.017>
- Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain. *Trends in cognitive sciences*, 21(5), 357-371. Doi: 10.1016/j.tics.2017.03.002
- Richards, A., Ospina-Duque, J., Barrera-Valencia, M., Escobar-Rincón, J., Ardila-Gutiérrez, M., Metzler, T., & Marmar, C. (2011). Post-traumatic stress disorder, anxiety and depression symptoms, and psychosocial treatment needs in Colombians internally displaced by armed conflict: A mixed-method evaluation. *Psychological*

Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy, 3(4), 384. <https://doi.org/10.1037/a0022257>

Scheuerecker, J., Frodl, T., Koutsouleris, N., Zetzsche, T., Wiesmann, M., Kleemann, A. M., Brückmann, H., Schmitt, G. Möller, H. & Meisenzahl, E. M. (2007). Cerebral differences in explicit and implicit emotional processing—an fMRI study. *Neuropsychobiology*, 56(1), 32-39. Doi: 10.1159/000110726

Sheehan, D. V., Lecrubier, Y., Sheehan, K. H., Amorim, P., Janavs, J., Weiller, E., Thierry, H., Baker, R., & Dunbar, G. C. (1998). The Mini-International Neuropsychiatric Interview (M.I.N.I.): The development and validation of a structured diagnostic psychiatric interview for DSM-IV and ICD-10. *Journal of Clinical Psychiatry*, 59(SUPPL. 20), 22–33. [https://doi.org/10.1016/S0924-9338\(99\)80239-9](https://doi.org/10.1016/S0924-9338(99)80239-9)

Tamietto, M., & De Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(10), 697-709. <https://doi.org/10.1038/nrn2889>

Thomaes, K., Dorrepaal, E., Draijer, N., de Ruiter, M. B., Elzinga, B. M., Sjoerds, Z., Van Balkom, A.J., Smit, J.H., & Veltman, D. J. (2013). Increased anterior cingulate cortex and hippocampus activation in Complex PTSD during encoding of negative words. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. <https://doi.org/10.1093/scan/nsr084>

Viner, R. (2015). Puberty, the brain and mental health in adolescence. In *Brain crosstalk in puberty and adolescence* (pp. 57-73). Springer, Cham.

Vibhakar, V., Allen, L. R., Gee, B., & Meiser-Stedman, R. (2019). A systematic review and meta-analysis on the prevalence of depression in children and adolescents after exposure to trauma. *Journal of affective disorders*, 255, 77-89. Doi: 10.1016/j.jad.2019.05.005

Woolrich, M. (2008). Robust group analysis using outlier inference. *NeuroImage*, 41(2), 286–301. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2008.02.042>

Woolrich, M. W., Behrens, T. E. J., Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M. (2004). Multilevel linear modelling for fMRI group analysis using Bayesian inference. *NeuroImage*, 21(4), 1732–1747. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2003.12.023>

Worsley, K. J., Taylor, J. E., Tomaiuolo, F., & Lerch, J. (2004). Unified univariate and multivariate random field theory. *NeuroImage*, 23, S189–S195. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2004.07.026>

