

# Emotional assessment of adults with ADHD through event-related potentials. Systematic review

## Evaluación emocional de adultos con TDAH a través de potenciales relacionados a eventos. Revisión sistemática

Oliveros-Chacana Juan Carlos <sup>a</sup>  | Kreither Johanna <sup>b, c</sup> 

a. Doctorado en Psicología, Facultad de Psicología, Universidad de Talca, Chile.

b. Programa de Investigación Asociativa (PIA) en Ciencias Cognitivas, Centro de Investigación en Ciencias Cognitivas (CICC), Facultad de Psicología, Universidad de Talca, Chile.

c. Centro de Psicología Aplicada (CEPA), Facultad de Psicología, Universidad de Talca, Chile

### Correspondence

Johanna Kreither. Facultad de Psicología. Universidad de Talca, Campus Lircay. Avenida Lircay S/N, C.P. 3460000. Talca, Chile.

✉ [jkreither@utalca.cl](mailto:jkreither@utalca.cl)

### Abstract

**Introduction:** During the last decade, several studies have been shown that adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) not only have to deal with attention and memory problems, but also with difficulties in emotional recognition. Furthermore, the event related potentials (ERPs) technique has shown to be an effective way to investigate the neural correlates of such functions. **Objective:** The aim of this systematic review was to collect studies that used experimental paradigms with emotional stimuli in combination with ERPs in adults with ADHD. **Method:** A systematic review was conducted according to PRISMA statement. The following MeSH terms were used: "emotions", "attention deficit-hyperactivity disorder", "event-related potentials", and "adult". Of the 173 unique records identified, 8 met the inclusion criteria. **Results:** For the early ERP components, adults with ADHD showed higher P1 amplitudes for negative and positive stimuli; and lower N170 amplitudes for positive stimuli, compared to participants without ADHD. For late ERP components, individuals with ADHD showed higher amplitudes of late positive potential (LPP) during the processing of aversive stimuli and emotional regulation. **Discussion and conclusion:** In general, adults with ADHD showed lower performance on emotional tasks compared to participants without ADHD. This review highlight that through ERPs studies there are promising and novel proposals to evaluate the neural correlates of emotional processing in adults with ADHD.

**Keywords:** Attention deficit hyperactive disorder, event-related potentials, motional response

### Resumen

**Antecedentes:** Durante la última década, varios estudios muestran que los adultos con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) no sólo lidian con alteraciones de atención y memoria, sino que también con dificultades en el reconocimiento emocional. Por otro lado, la técnica de potenciales relacionados a eventos (ERPs) ha mostrado ser una forma efectiva de investigar los correlatos neurales de dichas funciones. **Objetivo:** El objetivo de la presente revisión sistemática fue recopilar estudios que usaron paradigmas experimentales con estímulos emocionales en combinación con ERPs en adultos con TDAH. **Método:** Se realizó una revisión sistemática según las normas PRISMA entre septiembre y octubre del 2019, en las bases de datos Scopus y ScienceDirect. Se utilizaron los siguientes términos MeSH: "emotions", "attention deficit-hyperactivity disorder", "event-related potentials" y "adult". De los 173 registros únicos identificados, 8 cumplieron con los criterios de inclusión. **Resultados:** Para los componentes tempranos, los adultos con TDAH evidencian mayores amplitudes de P1 para estímulos negativos y positivos; y menores amplitudes de N170 para estímulos positivos, comparados con participantes sin TDAH. Para los componentes tardíos, los individuos con TDAH mostraron mayores amplitudes de potencial positivo tardío (LPP) durante el procesamiento de estímulos aversivos y regulación emocional. **Discusión y conclusión:** En general, los adultos con TDAH evidencian un menor desempeño en tareas emocionales en comparación con los participantes sin TDAH. Esta revisión destaca que a través de los estudios de ERPs existen promisorias y novedosas propuestas para evaluar el correlato neural emocional en adultos con TDAH.

**Palabras clave:** Trastorno de déficit de atención e hiperactividad, potenciales relacionados a eventos



## Introducción

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un desorden del neurodesarrollo caracterizado por un patrón persistente de inatención y/o hiperactividad-impulsividad, que interfiere con el funcionamiento social, académico y laboral de las personas que lo padecen<sup>1</sup>. Tradicionalmente, se ha suscrito la creencia de que el TDAH desaparece en la adolescencia. Diversos estudios han mostrado una persistencia de síntomas entre un 50 a 80% en la adultez<sup>2-4</sup>.

En el contexto de investigaciones neurofisiológicas del TDAH, el estudio de biomarcadores a través de potenciales relacionados a eventos (ERPs, del inglés *Event-Related Potentials*) se considera una línea de investigación fundamental para comprender tanto los mecanismos clínicos, sus pronósticos, como los resultados terapéuticos de esta población. En términos fisiológicos, los ERPs emergen de la activación sincrónica de neuronas piramidales alineadas, cuya actividad, principalmente postsináptica, genera campos eléctricos medibles a nivel del cuero cabelludo, y con una resolución temporal de milisegundos<sup>8-10</sup>. La relevancia de los ERPs radica en que representan, al contrario de las neuroimágenes, una medida neuronal directa y robusta, con buenas propiedades psicométricas que puede utilizarse para estudiar tanto la psicopatología como las diferencias individuales a lo largo del desarrollo<sup>11,12</sup>. Además, la utilidad clínica de los ERPs radica en que revelan precursores psicofisiológicos y correlatos de los desempeños en diversas pruebas, evidenciando diferencias específicas en el procesamiento cognitivo latente<sup>13,14</sup> y permiten establecer correlaciones neurales transdiagnósticas, contribuyendo al desarrollo de estrategias de tratamiento atingentes, específicas y focalizadas<sup>11,12</sup>.

En el contexto de teorías multicausales para el TDAH, se ha incorporado el ámbito emocional como un aspecto fundamental<sup>15-17</sup>. Esto se debe a que entre el 34% a 70% de los adultos con TDAH manifiestan dificultades en la regulación emocional, aún cuando se conoce muy poco de las causas y mecanismos subyacentes<sup>18</sup>. Aún más, la mayor parte de los estudios con ERPs en TDAH se han centrado en variables cognitivas más que afectivas. De hecho, una revisión de la literatura realizada por Johnstone et al.<sup>19</sup>, que examinó estudios de ERPs en niños y adolescentes con TDAH, desde el año 2002 al 2012, mostró la existencia de tan sólo un estudio<sup>20</sup> que utilizó un paradigma experimental con estímulos emocionales. En dicho estudio se encontraron reducciones en las amplitudes de P120 y P300, y un incremento en N170 en niños y adolescentes con TDAH comparados con un grupo control controles sanos.

Feuerriegel et al.<sup>21</sup> en una revisión sistemática que abordó el estudio del procesamiento emocional facial en trastornos psiquiátricos y neurológicos por medio de componentes tempranos de ERPs (tales como N170, M170 y VPP), concluyeron que con los estudios existentes no fue posible identificar un patrón claro de resultados de ERPs para el TDAH, y que más investigación es necesaria al respecto. Por último, un reciente metaanálisis realizado por Kaiser et al.<sup>22</sup> a examinar estudios de ERP en niños, adolescentes y adultos con TDAH, se centró en develar diferencias de ERPs cognitivos (tardíos) durante tareas de control inhibitorio, atención, memoria de trabajo, y monitoreo de desempeño, pero dejó fuera del análisis variables de dominio emocional.

Por lo anterior, el objetivo de esta revisión sistemática fue explorar estudios con ERPs, realizados en los últimos 10 años, en donde se utilizan paradigmas experimentales que estudian respuestas emocionales en adultos con TDAH. Incluso, este trabajo intenta contribuir a la discusión sobre las eventuales diferencias y similitudes en las dinámicas de los ERPs entre adultos con y controles sanos, durante tareas que involucran procesamiento emocional.

## Material y método

### Estrategia de búsqueda

Se realizó una revisión sistemática de artículos publicados en inglés, utilizando las bases de datos Scopus y ScienceDirect. La revisión se efectuó utilizando el protocolo PRISMA<sup>23</sup>. Los descriptores utilizados según los términos del Medical Subject Headings (MeSH), del Index Medicus fueron: "attention deficit-hyperactivity disorder," "event-related potentials," "emotions", y "adult" combinados con los operadores booleanos en el siguiente orden: (emotion) AND (ADHD OR "attention deficit-hyperactivity disorder" OR "attention deficit hyperactivity disorder") AND (ERP OR "event-related potentials" OR "event related potentials") AND ("adult"). Esta búsqueda se realizó entre septiembre y octubre del 2019, para los últimos 10 años. Los estudios fueron revisados por dos revisores independientes (SH y JV).

### Criterios de inclusión y exclusión

Para la presente revisión sistemática se utilizaron los siguientes criterios de inclusión: (1) estudios publicados en inglés, (2) estudios que realizaron registros/análisis de EEG/ERPs, (3) estudios que incluían participantes con TDAH, y (4) estudios que usaron presentación de estímulos emocionales visuales.

Los criterios de exclusión fueron, además de no cumplir con los criterios de inclusión, (1) disertaciones, (2) revisiones sistemáticas; y (3) estudios que hayan investigado personas con un trastorno diferente al TDAH (por ejemplo, trastorno del espectro del autista o esquizofrenia).

### Extracción de datos

Se extrajo principalmente información sobre amplitud de componentes de ERPs, y otros indicadores de relevancia, obtenidos por medio de paradigmas emocionales (descrito en la [Tabla 1](#)).

**Tabla 1.** Resumen del diseño experimental en cuanto a la caracterización de la muestra y paradigma de estimulación de los estudios de ERPs elegidos, ordenados por año de publicación

Estudio	N/ Grupos	Edad media participantes (M±DS)	Estímulo	Tarea (s) experimental (es)	Medida (s)	Referencia off-line	Moduladores investigados
Herrmann et al. <sup>30</sup>	64: TDAH (32) vs controles sanos (32)	TDAH: 33.0±9.9 CS: 31.9±9.6	Imágenes (IAPS) que evocan emociones negativas, positivas y neutras.	Tarea oddball pasiva	EEG/ERPs (EPN)	Promedio de electrodos (n=21)	Déficits emocionales
Ibañez et al. <sup>27</sup>	20: TDAH (10) vs controles sanos (10)	TDAH: 33,1 ±3,6 CS: 33,0 ±3,8	Imágenes de caras que evocan emociones de felicidad y enojo	Tarea de Valencia Dual (DVT, por sus siglas en inglés)	EEG/ERPs (N170) y conductual	Promedio de electrodos (n=128)	Procesamiento emocional de caras, funcionamiento ejecutivo y cognición social
Kochel et al. <sup>31</sup>	30: TDAH (15) vs controles sanos (15)	TDAH: 26.7 ±3.4 CS: 25.7 ±3.	Imágenes de caras (KDEF) que evocan emociones enojo, tristeza, felicidad y miedo.	Go/ No go emocional	EEG/ERPs (LPP) y conductual	Mastoides	Control inhibitorio afectivo
Raz & Dan <sup>25</sup>	37: TDAH (17) vs controles sanos (20)	TDAH: 24.1±1.73 CS: 24.5±2.9	Imágenes de caras (NFSS) que evocan emociones de enojo, felicidad y neutras.	Tarea oddball activa	EEG/ERPs (P1, N170, P3) y conductual	Promedio de electrodos (n=64)	Procesamiento emocional
Balogh et al. <sup>32</sup>	40: TDAH (26) vs controles sanos (14)	TDAH: 26,7±5,7 CS: 31,5±11,4	Imágenes (IAPS) evocan emociones negativas, positivas y neutras.	Go/ No go emocional	EEG/ERPs (ERN, Pe) y conductual	Promedio de electrodos (n=128)	Modulación afectiva del monitoreo de errores
Shushakova, Ohrmann, et al. <sup>28</sup>	79: TDAH (39) vs controles sanos (40)	TDAH: 31,2±8,3 CS: 31,1±8,8	Imágenes (IAPS) evocan emociones negativas, positivas y neutras.	Tarea de regulación emocional	EEG/ERPs (LPP) y conductual	Mastoides	Regulación emocional
Schneid et al. <sup>29</sup>	73: TDAH (36) vs controles sanos (37)	TDAH: 36.8±10.8 CS: 37.0±11.4	Imágenes (IAPS) evocan emociones negativas, positivas y neutras.	Distractor emocional	EEG/ERPs (EPN, LPP) y conductual	Promedio de electrodos (n=63)	Distracción por estímulo saliente
Shushakova, et al. <sup>26</sup>	80: TDAH (39) vs controles sanos (41)	TDAH: 31,2±8,2 CS: 30,6±8,9	Palabras (LANG) que evocan emociones positivas, negativas y neutras.	Doble señalamiento verbal ( <i>dot-probe task</i> )	EEG/ERPs (N2pc, P1) y conductual	Mastoides	Desregulación emocional: sesgos de atención a las palabras emocionales positivas y negativas

Nota: CS: Grupo Controles Sanos; IAPS: International Affective Picture System (IAPS); KDEF: Karolinska Directed Emotional Faces; LANG: Leipzig Affective Norms for German; NFSS: NimStim face stimulus set

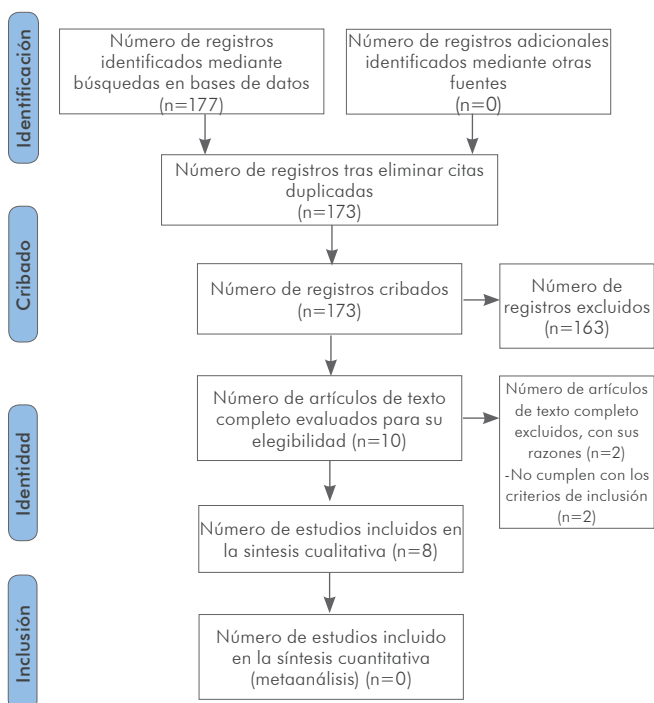
## Resultados

### Características de los estudios

Después de la exclusión de los duplicados, en la búsqueda de la literatura se identificaron 173 estudios, que luego se sometieron a un cribado para su elegibilidad basado en el título y el resumen. En esta etapa, se excluyeron 163 trabajos.

Se evaluó el texto completo de los 10 estudios restantes para su elegibilidad. De ellos, dos estudios no fueron elegibles, por lo que fueron excluidos. Por lo tanto, se incluyeron 8 estudios en la revisión sistemática (ver el diagrama de flujo PRISMA 23 en la [Figura 1](#)). Los resultados y conclusiones generales de los estudios elegidos se muestran en la [Tabla 2](#).

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA: proceso de selección de estudios



### Resultados específicos de los componentes ERPs

En la [Tabla 3](#) se reportan los resultados de los estudios clasificados en componentes de ERPs tempranos <sup>24</sup> (<300 ms después de la aparición de los estímulos), tardíos (>300 ms después de la aparición de los estímulos) y asociados a la respuesta.

### Componentes de ERPs tempranos

#### P1

Raz S., et al. <sup>25</sup>, por medio de una tarea frecuente-infrecuente (oddball, en inglés), encontraron que la amplitud de P1 fue mayor para el grupo de TDAH en comparación con el grupo controles sanos en las regiones occipital ( $F(1,35)=9.28$ ,  $p=.004$ ), y parietal-posterior ( $F(1,35)=4.90$ ,  $p=.034$ ). Específicamente, el grupo TDAH y el grupo controles sanos difirieron en su amplitud P1 a las caras emocionales (enfadadas:  $p=.004$ ; felices:  $p=.004$ ) pero no en respuesta a las caras neutras ( $p=.11$ ). Incluso, en el grupo con TDAH la amplitud máxima de P1 fue mayor en respuesta a las caras de enfado y felices en comparación con las caras neutras ( $p=.016$ ). Mientras que para el grupo controles sanos no se encontraron diferencias en la amplitud de P1 a las caras enfadadas ( $p=.48$ ) y felices ( $p=.29$ ) comparadas con las caras neutras o caras enfadadas comparadas con caras felices ( $p=.08$ ).

Shushakova A., et al. <sup>26</sup> reportaron que por medio de una tarea de doble señalamiento verbal (*dot-probe task*) los adultos con TDAH mostraron menores amplitudes P1 que los participantes controles sanos ( $F(1,78) = 9.488$ ,  $p=.003$ ) especialmente cuando los estímulos se presentaron en el campo visual derecho. También, los participantes exhibieron una tendencia a mayores amplitudes de P1 en ensayos negativos-neutros vs positivos-neutros en el hemisferio izquierdo ( $F(1, 78)=3.196$ ,  $p=.078$ ).

#### N170

Ibañez et al. <sup>27</sup> encontraron que el grupo de adultos con TDAH mostró déficits en la modulación de la emoción para estímulos faciales (Prueba de Tukey,  $MS=59.05$ ,  $gl=18.07$ ), con una amplitud reducida para el componente N170, comparado con el grupo controles sanos. Esta reducción del N170 se observó a pesar de no haber ningún déficit en el procesamiento de la estructura facial. En el grupo con TDAH se observaron déficits corticales en la modulación de las emociones de caras. Además, en un examen más detallado, un detrimento en la modulación de la valencia de la cara siguió a la reducción de la amplitud de N170 para los estímulos positivos en el hemisferio derecho ( $M=-2.81$ ,  $SD=1.88$ ;  $p<.01$ ).

Raz et al. <sup>25</sup> encontraron que el grupo de adultos con TDAH y controles sanos no difirieron en la amplitud de N170 a las caras emocionales o neutras, pero el factor grupo interactuó significativamente con el tipo de expresión emocional tanto en la ubicación del cuero cabelludo occipital ( $F(2,70)=6.00$ ,  $p=.004$ ) como en el parietal-posterior ( $F(2,70)=3.77$ ,  $p=.028$ ). En otras palabras, en el grupo con TDAH el N170 fue más pronunciado en respuesta a las caras enfadadas que en respuesta a las caras felices; mientras que en el grupo controles sanos el N170 fue más pronunciado en respuesta a las caras felices que a las caras enfadadas. Además, no se observaron diferencias de N170 entre los grupos con caras negativas, pero los resultados indicaron que el grupo con TDAH había reducido significativamente la amplitud de N170 para los estímulos positivos, en comparación con los participantes.

#### N2pc

Shushakova A., et al. <sup>26</sup> por medio de una tarea de doble señalamiento verbal (*dot-probe task*) encontraron que el número de síntomas del TDAH (DIVA-2) se asoció con una mayor amplitud de N2pc ( $r=.41$ ,  $p=.012$ ) tanto en palabras positivas como negativas. Curiosamente, los participantes con TDAH que reportaron mayor competencia en la regulación de las emociones (SEK-27) exhibieron menores amplitudes de N2pc ( $r=.35$ ,  $p=.033$ ).

Tabla 2. Estudios de ERPs que han abordado la evaluación emocional en adultos con TDAH ordenados por año de publicación.

Estudio	Resultados principales	Conclusiones
Herrmann et al. <sup>30</sup>	Su estudio reportó valores de EPN significativamente reducidos para los participantes con TDAH en comparación con los participantes controles sanos, pero solo en la condición de estímulo positivo, sin diferencias significativas en la condición de estímulo negativo.	Los participantes con TDAH muestran una menor reactividad a los estímulos visuales positivos, lo que podría ser relevante en el TDAH en el contexto de las disfunciones del sistema de motivación-recompensa.
Ibañez et al. <sup>27</sup>	En comparación con los participantes controles sanos, el grupo de adultos con TDAH mostró déficits en la modulación emocional N170 para estímulos faciales. El mapeo de la densidad de corriente cortical de N170 produjo una fuente neural principal de N170 en la sección posterior del giro fusiforme (máximo en el hemisferio izquierdo para palabras y hemisferio derecho para caras y estímulos simultáneos). Los generadores neuronales de N170 (giro fusiforme) se redujeron en TDAH.	Existiría una deficiencia específica del TDAH en adultos en la modulación cortical de la emoción para las caras y una asociación entre las medidas corticales del N170 y la Teoría de la Mente (ToM) y el funcionamiento ejecutivo (EF).
Kochel et al. <sup>31</sup>	Los adultos con TDAH mostraron una positividad tardía (LPP) parietal derecha reducida cuando se les indicó que inhibieran una respuesta a las emociones negativas	Los participantes con TDAH han aprendido a compensar su déficit en el control inhibitorio a nivel conductual, mientras que aún es visible a nivel electrocortical. Interesantemente, la reducción de la positividad se correlacionó con la disminución de la inteligencia emocional autoreportada en el grupo de TDAH.
Raz & Dan <sup>25</sup>	Solo en el grupo TDAH, P1 fue mayor en respuesta a las caras emocionales en comparación con las neutrales. N170 fue más pronunciado a enojo que feliz en el grupo de TDAH, mientras que en el grupo de control N170 fue más pronunciado a feliz que enojo. Los participantes con TDAH mostraron una reducción pronunciada en P3 tanto en caras emocionales como neutrales.	Las alteraciones en respuesta a objetivos emocionales pueden sugerir un reclutamiento anormal de recursos neuronales para procesar los estímulos emocionales entre los individuos adultos con TDAH.
Balogh et al. <sup>32</sup>	La amplitud de Pe disminuyó significativamente en el grupo de TDAH cuando se aplicaron estímulos neutros, y la amplitud de ERN mostró una reducción para los estímulos con valencia emocional negativa	Los hallazgos sugieren que los participantes con TDAH difieren de los participantes controles sanos tanto en las primeras como en las últimas etapas del procesamiento de errores. Esto estaría relacionado con los estudios previos sobre procesamiento y regulación emocional.
Shushakova, Ohrmann, et al. <sup>28</sup>	Los participantes con TDAH exhibieron un aumento en las amplitudes de potencial positivo tardío frontal (LPP) durante la visualización pasiva de imágenes aversivas y durante la regulación emocional. En comparación con los participantes sujetos controles sanos, un subgrupo de participantes con TDAH no tratados previamente con medicación también exhibieron amplitudes LPP centroparietal más grandes y proporcionaron clasificaciones más negativas de las imágenes aversivas y neutrales	Los hallazgos apoyan la observación clínica de una mayor respuesta emocional a los estímulos negativos y a la dificultad durante la implementación de estrategias de regulación emocional.
Shushakova, Wiesner et al. <sup>26</sup>	Las amplitudes de N2pc indicaron un sesgo de atención significativo hacia las palabras emocionales en participantes con TDAH y participantes controles sanos. En los participantes controles sanos, el sesgo solo fue significativo en los ensayos positivos. Los participantes con TDAH también exhibieron amplitudes de P1 reducidas.	El sesgo de atención a los estímulos emocionales podría contribuir a la reactividad emocional y a la disregulación en los participantes adultos con TDAH.
Schneid, et al. <sup>29</sup>	El grupo de TDAH exhibió un procesamiento abajo hacia arriba (bottom-up) mejorado (como se indica en el EPN) de distractores en ensayos TDAH, independientemente del contenido distractor. Además, los adultos con TDAH mostraron un procesamiento de arriba hacia abajo (top-down) mejorado (como lo indica el componente LPP) en ensayos con dificultad de tarea baja versus alta.	Estos hallazgos respaldan la noción de que la distracción en el TDAH es el resultado de deficiencias en los procesos tanto top-down como de bottom-up y subrayan la importancia de la dificultad de la tarea como factor de modulación.

Nota. DVT, tarea de valencia dual; con TDAH, con Trastorno por Déficit Atencional e Hiperactividad; controles sanos, sin Trastorno por Déficit Atencional e Hiperactividad

Tabla 3. Resumen de los principales componentes de ERPs de los estudios elegidos en la presente revisión

Componente de ERP	Descripción	Propuesta de significancia funcional
P1	Componente positivo generado en los electrodos occipitales entre 100 ms y 130 ms después del inicio del estímulo <sup>35,36</sup>	Procesamiento sensorial del estímulo en el campo visual contralateral
N170	Componente negativo generado en los electrodos occipito-temporales entre 140 ms y 200 ms después del inicio del estímulo <sup>36,37</sup>	Codificación estructural de las caras
EPN	Componente negativo generado en los electrodos occipitales, entre los 200 y 300 ms <sup>38</sup>	La atención visual selectiva hacia estímulos emocionales
N2pc	Componente negativo generado en los electrodos posteriores contralaterales al objetivo típicamente evocada 170-200 ms después del inicio de una matriz de búsqueda visual <sup>39,40</sup>	Cambios de la atención visual encubierta
P3	Componente positivo generado en los electrodos parietales entre 300 y 500 ms después del inicio del estímulo <sup>36,41</sup>	Compromiso atencional y evaluación de estímulos/toma de decisiones
LPP	Componente positivo generado en la región centroparietal que se hace evidente a los 300 ms después del inicio del estímulo <sup>36</sup>	Saliencia del estímulo emocional
ERN	Componente positivo frontocentral asociado a una respuesta, que alcanza su punto máximo a los 50-100 ms después de una respuesta incorrecta (error) <sup>10,42</sup>	Procesamiento de errores inconscientes
Pe	Componente positivo que a menudo tiene una topografía centro parietal con una amplitud máxima entre 200 y 400 ms después de una respuesta errónea <sup>42</sup>	Procesamiento consciente de errores

Nota: ERN, negatividad relacionada al error; LPP, potencial positivo tardío; Pe, positividad de error; N2pc, N2-posterior-contralateral

## EPN

Schneidt A., et al.<sup>29</sup>, encontraron que en el grupo de adultos con TDAH se evidenció un efecto significativo de la dificultad de la tarea ( $F(1,35)=4.58, p=.039$ ), indicando EPN mejoradas en los ensayos con alta dificultad. En cambio, Herrmann et al.<sup>30</sup> observaron amplitudes reducidas de EPN en participantes con TDAH ( $M=-.36, SD=1.19, t = -2.0, p<.05$ ) en comparación con los participantes controles sanos ( $M=-.88, SD=.90$ ), para la condición de estímulos positivos; mientras que en la condición de estímulos negativos no encontraron diferencias significativas (Grupo controles sanos:  $M=-.71, SD=1.14$ ; Grupo con TDAH:  $M=-.71, SD=1.27; t=.0, n.s.$ )

## Componentes de ERPs tardíos

### P3

Raz S., et al.<sup>25</sup> encontraron que el componente P3, en los canales parietales posteriores, mostró una amplitud significativamente más pronunciada en el grupo controles sanos que en el grupo de adultos con TDAH ( $F(2,70)=3.77, p=.028$ ). Se encontraron altos coeficientes de correlación inversa en el grupo con TDAH para las caras enojadas ( $r=-.74; p=.001$ ) y moderados coeficientes de correlación inversa, patrón persistente de inatención y/o hiperactividad-impulsividad, que interfiere con el funcionamiento social, académico y laboral de las personas que los encontrados para las caras felices ( $r=-.49; p=.04$ ). No se encontraron correlaciones significativas en el grupo controles sanos.

### LPP

Kochel A., et al.<sup>31</sup> encontraron que los adultos con TDAH, comparados con los participantes controles sanos, mostraron una disminución de las amplitudes de LPP parietal derecha en respuesta a las señales de detención (No-Go) de enojo, tristeza y miedo ( $p<.026$ ). Además, los adultos con TDAH que reportaron una baja inteligencia emocional se asociaron con bajas amplitudes de LPP a señales de detención de enojo y miedo (enojo:  $r=.501, p=.050$ ; miedo:  $r=.572, p=.026$ ) También, los participantes con TDAH en comparación con el grupo controles sanos mostraron menores amplitudes de LPP parietal derecha en respuesta a estímulos Go que representan miedo y felicidad ( $p<.020$ ).

Schneidt A., et al.<sup>29</sup> encontraron que los adultos con TDAH mostraron un mejor procesamiento no-automático (top-down), según el índice de LPP, dado por el efecto de tareas de baja dificultad versus alta ( $F(1,35)=8.52, p=.006$ ). Lo anterior, indicaría un mayor procesamiento de los distractores en el TDAH bajo una menor demanda de tareas.

Shushakova A., et al.<sup>28</sup> encontraron que las amplitudes de LPP revelaron un efecto principal significativo de la emoción ( $F(1,77)=10.651, p=.002$ ), mostrando LPPs más grandes para las imágenes negativas que para imágenes neutras. Además, no se encontró un déficit significativo en la modulación de LPP centroparietal, o en las valencias auto-reportadas y los índices de excitación después del uso de las estrategias de regulación de las emociones en los participantes con TDAH. Sin embargo, el procesamiento de los estímulos aversivos, así como la regulación de las emociones, se asoció con un mayor esfuerzo cognitivo en los participantes con TDAH que en los participantes controles sanos, lo que se reflejó en las mayores amplitudes de LPP frontal.

## Componentes de ERPs asociados a la respuesta ERN/Pe

Balogh et al.<sup>32</sup> encontraron una reducción significativa de la amplitud de ERN en el grupo de TDAH en comparación con los participantes controles sanos, en los electrodos FCz, Cz, y Pz (para FCz:  $F = 14.15, p = .0013$ ; para Cz:  $F = 288.74, p < .0001$ ; para Pz:  $F = 75.65, p < .0001$ ) ante la presentación de estímulos negativos. Además la impulsividad se asoció positivamente con una mayor amplitud de la ERN en el área fronto-central para la condición negativa ( $F=4.07, p=.0438$ )<sup>32</sup>. Adicionalmente, estos autores encontraron que los participantes con TDAH tenían una amplitud de Pe significativamente menor que los participantes controles sanos en la condición neutral (para FCz:  $F=54.81, p<.0001$ ; para Cz:  $F=109.29, p<.0001$ ; para Pz:  $F=86.26, p<.0001$ ), mientras que no difirieron de los participantes controles sanos en la presentación de estímulos emocionales.

## Discusión

El objetivo principal de la presente revisión fue exponer el estado del arte de la evaluación emocional de adultos con TDAH a través de ERPs, además de contribuir a la discusión sobre las diferencias y similitudes del funcionamiento de ERPs en tareas de estimulación emocional entre adultos con TDAH y controles sanos.

Se pudieron observar algunos efectos razonablemente consistentes. El hallazgo de LPP frontales durante el procesamiento de los estímulos aversivos y la regulación de las emociones es coherente con los conceptos que vinculan la desregulación emocional a las disfunciones ejecutivas en los participantes con TDAH<sup>28</sup>. De acuerdo con Kochel A., et al.<sup>31</sup> los participantes que reportaron una baja inteligencia emocional se asociaron con bajas

amplitudes de LPP a señales de detención de miedo y enojo. En general, parece claro que ante estímulos emocionales (tales como, caras de enojo o felices) los adultos con TDAH evidencian mayores amplitudes de P1 para estímulos negativos (cara enojada) y positivos (cara feliz), lo que podría reflejar una hipervigilancia específica en la corteza visual de los adultos con TDAH a los rostros emocionales, en lugar de una hipervigilancia global a todo tipo de rostros y estímulos<sup>25</sup>. Sin embargo, cuando el estímulo es una palabra con contenido emocional, los participantes con TDAH no presentan mayores amplitudes de P1 comparados al grupo controles sanos<sup>26</sup>.

Los participantes con TDAH evidencian menores amplitudes N170 para estímulos positivos (cara feliz) comparados a los participantes controles sanos<sup>25, 27</sup>. Ibañez et al.<sup>27</sup> afirman que las menores amplitudes de N170 en adultos con TDAH fueron observadas en ausencia de cualquier déficit en el procesamiento estructural facial, lo que sugiere un deterioro específico del TDAH en el procesamiento sensorial de las emociones faciales. También se evidenciaron menores amplitudes de P3 en adultos con TDAH comparado a participantes controles sanos ante estímulos emocionales<sup>25</sup>. De acuerdo con Raz S., et al.<sup>25</sup> los resultados obtenidos podrían sugerir que los adultos con TDAH tienen una asignación anormal de la capacidad de atención, una deficiencia de actualización del contexto, o un déficit de procesamiento relacionado con la memoria cuando se exponen a un contenido emocional.

De acuerdo con Balogh L., et al.<sup>32</sup> los adultos con TDAH ante estímulos negativos elicitan una ERN significativamente menor, en comparación con participantes controles sanos, lo que indicaría que los estímulos negativos sirven como distractores más potentes: al captar la atención se distraen de la información relevante para el objetivo.

Balogh L., et al.<sup>32</sup> encontraron que los participantes con TDAH tenían una amplitud de Pe significativamente menor que los participantes controles sanos en la condición neutral, mientras que no difirieron de los participantes controles sanos para los estímulos con valencia emocional. Según Balogh L., et al.<sup>32</sup> una explicación para esto podría ser que, aunque la valencia emocional del estímulo sirvió como distractor de la información, redujo la monotonía de la tarea. Además, al afectar positivamente los componentes motivacionales en los participantes con TDAH, dio lugar a una mayor toma de conciencia de los errores cometidos. La mayor monotonía de las imágenes neutras da como resultado un déficit más pronunciado en el seguimiento de los errores, como se indica por la Pe

significativamente más baja observada en el grupo de TDAH. El componente EPN reportó valores significativamente reducidos para los participantes con TDAH, en la condición de estímulo emocional positivo<sup>30</sup>. Lo anterior sustentaría la idea de que los participantes con TDAH presentan un déficit en el sistema de recompensa<sup>33</sup>. Sin embargo cuando se realiza una tarea de distracción de alta dificultad (antecedida por una de baja dificultad) el componente EPN tiende a mejorar, lo que evidenciaría déficits específicos del procesamiento temprano y automático (bottom-up) en adultos con TDAH<sup>29</sup>.

En nuestro conocimiento, esta es la primera revisión sistemática de la literatura relevante sobre estudios de ERPs que han abordado la estimulación emocional en adultos TDAH. Los componentes de ERP estudiados muestran diferencias interesantes entre los participantes con TDAH y controles sanos que podrían contribuir al mejor entendimiento de los mecanismos neurales subyacentes no sólo en términos de su funcionamiento cognitivo sino también afectivo. Sin embargo, debido al reducido número de estudios existentes para algunos de los componentes de ERPs, los resultados de los respectivos análisis deben interpretarse con cautela. Por lo anterior, esta revisión tiene algunas limitaciones. Es difícil establecer conclusiones claras sobre algunos componentes de ERPs, debido a: la escasa cantidad de estudios seleccionados, diversos tipos de tareas (e.g. caras emocionales, palabras, etc.), diversos parámetros físicos de los estímulos (tamaño, intensidad, temporalidad), diferentes sistemas y referenciones de registros de EEG, junto con la variedad de paradigmas utilizados para obtener los ERPs. Por consiguiente, es necesario realizar y fomentar estudios con ERPs que permitan la comprensión de cómo procesan las emociones los adultos con TDAH.

## Financiamiento

Este estudio fue financiado en parte por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), Fondecyt N°11180961. Además, contó con el patrocinio y financiamiento de la Universidad de Talca, Chile.

## Referencias

1. American Psychiatric Association. DSM-5 Diagnostic Classification. In: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 2013. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
2. Biederman J, Petty CR, Clarke A, Lomedico A, Faraone S V. Predictors of persistent ADHD: An 11-year follow-up study. J

- Psychiatr Res. 2011; 45(2):150–5. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2010.06.009>
3. Halperin JM, Trampush JW, Miller CJ, Marks DJ, Newcorn JH. Neuropsychological outcome in adolescents/young adults with childhood ADHD: Profiles of persisters, remitters and controls. *J Child Psychol Psychiatry Allied Discip.* 2008; <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2008.01926.x>
  4. Sibley MH, Ph D, Swanson JM, Ph D, Arnold LE, Lily T, et al. Defining ADHD Symptom Persistence in Adulthood: Optimizing Sensitivity and Specificity. *J Child Psychol Psychiatry Allied Discip.* 2017; 58(6):655–62. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12620>
  5. Fayyad J, Sampson NA, Hwang I, Adamowski T, Aguilar-Gaxiola S, Al-Hamzawi A, et al. The descriptive epidemiology of DSM-IV Adult ADHD in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *ADHD Atten Deficit Hyperact Disord.* 2017; ;9(1):47-65. Doi: 10.1007/s12402-016-0208-3
  6. de la Barra FE, Vicente B, Saldivia S, Melipillan R. Epidemiology of ADHD in Chilean children and adolescents. *ADHD Atten Deficit Hyperact Disord.* 2013;5(1):1–8. Doi: 10.1007/s12402-012-0090-6
  7. Tye C, McLoughlin G, Kuntsi J, Asherson P. Electrophysiological markers of genetic risk for attention deficit hyperactivity disorder. *Expert Rev Mol Med.* 2011; Doi: 10.1017/S1462399411001797
  8. Coch D, Gullick MM. Event-related potentials and development. In: *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components.* 2012. p. 16–7. Doi: 10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0235
  9. Cohen MX. *Analyzing Neural Time Series Data: Theory and Practice.* MIT Press. 2014. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9609.001.0001>
  10. Luck SJ. *An Introduction to the Event-Related Potential Technique, second edition.* The MIT Press. 2014. <https://mitpress.mit.edu/books/introduction-event-related-potential-technique-second-edition>
  11. Hajcak G, Klawohn J, Meyer A. The Utility of Event-Related Potentials in Clinical Psychology. *Annu Rev Clin Psychol.* 2019;15(1):71–95. Doi: 10.1146/annurev-clinpsy-050718-095457
  12. Luck SJ, Mathalon DH, O'Donnell BF, Hmlinen MS, Spencer KM, Javitt DC, et al. A roadmap for the development and validation of event-related potential biomarkers in schizophrenia research. *Biological Psychiatry.* 2011; 70(1):28-34. Doi: 10.1016/j.biopsych.2010.09.021
  13. Otten LJ, Rugg MD. Interpretating Event-Related Brain Potentials. In: Handy TC, editor. *Event-related potentials : a methods handbook.* 2005. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1698-3\\_726](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1698-3_726)
  14. Picton TW, Bentin S, Berg P, Donchin E, Hillyard SA, Johnson R, Miller GA, Ritter W, Ruchkin DS, Rugg MD TM. Guidelines for using human event-related potentials to study cognition. *Psychophysiology.* 2000; 37(2):127-52
  15. Nigg JT, Casey BJ. An integrative theory of attention-deficit/hyperactivity disorder based on the cognitive and affective neurosciences. *Dev Psychopathol.* 2005;17(3):785–806. Doi: 10.1017/S0954579405050376
  16. Sonuga-Barke EJS. Psychological heterogeneity in AD/HD - A dual pathway model of behaviour and cognition. In: *Behavioural Brain Research.* 2002. 10;130(1-2):29-36. Doi: 10.1016/s0166-4328(01)00432-6.
  17. Sonuga-barke E, Wiersma JR, van der meere J, Roeyers H. Context-dependent Dynamic Processes in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: Differentiating Common and Unique Effects of State Regulation Deficits and Delay Aversion. *Neuropsychol Rev.* 2009;20:86–102. Doi: 10.1007/s11065-009-9115-0
  18. Shaw P, Stringaris A, Nigg J, Leibenluft E. Emotion dysregulation in attention deficit hyperactivity disorder. *Am J Psychiatry.* 2014;171(3):276–93. Doi: 10.1176/appi.ajp.2013.13070966
  19. Johnstone SJ, Barry RJ, Clarke AR. Ten years on: A follow-up review of ERP research in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol.* 2013; 124(4):644–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2012.09.006>
  20. Williams LM, Hermens DF, Palmer D, Kohn M, Clarke S, Keage H, et al. Misinterpreting Emotional Expressions in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Evidence for a Neural Marker and Stimulant Effects. *Biol Psychiatry.* 2008;63(10):917–26. <http://www.brainresource.co.il/db/content/w7s2cl33.pdf>
  21. Feuerriegel D, Churches O, Hofmann J, Keage HAD. The N170 and face perception in psychiatric and neurological disorders: A systematic review. *Clin Neurophysiol.* 2015; 126(6):1141-1158. Doi: 10.1016/j.clinph.2014.09.015
  22. Kaiser A, Aggensteiner P, Baumeister S, Holz E, Banaschewski T, Brandeis D. Earlier versus later cognitive event-related potentials (ERPs) in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): A meta analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 2020; <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.01.019>
  23. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *J Clin Epidemiol.* 2009; 62(10):1006-12. Doi: 10.1016/j.jclinepi.2009.06.005
  24. Weinberg A, Hajcak G. Beyond Good and Evil: The Time-Course of Neural Activity Elicited by Specific Picture Content. *Emotion.* 2010;10(6):767–82. Doi: 10.1037/a0020242
  25. Raz S, Dan O. Altered event-related potentials in adults with ADHD during emotional faces processing. *Clin Neurophysiol.* 2015;126(3):514–23. Doi: 10.1016/j.clinph.2014.06.023
  26. Shushakova A, Wiesner CD, Ohrmann P, Pedersen A. Electrophysiological evidence of an attentional bias towards appetitive and aversive words in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clin Neurophysiol.* 2018;129(9):1937–46. Doi: 10.1016/j.clinph.2018.06.019
  27. Ibanez A, Petroni A, Urquina H, Torrente F, Torralva T, Hurtado E, et al. Cortical deficits of emotional face processing in adults with ADHD: its relation to social cognition and



- executive function. *Soc Neurosci*. 2011; 6(5–6):464–81. Doi: 10.1080/17470919.2011.620769
28. Shushakova A, Ohrmann P, Pedersen A. Exploring deficient emotion regulation in adult ADHD: electrophysiological evidence. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2017; 268(4):359–71. Doi: 10.1007/s00406-017-0826-6.
  29. Schneidt A, Jusyte A, Rauss K, Schönenberg M. Distraction by salient stimuli in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder: Evidence for the role of task difficulty in bottom-up and top-down processing. *Cortex*. 2018;101:206–20. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.01.021>
  30. Herrmann MJ, Schreppe T, Biehl SC, Jacob C, Heine M, Boreatti-Hümmer A, et al. Emotional deficits in adult ADHD patients: An ERP study. *Soc Cogn Affect Neurosci*. 2009; 4(4):340–5. Doi: 10.1093/scan/nsp033
  31. Kochel A, Leutgeb V, Schienle A. Affective inhibitory control in adults with attention deficit hyperactivity disorder: abnormalities in electrocortical late positivity. *Neurosci Lett*. 2012 Nov;530(1):47–52. Doi: 10.1016/j.neulet.2012.09.053
  32. Balogh L, Kakuszi B, Papp S, Tombor L, Bitter I, Czobor P. Neural Correlates of Error Monitoring in Adult Attention Deficit Hyperactivity Disorder After Failed Inhibition in an Emotional Go/No-Go Task. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 2017; 29(4):326–33. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.16100183>
  33. Volkow ND, Wang GJ, Kollins SH, Wigal TL, Newcorn JH, Telang F, et al. Evaluating dopamine reward pathway in ADHD: Clinical Implications. *JAMA - J Am Med Assoc*. 2009; 302(10):1084–91. Doi: 10.1001/jama.2009.1308
  34. Smith NK, Cacioppo JT, Larsen JT, Chartrand TL. May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia*. 2003; DOI: 10.1016/s0028-3932(02)00147-1
  35. Hajcak G, Weinberg A, MacNamara A, Foti D. ERPs and the Study of Emotion. In: *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. 2012. Doi:10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0222
  36. Eimer M. The Face-Sensitive N170 Component of the Event-Related Brain Potential. In: *Oxford Handbook of Face Perception*. 2012. Doi: 10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0017
  37. Weinberg A, Hajcak G. The late positive potential predicts subsequent interference with target processing. *J Cogn Neurosci*. 2011; 23(10):2994–3007. Doi: 10.1162/jocn.2011.21630
  38. Woodman GF. Homologues of Human ERP Components in Nonhuman Primates. In: *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. 2012. Doi: 10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0271
  39. Li C, Liu Q, Hu Z. Further evidence that N2pc reflects target enhancement rather than distracter suppression. *Front Psychol*. 2018;8:1–6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02275>
  40. Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*. 2007. Doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019
  41. Gehring WJ, Liu Y, Orr JM, Carp J. The Error-Related Negativity (ERN/Ne). In: *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. 2012. Doi: 10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0120

Artículo sin conflicto de interés

© Archivos de Neurociencias