

El registro electroencefalográfico y el cortisol salival en el estudio del estrés: una revisión sistemática

Electroencephalographic recording and salivary cortisol in the study of stress: A systematic review

Mariana Martínez Pelayo, Emiliano Vázquez Pelayo,
Sergio Díaz Medina y Ana Beatriz Moreno Coutiño

Universidad Nacional Autónoma de México¹

Autor para correspondencia: Mariana Martínez P., mariana_martinezp@comunidad.unam.mx.

RESUMEN

Con la intención de conocer la eficacia de las técnicas de registro electroencefalográfico y de la evaluación del cortisol en saliva en el campo del estudio del estrés, en este trabajo se realizó una revisión sistemática ordenada y explícita de la literatura científica más reciente para indagar estos temas de estudio mediante un análisis crítico de investigaciones de evaluación aguda y crónica del estrés. De manera particular, la revisión se centró en la población masculina debido a que se trata de un grupo poco estudiado, en el cual el estrés se ha asociado con diversos problemas clínicos y sociales, como la agresividad, la violencia y las adicciones. Se presenta al final un resumen cualitativo de la evidencia científica y una discusión sobre el uso de estas técnicas como biomarcadores confiables, reafirmando así su importancia para evaluar el estrés en sus formas aguda o crónica, ya que respaldan los resultados obtenidos mediante los instrumentos psicométricos, lo que fortalece la evidencia de los efectos de las intervenciones empleadas para evaluar y atender este trastorno.

Palabras clave: EEG; Cortisol salival; Estrés; Revisión sistemática.

ABSTRACT

In order to identify the efficacy of both electroencephalographic recording and the evaluation of cortisol in saliva under stress, we conducted an orderly and explicit systematic review of the most recent scientific literature on these topics through critical analysis. We reviewed studies evaluating acute and chronic stress. This review focused on the male population because this is a scarcely studied group, and stress seems associated with various clinical and social problems such as aggression, violence, and addictions. We finally present a qualitative summary of the scientific evidence and a discussion on using these techniques as reliable biomarkers. Results reaffirm the importance of assessing stress in its acute or chronic form since they support results obtained by psychometric instruments. Results also support the evidence of the effects of interventions used to evaluate and treat this disorder.

Key words: EEG; Salivary cortisol; Stress; Systematic review.

¹ Laboratorio de Atención Plena Compasiva, Facultad de Psicología, Av. Universidad 3004, Col. Copilco Universidad, 04510 Coyoacán, Ciudad de México, México, correos electrónicos: emimers@gmail.com, sergioalmn3@gmail.com y moca99_99@yahoo.com.



Recibido: 06/07/2022

Aceptado: 11/09/2023

En las ciencias del comportamiento, la definición más clásica de estrés es aquella que lo considera como la “percepción de amenaza, con malestar resultante de ansiedad, tensión emocional y dificultad de adaptación” (Selye, 1976). Las personas sanas que no experimentan estrés manifiestan en su sistema nervioso central un equilibrio entre el sistema simpático y parasimpático, y la exposición a situaciones amenazantes induce una respuesta de lucha o huida mediante la cual se activan los sistemas emocionales y de vigilancia. Aunque la mayor parte del estrés actual proviene de factores psicosociales que no son potencialmente mortales, la respuesta de lucha o huida aún se genera. Por esta razón, los estudios sobre los patrones de actividad cerebral en condiciones estresantes se han centrado en el estrés causado por las palabras, los exámenes, el ruido y las tareas mentales.

Además de provocar perturbaciones en el sistema nervioso central, el estrés tiene efectos en los sistemas endocrino e inmune, y altera la percepción de los problemas diarios al vivírselos como más graves y difíciles de enfrentar y resolver (Selye, 1956; Folkman, 1984).

El uso de biomarcadores en la evaluación dota de respaldo objetivo a las investigaciones que implementan intervenciones para modularlo o reducirlo (Gómez y Escobar, 2006).

La investigación sobre el estrés es un área que emerge rápidamente en el campo del procesamiento de señales de electroencefalografía. Los estudios con electroencefalograma (EEG), evalúan la suma de la actividad postsináptica en los niveles corticales expresada como actividad eléctrica, la cual se registra mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo (Buzsáki *et al.* 2012), lo que permite determinar los distintos estados funcionales (Estévez, 1995) y la obtención de datos objetivos asociados a estados psicológicos particulares.

Al estudiar el estrés con el EEG se ha propuesto a la banda alfa generada en la corteza prefrontal como un marcador de aquél (Saeed *et al.*, 2020). En esta misma línea, Reznik y Allen (2017), en una

revisión sobre la actividad alfa y su relación con el estrés, concluyen que existe una dominancia de la corteza prefrontal (CPF) derecha en situaciones o periodos en los que el estrés es elevado, también llamados “periodos de estrés ambiental”. Dichos autores describen un incremento en la actividad de la banda alfa en la corteza frontal izquierda respecto de la corteza derecha cuando el estrés es agudo, y concluyen que la asimetría en la actividad de la banda alfa en la CPF es un reflejo de las emociones experimentadas; es decir, a mayor asimetría, más estrés.

Por su parte, Perrin *et al.* (2019) encontraron que durante los periodos de bajo estrés la actividad EEG está dominada por las bandas lentas (delta y theta), lo cual se ha asociado con una escasa activación cerebral, un pobre desempeño mental y un nivel de alerta bajo y somnolencia. Además, describen que el estrés moderado está relacionado con una actividad cortical igualmente moderada y un estado de alerta relajado dominado por ondas alfa. Tal conclusión la basaron en el modelo de Sapolsky (2015) de la “U” invertida sobre el estrés, la actividad cortical y el desempeño cognitivo. El estado de estrés óptimo se caracteriza por tener una dominancia de bandas beta y gama, con un estado de alerta perfecto para el desarrollo de actividades mentales. Sin embargo, cuando el estrés es elevado se considera que hay una sobreesestimulación mental, por lo que el EEG mostrará una mezcla de frecuencias altas y bajas, con lo que, en consecuencia, el desempeño en actividades cognitivas será pobre.

Por otro lado, la respuesta fisiológica que la excesiva demanda del ambiente genera en el organismo involucra la liberación de diversas sustancias que facilitan el afrontamiento a dichas demandas, entre las que se encuentra el cortisol, cuya liberación forma parte de la llamada “reacción al estrés” que aumenta el estado de alerta, la vigilancia, la atención enfocada y el procesamiento cognitivo, todo lo cual hace posible una respuesta adaptativa (Permuy, 2011).

Esta reacción está mediada por el eje hipotálamo-pituitario-suprarrenal, que es una vía reguladora clave en el mantenimiento del proceso de homeostasis en los organismos (Russell y Lightman, 2019). La reacción inicia cuando el núcleo

paraventricular del hipotálamo libera la neurohormona corticoliberina (CRH) a la adenohipófisis, lo que estimula la liberación de la hormona adrenocorticotropina (ACTH) al torrente sanguíneo y activa la producción de glucocorticoides, incluido el cortisol, en la corteza suprarrenal (Permuy, 2011). En los seres humanos, este eje muestra un patrón de activación circadiano relacionado con los periodos de sueño-vigilia, de modo que el nivel máximo de cortisol se observa durante las primeras horas del día, registrándose un nivel alto de cortisol matutino, lo que anticipa las necesidades de activación del cuerpo, seguido de una disminución diurna constante hasta alcanzar niveles mínimos en la noche (Russell y Lightman, 2019).

El incremento máximo de esta hormona se puede medir en la saliva entre 15 y 30 minutos después de un suceso estresante, el cual disminuye paulatinamente hasta sus niveles previos entre 60 y 90 minutos más tarde (De Kloet *et al.*, 2005). Cuando esta respuesta se prolonga en el tiempo, se produce una sobrecarga en el organismo que conduce a una amplia gama de síntomas y estados de enfermedad, como ciertos trastornos de salud mental, enfermedades cardiovasculares, obesidad, síndrome metabólico e incremento de la susceptibilidad a infecciones, entre otros (Russell y Lightman, 2019).

Por esta razón, el cortisol en saliva es un biomarcador muy frecuentemente utilizado en la evaluación del estrés psicológico en virtud de que

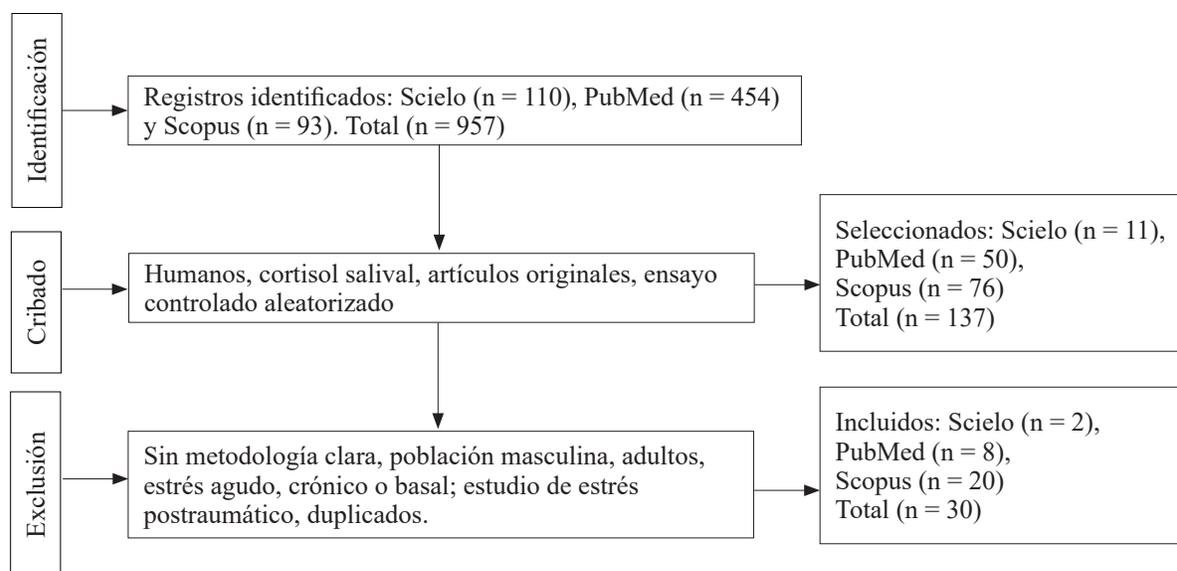
ha mostrado ser uno de los mejores marcadores, convirtiéndose así en una excelente opción debido a que su recolección no es invasiva (Giacomello *et al.*, 2020).

MÉTODO

Se realizó una revisión de los estudios llevados a cabo durante el periodo comprendido entre los años 2015-2021, para lo cual se efectuó una búsqueda en las bases de datos de Scielo, PubMed y Scopus, utilizando para ello los siguientes filtros: año de publicación, población que incluyera seres humanos adultos varones, y en idiomas español o inglés. Dicha búsqueda se dividió en dos temas: “estrés y cortisol” y “estrés y EEG”.

En el primer caso, se buscaron estudios que hubieran evaluado el cortisol salival en relación con el estrés. Se utilizaron los siguientes filtros: *Randomized Controlled Trial, Neuroscience, Psychology, Social Sciences, Health Professions, Medicine, Article* y la combinación de palabras clave en el título y en el resumen de *Cortisol AND Stress*. Esta búsqueda arrojó 957 artículos, de los que se seleccionaron 30. El proceso de selección se muestra en la Figura 1. De estos 30 artículos, 24 evaluaron la actividad del cortisol ante condiciones de estrés agudo. Los otros 6 midieron los niveles basales de estrés y de cortisol.

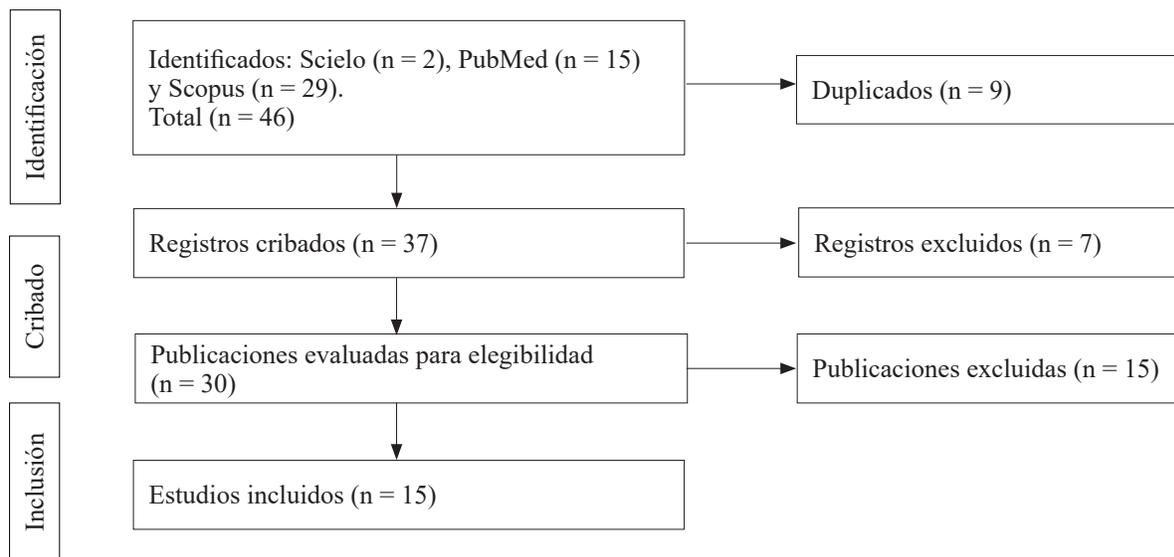
Figura 1. Proceso para la selección de artículos que relacionan cortisol salival y estrés (Page *et al.*, 2020).



Para el segundo caso, se hizo la búsqueda a fin de determinar la efectividad del uso de los registros de EEG para evaluar estrés percibido, agudo o crónico. Se utilizó la combinación de palabras clave y operadores booleanos en el título y títu-

lo-resumen de *EEG AND stress*. Los resultados de tal búsqueda arrojaron un total de 46 registros. En la Figura 2 se puede observar el proceso de selección de quince artículos.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de selección de los estudios (Page *et al.*, 2020).



RESULTADOS

Para facilitar la lectura de los hallazgos recabados en esta revisión, éstos se resumieron en las siguientes tablas: artículos que estudiaron estrés agudo y

cortisol (Tabla 1), artículos que analizan estrés crónico y cortisol (Tabla 2) y aquellos que relacionaron el estudio del estrés con el electroencefalograma (Tabla 3).

Tabla 1. Datos de los artículos revisados sobre estrés agudo y cortisol.

Autores	Título	Estrés	Cortisol	Muestra	Resultados generales
Bachmann <i>et al.</i> (2019)	<i>Test-retest reproducibility of a combined physical and cognitive stressor.</i>	Cold pressor test y Paced Auditory Serial Addition Task.	Vespertino	Varones entre 19 y 31 años.	Reactividad al cortisol más alta en la primera prueba que en la exposición al estrés. Se sugieren efectos de aprendizaje.
Bedini <i>et al.</i> (2017)	<i>Stress and salivary cortisol in emergency medical dispatchers: A randomized shifts control trial.</i>	Atención de llamadas de emergencia de vida o muerte.	Vespertino	Ambos sexos, media 36.4 años.	Niveles de cortisol mayores en los participantes hombres con llamadas de emergencia.
Black <i>et al.</i> (2017)	<i>Mindfulness practice reduces cortisol blunting during chemotherapy: A randomized controlled study of colorectal cancer patients.</i>	Sesión de quimioterapia.	Vespertino	Ambos sexos, entre 18 y 89 años.	Aumentó la reactividad del cortisol en el grupo de atención plena posterior a una sesión de quimioterapia en comparación con los controles.

Continúa...

Autores	Título	Estrés	Cortisol	Muestra	Resultados generales
Bluth <i>et al.</i> (2016)	<i>Does self-compassion protect adolescents from stress?</i>	Trier Social Stress Test (TSST).	No especificado	Ambos sexos, entre 13 y 18 años.	Alta autocompasión relacionada con mayor bienestar emocional y menor respuesta de estrés fisiológico.
Cutler <i>et al.</i> (2017)	<i>Blunted stress reactivity in chronic cannabis users.</i>	Maastricht Acute Stress Test (MAST).	No especificado	Ambos sexos, entre 20 y 64 años.	Los consumidores de cannabis demostraron una respuesta al estrés mitigada.
Ditzen <i>et al.</i> (2019)	<i>Intimacy as related to cortisol reactivity and recovery in couples undergoing psychosocial stress.</i>	Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Ambos sexos, edad media mujeres: 26.3, varones: 28.4 años.	La intimidad redujo las respuestas del cortisol al estrés en las mujeres, excepto si usan anticonceptivos orales, y aceleró la recuperación en los hombres.
Frenkel <i>et al.</i> (2019)	<i>Mindful Sensation Seeking: an examination of the protective influence of selected personality traits on risk sport-specific stress.</i>	Heidelberg Risk Sport-Specific Stress Test (HRSSST).	Vespertino	Varones, edad entre 18 y 31 años.	La atención plena no se correlacionó significativamente con los niveles de cortisol.
Guevara <i>et al.</i> (2019)	<i>Executive functioning and rumination as they relate to stress-induced cortisol curves.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	Matutino	Ambos sexos, entre 45 y 76 años.	La flexibilidad cognitiva se asoció con el AUC _g , mientras que la rumiación lo hizo con el AUC _i .
Hogue (2019)	<i>The protective impact of a mental skills training session and motivational priming on participants' psychophysiological responses to performance stress.</i>	Ego-involving instructional juggling.	Vespertino	Varones, edad media de 20-25 años.	La sesión de entrenamiento de habilidades mentales produjo respuestas más adaptativas al estrés.
Hogue (2020)	<i>Achievement goal theory-based psychological skills training session buffers youth athletes' psychophysiological responses to performance stress.</i>	Ego-involving instructional juggling.	Vespertino	Ambos sexos, edad media 16.08 años.	La intervención ayudó a amortiguar las respuestas de estrés desadaptativo de los atletas.
Jung <i>et al.</i> (2020)	<i>Internalized weight bias and cortisol reactivity to social stress.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Ambos sexos, edad entre 19 y 62 años.	Incremento en la secreción del cortisol en individuos con estigma de peso internalizado bajo; en aquellos con estigma medio o alto fue una respuesta atípica del cortisol.
Lin, Mas-sar <i>et al.</i> (2020)a	<i>Trait mindfulness moderates reactivity to social stress in an all-male sample.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Varones, edad entre 19 y 32 años.	Un rasgo alto de atención plena se asoció con menor estrés subjetivo y reactividad del cortisol al estrés.

Continúa...

Autores	Título	Estrés	Cortisol	Muestra	Resultados generales
Lin, Leung et al. (2020)b	<i>Individual differences under acute stress: Higher cortisol responders performs better on N-back task in young men.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Varones, edad media de 21.9, \pm 2.1 años.	El aumento de cortisol puede facilitar la memoria de trabajo bajo estrés psicosocial agudo.
Manigault et al. (2019)	<i>Cognitive behavioral therapy, mindfulness, and cortisol habituation: A randomized controlled trial</i>	Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Ambos sexos, entre 18 y 50 años.	Las intervenciones MBSR y CBT promueven una mayor habituación del eje HPA, pero no reducen la producción general de cortisol.
Mehrsafar et al. (2019)	<i>The effects of mindfulness training on competition-induced anxiety and salivary stress markers in elite Wushu athletes: A pilot study.</i>	Competencia deportiva.	Vespertino	Varones, edad media de 25.4 años.	El grupo MBI mostró una disminución en la ansiedad competitiva y en los niveles diarios de cortisol salival, así como una menor respuesta a la competencia.
Park et al. (2020)	<i>Changes in psychological anxiety and physiological stress hormones in Korea national shooters.</i>	Competencia deportiva.	No especificado	Ambos sexos, edad entre 22 y 27 años.	Se encontró una correlación positiva entre la puntuación BAI y la concentración de cortisol.
Pilatti et al. (2017)	<i>Efecto del estrés social agudo sobre impulsividad, toma de riesgos y sesgos atencionales en jóvenes con y sin historia familiar de abuso de alcohol.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	Matutino y vespertino	Ambos sexos, edad entre 18 y 30 años.	Los participantes expuestos al estrés tuvieron niveles más altos de cortisol en saliva y una percepción subjetiva de mayor malestar.
Roberts et al. (2019)	<i>A longitudinal examination of military veteran' invictus games stress experiences.</i>	Competencia deportiva.	Al levantarse y antes de dormir.	Ambos sexos, edad entre 24 y 51 años.	Relación negativa entre los niveles altos de cortisol y la conducta evitativa con el desempeño, el bienestar y la salud mental.
Singer et al. (2017)	<i>Acute psychosocial stress and everyday moral decision-making in young healthy men: The impact of cortisol.</i>	Trier Social Stress Test (TSST).	Vespertino	Varones, edad entre 18 y 28 años .	El grupo expuesto a TSST tomó decisiones más altruistas, lo que se relacionó positivamente con el nivel de cortisol.
Smeets et al. (2019)	<i>Stress-induced reliance on habitual behavior is moderated by cortisol reactivity.</i>	Maastricht Acute Stress Test (MAST).	Matutino	Ambos sexos, edad 21.5 y 23.02 años en cada estudio.	Los efectos interactivos de la reactividad del cortisol son clave para que el comportamiento sea más habitual y flexible, pero cognitivamente exigente.
Straup et al. (2019)	<i>I knew you'd understand: How gendered expectations of understanding affect stress.</i>	Debate con un entrevistador muy poco comprensivo.	Vespertino	Ambos sexos, edad entre 18 y 24 años.	La expectativa en la actitud del entrevistador, modulada por su sexo, influyó significativamente en la reactividad al cortisol.

Continúa...

Autores	Título	Estrés	Cortisol	Muestra	Resultados generales
Van Leeuwen <i>et al.</i> (2019)	<i>Reward-related striatal responses following stress in healthy individuals and patients with bipolar disorder.</i>	The Trier Social Stress Test (TSST).	No especificado	Varones, edad entre 38 y 44 años.	El estrés agudo aumentó los niveles de cortisol en ambos grupos. Las respuestas del estriado ventral a la recompensa aumentaron en los sujetos sanos durante la recuperación del estrés.
Vargas <i>et al.</i> (2020)	<i>Negative cognitive style and cortisol reactivity to a laboratory stressor: a preliminary study.</i>	Trier Social Stress Test (TSST).	Matutino	Ambos sexos, edad media 23.1 años.	Relación positiva entre el estilo cognitivo negativo y la respuesta de cortisol al TSST sólo en hombres. En mujeres se observaron respuestas de cortisol menores que en hombres.
Zhu <i>et al.</i> (2020)	<i>Endogenous cortisol-related alterations of right anterior insula functional connectivity under acute stress.</i>	Video aversivo con descargas eléctricas aleatorias.	Vespertino	Varones, edad media 26.05 años.	Se sugiere un vínculo estrecho entre las alteraciones específicas de la conectividad funcional del rAI y la reactividad individual al estrés.

Tabla 2. Datos de los artículos revisados sobre estrés basal y cortisol.

Autores	Título	Cortisol	Muestra	Resultados generales
Blase <i>et al.</i> (2019)	<i>Heart rate variability, cortisol and attention focus during Shamatha Quiescence Meditation.</i>	Vespertino	No especificada.	La meditación Samatha se asoció con una disminución en los niveles de cortisol y con un incremento en la atención sostenida.
Brinkmann <i>et al.</i> (2020)	<i>Comparing effectiveness of HRV-biofeedback and mindfulness for workplace stress reduction: a randomized controlled trial.</i>	Matutino	Ambos sexos, edad media: 43.27 años.	Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de intervención.
Knatauskaitė <i>et al.</i> (2021)	<i>A randomized controlled trial on the influence of two types of exercise training vs control on visuospatial processing and mathematical skills: The role of cortisol.</i>	Vespertino	Ambos sexos de 12 a 15 años. Estudiantes.	El entrenamiento con ejercicios coordinativos logró mejores resultados en la precisión del rendimiento del procesamiento visoespacial.
Kornienko <i>et al.</i> (2020)	<i>Loneliness and cortisol are associated with social network regulation.</i>	Vespertino	Ambos sexos de 18 a 30 años. Estudiantes.	El cortisol modera significativamente la preferencia por amigos con un nivel similar de soledad.
Oken (2017)	<i>Meditation in stressed older adults: improvements in self-rated mental health not paralleled by improvement in cognitive function or physiological measures.</i>	Matutino y vespertino	Ambos sexos de 50 a 85 años.	No hubo diferencias grupales en el cortisol salival ni en la variabilidad de la frecuencia cardíaca.
Tavares <i>et al.</i> (2017)	<i>Relación entre las dimensiones del estrés psicosocial y el cortisol en la saliva de policías militares.</i>	Matutino y nocturno	Varones de 18 a 65 años. Policías militares.	El cortisol al despertar se relacionó negativamente con la carga horaria semanal de trabajo.

Tabla 3. Datos de los artículos revisados sobre estrés y electroencefalograma.

Autores y año	Título	Muestra	Evaluación del estrés	Resultados generales
Merino, M., Gómez, I. <i>et al.</i> , 2015	<i>EEG feature variations under stress situations.</i>	Ambos sexos, 26 a 56 años.	Tareas de memoria y aritmética, añadiendo retroalimentación negativa. Cuestionario estándar STAI.	Existe un efecto en el EEG cuando la prueba de estrés agudo dura más de 4 min. Se registraron variaciones mayores en las bandas theta y alfa en la zonas central y frontal.
Singh, Y. y Sharma, R., 2015.	<i>Individual alpha frequency (IAF) based quantitative EEG correlates of psychological</i>	Varones, 18 a 30 años.	Juego de computadora. Cambios en la respuesta galvánica de la piel y frecuencia cardíaca.	Se registraron aumentos en la potencia absoluta de theta, alfa y gamma inferiores, y una potencia reducida en las bandas alfa y beta superiores asociadas a los cambios en el estrés.
Al-Shargie, F. <i>et al.</i> , 2016.	<i>Mental stress assessment using simultaneous measurement of EEG and fNIRS.</i>	Varones, 18 a 24 años.	Tarea aritmética mental. Método de análisis de máquina de vectores de soporte. Nivel de alfa amilasa salival con un medidor de COCORO	Incrementos en alfa y decrementos en beta en corteza central prefrontal durante la condición estresante. Señales analizadas junto con otros indicadores: concentración de hemoglobina oxigenada (3.4% más exactitud que EEG sólo), y espectroscopía funcional de infrarrojo cercano (11% más exactitud que EEG sólo).
Al-Shargie, T. <i>et al.</i> , 2017a	<i>Towards multilevel mental stress assessment using SVM with ECOC: an EEG approach.</i>	Varones, 20 a 24 años.	Tarea aritmética mental con tres niveles de dificultad. Prueba NASA-TLX.	Reducción de ritmo alfa conforme hubo incremento en la dificultad de la prueba. La corteza prefrontal derecha se identificó como indicador de diferentes niveles de estrés.
Al-Shargie, F. <i>et al.</i> , 2017b	<i>Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: an fNIRS-EEG study.</i>	Varones 19 a 25 años.	Tarea de aritmética. Correlación canónica entre los datos de EEG, espectroscopia funcional del infrarrojo cercano y el nivel de alfa amilasa salival.	En la corteza prefrontal ventrolateral derecha se observaron decrementos en las ondas alfa, así como incrementos en niveles de alfa amilasa.
Schlink, B. R. <i>et al.</i> , 2017.	<i>Independent component analysis and source localization on mobile EEG data can identify increased levels of acute stress.</i>	Varones, 19 a 30 años.	Interacción con un rifle de aire. Respuesta de la conductividad de la piel y niveles de cortisol salival.	Menos de un segundo después de afrontar el rifle de aire se registraron disminuciones significativas en la potencia espectral en las bandas theta y alfa de la corteza prefrontal dorsolateral.
Lotfan, S. <i>et al.</i> , 2019.	<i>Support vector machine classification of brain states exposed to social stress test using EEG-based brain network measures.</i>	Varones, 18 a 28 años.	Tareas de aritmética mental y registro de línea base con ojos abiertos y cerrados.	Se identificaron las bandas alfa y beta como ideales para clasificar el estrés agudo cuando se analizan utilizando la técnica de máquinas de vectores de soporte.
Saeed, S.M. U. <i>et al.</i> , 2018.	<i>Selection of neural oscillatory features for human stress classification with single channel EEG headset.</i>	Ambos sexos, 21 a 34 años.	Estrés crónico. Registro basal. Cuestionario PSS-10.	Las subbandas beta inferior y superior y gamma inferior muestran mayor precisión para clasificar el estrés, cuando se analiza con el algoritmo máquina de vectores de soporte.

Continúa...

Autores y año	Título	Muestra	Evaluación del estrés	Resultados generales
Arsalan, A. et al., 2019.	<i>Classification of perceived mental stress using a commercially available EEG headband.</i>	Ambos sexos, 18 a 40 años.	Prueba oral con público. Cuestionario PSS-10.	Precisión de clasificación del estrés de 92.85% al analizar densidad espectral de potencia, correlación, asimetría diferencial y racional, así como espectro de potencia de la banda theta con el algoritmo perceptrón multicapa.
Asif, A. et al., 2019.	<i>Human stress classification using EEG signals in response to music tracks.</i>	Ambos sexos, 20 a 35 años.	Escuchar canciones. Prueba de ansiedad de estado y de rasgo. Banda MUSE.	El método de regresión logística presentó una precisión de 98.76% para identificar el estrés al analizar potencia absoluta y relativa, coherencia, fase de onda y asimetría en la amplitud de las señales de EEG.
Woo Ahn, J. et al., 2019	<i>A novel wearable EEG and ECG recording system.</i>	Varones Registro: 26 a 32 años. Experimento: 26 a 33 años.	Prueba de color de Stroop y aritmética mental. Banda MUSE.	Incremento en la amplitud de la banda alfa en dos canales, demostrando la fiabilidad de la banda MUSE. El modelo EEG-HRV (Heart Rate Variability) es preciso para clasificar el estrés diario (>95%).
Chang, H.-Y. et al., 2020.	<i>Stress-induced effects in resting EEG spectra predict the performance of SSVEP-based BCI.</i>	Ambos sexos, 21 a 26 años.	Tarea de juego en computadora. Correlación canónica.	En condiciones de alto estrés hubo un incremento en la potencia de las bandas alfa y theta en las regiones occipital y frontal, así como una amplitud espectral más notoria.
Gupta, R. et al., 2020.	<i>Modified support vector machine for detecting stress level using EEG signals.</i>	Ambos sexos, 22 a 46 años.	Categorización y reconocimiento de animales.	El método máquina de vectores de soporte es una estrategia precisa para clasificar el estrés agudo en cuatro niveles.
Imperator et al., 2020.	<i>Neuropsychological correlates of religious coping to stress: a preliminary EEG power spectra investigation.</i>	Ambos sexos, 20 a 25 años.	Escala breve COPE de estilos de afrontamiento: Registro basal.	El afrontamiento al estrés basado en la religión se asocia con niveles bajos de estrés, así como la potencia de la banda theta en el hemisferio derecho, en lóbulos temporal y frontal inferior.
Saeed, S.M. et al., 2020.	<i>EEG based classification of long-term stress using psychological labeling.</i>	Ambos sexos, 18 a 30 años.	Estrés crónico. Registro basal.	Exactitud de 85.2% del algoritmo máquina de vectores de soporte junto con la regresión logística cuando se aplican a la asimetría en la banda alfa.

DISCUSIÓN

Los principales hallazgos de este estudio permiten apreciar la importancia de utilizar más de un biomarcador en las investigaciones dirigidas a evaluar el estrés y en las encaminadas a evidenciar el efecto de diversos tratamientos para atender este padecimiento. La utilización de más de un marcador fisiológico ayuda a disminuir el sesgo de las mediciones y, al utilizarlas de manera conjunta con pruebas psicométricas, será posible obtener un en-

tendimiento más completo del estado psicológico de los participantes.

EEG y estrés

Los métodos de análisis de señales de EEG en la evaluación del estrés psicológico muestran diferencias importantes en los hallazgos de las investigaciones. Las variaciones en los resultados podrían deberse a varios factores, incluida la falta de un protocolo estandarizado, la región cerebral

bajo estudio, el tipo de factor estresante, la duración del experimento o el método utilizado para el procesamiento de las señales de EEG y de los datos.

La reciente investigación neurofisiológica de las emociones se ha centrado en el estudio de la actividad hemisférica; por ejemplo, se ha descrito que el hemisferio izquierdo parece estar más involucrado en el procesamiento de emociones positivas, mientras que el derecho se asocia con emociones negativas (Coan y Allen, 2004; Davidson, 2004). Asimismo, se ha visto que los estados de ánimo y las reacciones positivas se asocian con una mayor actividad prefrontal izquierda (LFA). Por su lado, los estados de ánimo y reacciones negativas se relacionan con una mayor actividad prefrontal derecha (RFA) (Davidson *et al.*, 2000). En este orden de ideas, se ha descrito que la corteza prefrontal derecha está críticamente involucrada en la respuesta al estrés, al afecto negativo y a un sistema inmunológico debilitado (Bierhaus *et al.*, 2003; Epel *et al.*, 2004).

De acuerdo con lo hallado en esta revisión, el EEG es un indicador de estrés que puede contribuir al desarrollo de evaluaciones cada vez más precisas, lo que hará posible identificar cambios evocados mediante pruebas estresantes o aquellos patrones asociados al estrés crónico. En algunos de los artículos revisados los registros electroencefalográficos se ven confirmados mediante otro tipo de herramientas, como las pruebas psicométricas, y evaluaciones fisiológicas tales como la frecuencia cardíaca, la respuesta galvánica de la piel, el nivel de cortisol o de alfa amilasa o las neuroimágenes.

En cuanto a las regiones corticales y las bandas de la señal de EEG, los resultados de los artículos apuntan a que en la corteza prefrontal los ritmos alfa (Al-Shargie *et al.*, 2016; Al-Shargie *et al.*, 2017a; Al-Shargie *et al.*, 2017b) y theta (Schlink *et al.*, 2017) son sensibles al estrés de los participantes, sin que se reporten las modificaciones o las características de tales señales. Otros de los estudios incluidos en la revisión tenían como objetivo hallar métodos novedosos para el análisis de datos, como el método de vectores de soporte (Lotfan *et al.*, 2019; Saeed *et al.*, 2020) o de captura de la señal bioeléctrica, como la banda MUSE (Saeed

et al., 2018). Se encontró que ambos métodos de análisis son efectivos para correlacionar las bandas alfa y beta con el estrés, aunque no se reportan las modificaciones encontradas en el EEG.

En otros estudios se encontraron reportes de las bandas alfa y theta en las regiones occipital y frontal (Chang *et al.*, 2020), así como cambios relacionados con el estrés en las circunvoluciones temporal superior, media y frontal inferior, estudio este último que utilizó EEG de alta precisión (Imperatori *et al.*, 2020). En estos reportes resalta la necesidad de describir de un modo más preciso las zonas corticales y las bandas en las que se observan cambios relacionados con el estrés para lograr así un mejor análisis del funcionamiento de estas áreas cerebrales y su relación con el estrés.

Las variaciones en la metodología –como en el tipo de prueba estresante, el dispositivo EEG utilizado, el lugar del experimento, las características de los participantes, la hora del día, entre otras– pueden haber influido en los resultados obtenidos por los distintos investigadores. De igual manera, la varianza encontrada en los estudios se puede asociar a las cualidades analizadas de las señales registradas, como su densidad, el espectro de potencia, la asimetría y sus correlaciones con el tipo de estrés evaluado.

Una herramienta para identificar los patrones del estrés en el EEG que destacó esta revisión fue el método de vectores de soporte (SVM), el cual consiste en una serie de técnicas computacionales supervisadas para resolver tareas de clasificación (Grupta *et al.*, 2020; Lotfan *et al.*, 2019; Saeed *et al.*, 2018; Saeed *et al.*, 2020; Spinetti *et al.*, 2009).

En otro orden de ideas, en esta revisión se consideraron los países en que se efectuaron los estudios, como Malasia, India, Taiwán, Estados Unidos, Corea del Sur, Italia, España y Pakistán. Se advirtió que un número reducido de investigadores está enfocado en el estudio del estrés con el EEG, pues algunos de los reportes incluidos fueron hechos por los mismos autores. También llama la atención que en América Latina hay una escasa producción de este tipo de investigaciones, lo que implica que hay un terreno fértil para el estudio del estrés en esta región del mundo.

Cortisol y estrés

Los artículos incluidos en esta revisión confirmaron la utilidad de evaluar las fluctuaciones en los niveles de cortisol salival a manera de biomarcador de estrés, lo que concuerda con las conclusiones de Giacomello *et al.* (2020).

Según el metaanálisis hecho por Cropley *et al.* (2015), es importante considerar la hora del día en que se toma la muestra salival, toda vez que el estrés crónico está asociado a una disminución de la respuesta del cortisol al despertar (CAR), pero con niveles altos al atardecer (Miller *et al.*, 2007), siendo además el cortisol vespertino muy reactivo a factores externos demandantes o a actividades reconstituyentes, como la relajación. Debido a lo anterior, destaca el hallazgo de esta revisión al advertir que en los estudios analizados se reportaron distintos momentos de medición del cortisol en saliva, no obstante lo cual se encontraron resultados óptimos.

Entre los factores estimuladores de la reactividad del cortisol al estrés se encuentran las expectativas sobre lo que sucederá durante un evento estresante (Straup *et al.*, 2019), el sexo (pues la reactividad del cortisol es mayor en los hombres que en mujeres [Bedini *et al.*, 2017; Guevara y Murdock, 2019; Manigault *et al.*, 2019; Vargas *et al.*, 2020], tener un trabajo profesional demandante (Bedini *et al.*, 2017; Tavares *et al.*, 2017), el estado de salud y el peso corporal (Tavares *et al.*, 2017). Por el contrario, se señalan como amortiguadores los procesos de habituación y el desarrollo de estrategias individuales ante las condiciones estresantes (Bachmann *et al.*, 2019), tener una mentalidad orientada a objetivos, una actitud positiva ante los retos (Hogue, 2019, 2020), rasgos de personalidad de búsqueda de sensaciones (Frenkel *et al.*, 2019), intimidad con la pareja (Ditzen *et al.*, 2019) o consumo de sustancias como *cannabis* (Cuttler *et al.*, 2017).

Otro hallazgo de la presente revisión fue la concordancia en los resultados reportados por Singer *et al.* (2017), Smeets *et al.* (2019) y Lin *et al.* (2020), quienes afirman que cuando la respuesta de estrés es adaptativa, se promueve la toma de decisiones y el estado de alerta y se estimula el funcionamiento cognitivo (Russell y Lightman, 2019).

Además, la correlación negativa entre los niveles elevados de cortisol y el bienestar, la salud mental y el desempeño, reportada por Pilatti *et al.* (2017) y por Roberts *et al.* (2019), confirma lo descrito por Sapolsky (2015), quien señaló que cuando el estrés es prolongado se genera una serie de efectos cognitivos negativos.

En relación con los estudios que abordan los tratamientos psicológicos para el estrés, se encontró que la atención plena (*mindfulness*) es efectiva para reducir los periodos de recuperación posteriores al estrés (Manigault *et al.*, 2019) y en los participantes con niveles basales más altos (Brinkmann *et al.*, 2020) al disminuir también los niveles de cortisol diurno (Blase *et al.*, 2019), contribuyendo incluso a la regulación de los perfiles neuroendocrinos (Black *et al.*, 2017).

La falta de resultados favorables en los estudios que emplearon una intervención basada en la atención plena se puede deber a diversos factores, tales como la utilización de un estresor poco efectivo (Frenkel *et al.*, 2019), una intervención demasiado breve (Oken *et al.*, 2017), la falta de componentes fundamentales en la terapia, como la autocompasión (Bluth *et al.*, 2016) o la flexibilidad cognitiva (Guevara y Murdock, 2019), que han demostrado ser componentes básicos de este tipo de tratamientos ya que amortiguan la respuesta de estrés.

Una limitante del presente trabajo recae en que la búsqueda se llevó a cabo en sólo tres bases de datos digitales, lo cual pudo haber limitado el número de artículos incluidos.

CONCLUSIÓN

Finalmente, tras esta revisión se puede concluir que el EEG es un biomarcador útil para obtener con las pruebas psicométricas.

En esta revisión sistemática de la literatura se encontró que ambos biomarcadores son muy eficaces como parámetros confiables para evaluar el estrés. De manera específica, el cortisol en saliva es un marcador sencillo de utilizar. Se recomienda su recolección en el horario matutino cuando se trate de evaluar el estrés crónico, mientras que una recolección vespertina es idónea cuando se busca

evaluar su reactividad en el estrés agudo. Sin embargo, es necesario considerar a aquellos agentes que moderan la reactividad de dicha hormona en los diseños experimentales.

El estrés en periodos de tiempo cortos y con una reactividad fisiológica controlada puede tener efectos positivos en el individuo; no obstante, su prolongación puede generar estragos en su salud. Por tal motivo, es importante estudiar aquellas variables que pudieran aumentar o mitigar los niveles de estrés.

De acuerdo con la literatura científica revisada, se halló que las terapias psicológicas basadas en la atención plena son las que tienen la mayor efectividad para prevenir y controlar los efectos negativos del estrés (Bluth *et al.*, 2016; Frenkel

et al., 2019; Oken *et al.*, 2017); sin embargo, es necesario investigar más tales intervenciones, sin dejar de lado sus fundamentos filosóficos, que incluyen factores sumamente significativos, como la compasión (Moreno, 2019).

Se propone que en futuros estudios que busquen evaluar el estrés psicológico será de mucha utilidad incluir ambos marcadores fisiológicos: el cortisol salival y el estudio de electroencefalografía, para así disponer de datos fisiológicos que puedan contraponerse, ayudando a los investigadores a lograr conclusiones más detalladas. Además, cuando se busque evaluar intervenciones dirigidas a atender el estrés, ya sea agudo o crónico, el uso de estos dos biomarcadores fortalecerá los resultados al correlacionarse con las pruebas psicométricas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento para la realización del artículo al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) mediante el proyecto IN301220: “Efecto de la práctica de atención plena compasiva sobre el estrés en hombres mexicanos: evaluación longitudinal de la actividad EEG y nivel de cortisol”. El autor con CVU 45701 y clave 2019-000037-02NACF agradece igualmente al Conahcyt por el financiamiento a este trabajo.

Citación: Martínez-Pelayo, M., Vázquez-Pelayo, E., Díaz-Medina, S. y Moreno-Coutiño, A.B. (2024). El registro electroencefalográfico y el cortisol salival en el estudio del estrés: una revisión sistemática. *Psicología y Salud*, 34(2), 301-315. <https://doi.org/10.25009/pys.v34i2.2910>

REFERENCIAS

- Al-Shargie, F., Kiguchi, M., Badruddin, N., Dass, S.C., Hani, A.F.M. y Tang, T.B. (2016). Mental stress assessment using simultaneous measurement of EEG and fNIRS. *Biomedical Optics Express*, 7(10), 3882-3898. Doi: 101364/BOE7003882
- Al-Shargie, F., Tang, T.B., Badruddin, N. y Kiguchi, M. (2017a). Towards multilevel mental stress assessment using SVM with ECOC: an EEG approach. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 56(1), 125-136. Doi: 101007/s11517-017-1733-8
- Al-Shargie, F., Tang, T.B. y Kiguchi, M. (2017b). Assessment of mental stress effects on prefrontal cortical activities using canonical correlation analysis: an fNIRS-EEG study. *Biomedical Optics Express*, 8(5), 2583-2598. Doi: 101364/BOE8002583
- Arsalan, A., Majid, M., Butt, A.R. y Anwar, S.M. (2019). Classification of perceived mental stress using a commercially available EEG headband. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 23(6), 2257-2264. Doi: 101109/JBHI20192926407
- Asif, A., Majid, M. y Anwar, S.M. (2019). Human stress classification using EEG signals in response to music tracks. *Computers in Biology and Medicine*, 107, 182-196. Doi: 101016/j.combiomed201902015
- Bachmann, P., Finke, J.B., Rebeck, D., Zhang, X., Larra, M. F., Koch, K.P. y Schächinger, H. (2019). Test-retest reproducibility of a combined physical and cognitive stressor. *Biological Psychology*, 148, 107729.
- Bedini, S., Braun, F., Weibel, L., Aussedat, M., Pereira, B. y Dutheil, F. (2017). Stress and salivary cortisol in emergency medical dispatchers: A randomized shifts control trial. *Plos One*, 12(5), e0177094.
- Bierhaus, A., Wolf, J., Andrassy, M., Rohleder, N., Humpert, P.M., Petrov, D., ... y Nawroth, P.P. (2003). A mechanism converting psychosocial stress into mononuclear cell activation. *Proceedings of the National Academy of Science (USA)*, 100(4), 1920-1925. Doi: 101073/pnas0438019100

- Black, D.S., Peng, C., Sleight, A.G., Nguyen, N., Lenz, H.J. y Figueiredo, J.C. (2017). Mindfulness practice reduces cortisol blunting during chemotherapy: A randomized controlled study of colorectal cancer patients. *Cancer*, 123(16), 3088-3096.
- Blase, K.L. y van Waning, A. (2019). Heart rate variability, cortisol and attention focus during Shamatha quiescence meditation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(4), 331-342.
- Bluth, K., Roberson, P.N., Gaylord, S.A., Faurot, K.R., Grewen, K.M., Arzon, S. y Girdler, S.S. (2016). Does self-compassion protect adolescents from stress? *Journal of Child and Family Studies*, 25(4), 1098-1109.
- Brinkmann, A.E. Press, S.A., Helmert, E., Hautzinger, M., Khazan, I. y Vagedes, J. (2020). Comparing effectiveness of HRV-biofeedback and mindfulness for workplace stress reduction: a randomized controlled trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 45(4), 307-322.
- Buzsáki, G., Anastassiou, C.A. y Koch, C. (2012). The origin of extracellular fields and currents: EEG, ECoG, LFP and spikes. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(6), 407-420. Doi: 101038/nrn3241
- Chang, H.-Y., Stevenson, C.E., Jung, T.P. y Ko, L.W. (2020). Stress-induced effects in resting EEG spectra predict the performance of sSVEP-based BCI. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(8), 1771-1780. Doi: 101016/jcombiomed201902015
- Coan, J.A. y Allen, J.J. (2004). Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology*, 67(1-2), 7-50. Doi: 101016/jbiopsycho200403002
- Cropley, M., Rydstedt, L.W., Devereux, J.J. y Middleton, B. (2015). The relationship between work-related rumination and evening and morning salivary cortisol secretion. *Stress and Health*, 31(2), 150-157.
- Cuttler, C., Spradlin, A., Nusbaum, A.T., Whitney, P., Hinson, J.M. y McLaughlin, R.J. (2017). Blunted stress reactivity in chronic cannabis users. *Psychopharmacology*, 234(15), 2299-2309.
- Davidson, R.J. (2004). What does the prefrontal cortex “do” in affect: perspectives on frontal EEG asymmetry research. *Biological Psychology*, 67(1-2), 219-234. Doi: 101016/jbiopsycho200403008
- Davidson, R.J., Jackson, D.C. y Kalin, N.H. (2000). Emotion, plasticity, context, and regulation: perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin*, 126(6), 890. Doi: 101037/0033-29091266890
- De Kloet, E.R., Joëls, M. y Holsboer, F. (2005). Stress and the brain: from adaptation to disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 463-475.
- Ditzen, B., Germann, J., Meuwly, N., Bradbury, T.N., Bodenmann, G. y Heinrichs, M. (2019). Intimacy as related to cortisol reactivity and recovery in couples undergoing psychosocial stress. *Psychosomatic Medicine*, 81(1), 16-25.
- Epel, E.S., Blackburn, E.H., Lin, J., Dhabhar, F.S., Adler, N.E., Morrow, J.D. y Cawthon, R.M. (2004). Accelerated telomere shortening in response to life stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 101(49), 17312-17315. Doi: 101073/pnas040716210
- Estévez B., M. (1995). *Enfoque sistémico del estrés*. La Habana: C.J. Finlay. Doi: 10.13140/RG2110359522
- Folkman, S. (1984). Personal control and stress and coping processes: a theoretical analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46(4), 839-852.
- Frenkel, M.O., Brokelmann, J., Nieuwenhuys, A., Heck, R.B., Kasperk, C., Stoffel, M. y Plessner, H. (2019). Mindful sensation seeking: an examination of the protective influence of selected personality traits on risk sport-specific stress. *Frontiers in Psychology*, 10, 1719.
- Giacomello, G., Scholten, A. y Parr, M.K. (2020). Current methods for stress marker detection in saliva. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 191, 113604
- Gómez G., B. y Escobar, A. (2006). Estrés y sistema inmune. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 7(1), 30-38.
- Guevara J., E. y Murdock, K.W. (2019). Executive functioning and rumination as they relate to stress-induced cortisol curves. *Journal of Behavioral Medicine*, 43(5), 829-838. Doi: 10.1007/s10865-019-00119-z.
- Gupta, R., Alam, M.A. y Agarwal, P. (2020). Modified support vector machine for detecting stress level using EEG signals. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1-14. Doi: 10.1155/2020/8860841
- Hogue, C.M. (2019). The protective impact of a mental skills training session and motivational priming on participants' psychophysiological responses to performance stress. *Psychology of Sport and Exercise*, 45, november. Doi: 10.1016/j.psychsport.2019.101574
- Hogue, C.M. (2020). Achievement goal theory-based psychological skills training session buffers youth athletes' psychophysiological responses to performance stress. *Psychology of Sport and Exercise*, 51, 101792
- Imperatori, C., Bersani, F.S., Massullo, C., Carbone, G.A., Salvati, A., Mazzi, G., Cicerale, G., Carrara, A. y Farina, B. (2020). Neurophysiological correlates of religious coping to stress: a preliminary EEG power spectra investigation. *Neuroscience Letters*, 728. Doi: 10.1016/j.neulet.2020.134956
- Jung, F.U., Bae, Y.J., Kratzsch, J., Riedel-Heller, S.G. y Luck-Sikorski, C. (2020). Internalized weight bias and cortisol reactivity to social stress. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 20(1), 49-58.

- Knatauskaitė, J., Pukėnas, K., Trinkūnienė, L. y Budde, H. (2021). A randomized controlled trial on the influence of two types of exercise training vs. control on visuospatial processing and mathematical skills: The role of cortisol. *Physiology & Behavior*, 229, 113213.
- Kornienko, O., Schaefer, D.R., Ha, T. y Granger, D.A. (2020). Loneliness and cortisol are associated with social network regulation. *Social Neuroscience*, 15(3), 269-281.
- Lin, L., Leung, A.W., Wu, J. y Zhang, L. (2020). Individual differences under acute stress: Higher cortisol responders performs better on N-back task in young men. *International Journal of Psychophysiology*, 150, 20-28.
- Lin, J., Massar, S.A. y Lim, J. (2020). Trait mindfulness moderates reactivity to social stress in an all-male sample. *Mindfulness*, 11, 2140-2149.
- Lotfan, S., Shahyad, S., Khosrowabadi, R., Mohammadi, A. y Hatf, B. (2019). Support vector machine classification of brain states exposed to social stress test using EEG-based brain network measures. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(1), 199-213. Doi: 10.1016/jbbbe201810008
- Manigault, A.W., Shorey, R.C., Hamilton, K., Scanlin, M.C., Woody, A., Figueroa, W.S. y Zoccola, P.M. (2019). Cognitive behavioral therapy, mindfulness, and cortisol habituation: A randomized controlled trial. *Psychoneuroendocrinology*, 104, 276-285.
- Mehrsafar, A.H., Strahler, J., Gazerani, P., Khabiri, M., Sánchez, J.C.J., Moosakhani, A. y Zadeh, A.M. (2019). The effects of mindfulness training on competition-induced anxiety and salivary stress markers in elite Wushu athletes: A pilot study. *Physiology & Behavior*, 210, 112655.
- Merino, M., Gómez, I. y Molina, A.J. (2015). EEG feature variations under stress situations. En: *Proceedings of the 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 6700-6703. Doi: 10.1109/EMBC20157319930
- Miller, G.E., Chen, E. y Zhou, E.S. (2007). If it goes up, must it come down? Chronic stress and the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis in humans. *Psychological Bulletin*, 133(1), 25.
- Moreno C., A.B. (2019). Atención plena compasiva y su estudio en México. *Revista Intercontinental de Psicología y Educación*, 21(1), 35-40.
- Oken, B.S., Wahbeh, H., Goodrich, E., Klee, D., Memmott, T., Miller, M. y Fu, R. (2017). Meditation in stressed older adults: improvements in self-rated mental health not paralleled by improvements in cognitive function or physiological measures. *Mindfulness*, 8(3), 627-638.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., ... y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLoS Med*, 18(3): e1003583. Doi: 10.1371/journalpmed1003583
- Park, S. H, Park, I. H, Lim, S. T y Lee, E. (2020). Changes in psychological anxiety and physiological stress hormones in Korea national shooters. *Brain Sciences*, 10(12), 926.
- Permy, M.S.L. (2011). *Manual de bases biológicas del comportamiento humano*. Montevideo: Universidad de la República.
- Perrin, S.L., Jay, M., Vincent, G.E., Sprajcer, M., Lack, L., Ferguson, S.A. y Vakulin, A. (2019). Waking qEEG to assess psychophysiological stress and alertness during simulated on-call conditions. *International Journal of Psychophysiology*, 141, 93-100. Doi: 10.1016/j.jpsycho201904001
- Pilatti, A., Montejano, G.R., Cesar, A., Bertone, M.F.H., Cumin, G. y Pautassi, R.M. (2017). Efecto del estrés social agudo sobre impulsividad, toma de riesgos y sesgos atencionales en jóvenes con y sin historia familiar de abuso de alcohol. *Summa Psicológica*, 24(2), 115-128.
- Reznik, S.J. y Allen, J.J.B. (2017). Frontal asymmetry as a mediator and moderator of emotion: an updated review. *Psychophysiology*, 1-32. Doi: 10.1111/psyp12965
- Roberts, G. A., Arnold, R., Turner, J. E., Colclough, M. y Bilzon, J. (2019). A longitudinal examination of military veterans' invictus games stress experiences. *Frontiers in Psychology*, 10, 19-34.
- Russell, G. y Lightman, S. (2019). The human stress response. *Nature Reviews of Endocrinology*, 15(9), 525-534.
- Saeed, S.M.U., Anwar, S.M., Khalid, H., Majid, M. y Bagci, U. (2020). EEG based classification of long-term stress using psychological labeling. *Sensors*, 20(7). Doi: 10.3390/s20071886
- Saeed, S.M.U., Anwar, S.M., Majid, M., Awais, M. y Alnowami, M. (2018). Selection of neural oscillatory features for human stress classification with single channel EEG headset. *BioMed Research International*, 2018. Article ID 1049257. Doi: 10.1155/2018/1049257.
- Sapolsky, R.M. (2015). Stress and the brain: individual variability and the inverted-U. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1344-1346. Doi: 101038/nn4109
- Schlink, B.R., Peterson, S.M., Hairston, W.D., König, P., Kerick, S.E. y Ferris, D.P. (2017). Independent component analysis and source localization on mobile EEG data can identify increased levels of acute stress. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 310. Doi: 10.3389/fnhum201700310

- Selye, H. (1956). *The stress of life*. McGraw-Hill.
- Selye H. (1976). *Stress in health and disease*. Butterworth.
- Singer, N., Sommer, M., Döhnelt, K., Zänkert, S., Wüst, S. y Kudielka, B.M. (2017). Acute psychosocial stress and everyday moral decision-making in young healthy men: The impact of cortisol. *Hormones and Behavior*, 93, 72-81.
- Singh, Y. y Sharma, R. (2015). Individual alpha frequency (IAF) based quantitative EEG correlates of psychological stress. *Indian Journal of Physiological Pharmacology*, 59(4), 414-421.
- Smeets, T., Van Ruitenbeek, P., Hartogsveld, B. y Quaedflieg, C.W. (2019). Stress-induced reliance on habitual behavior is moderated by cortisol reactivity. *Brain and Cognition*, 133, 60-71.
- Spinetti, H., Angulo H.N., Barrera A., M., Sanz, J., Malavé G., V. y Guillén, P. (2009). Máquinas de aprendizaje para clasificar señales electroencefalográficas. *Avances en Sistemas e Informática*, 6(1), 213-218.
- Straup, M.L, White, J., Butterworth, S.E, Dunn, D.S, Tate, K.E, Guermeur, A.S y Crockett, E.E. (2019). I knew you'd understand: How gendered expectations of understanding affect stress. *Personal Relationships*, 26(4), 544-565.
- Tavares, J.P, Lautert, L., Magnago, T.S.B.D.S., Consiglio, A.R. y Pai, D.D. (2017). Relación entre las dimensiones del estrés psicosocial y el cortisol en la saliva de policías militares. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 25. Doi: 10.1590/1518-834511992873
- Van Leeuwen, J.M., Vink, M., Joëls, M., Kahn, R.S., Hermans, E.J. y Vinkers, C.H. (2019). Reward-related striatal responses following stress in healthy individuals and patients with bipolar disorder. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, 4(11), 966-974.
- Vargas, I., Haefel, G.J., Jacobucci, R., Boyle, J.T, Mayer, S.E y Lopez-Duran, N.L. (2020). Negative cognitive style and cortisol reactivity to a laboratory stressor: a preliminary study. *International Journal of Cognitive Therapy*, 13(1), 1-14.
- Woo Ahn, J., Ku, Y. y Hee Chan, K. (2019). A novel wearable EEG and ECG recording system for stress assessment. *Sensors*, 19(9), 1991. Doi: 10.3390/s19091991
- Zhu, Y., Wang, Y., Yang, Z., Wang, L. y Hu, X. (2020). Endogenous cortisol-related alterations of right anterior insula functional connectivity under acute stress. *Journal of Affective Disorders*, 274, 231-238.