

## ¿Se puede controlar el Estrés Estudiantil a través de Sonidos Binaurales?: Estudio basado en el Análisis de la Actividad EEG

V. R. Mercado-García<sup>1</sup>, J. L. Roa Huertas<sup>1</sup>, D. A. Treviño-Herrera<sup>1</sup>, V. García-García<sup>1</sup>, L. M. Alonso-Valerdi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Monterrey, N.L., México

\* [lm.aloval@itesm.mx](mailto:lm.aloval@itesm.mx)

*Resumen*— El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos corticales de los sonidos binaurales para coadyuvar a la disminución del estrés de estudiantes universitarios. Para el estudio, se reclutaron a 18 voluntarios: 9 hombres y 9 mujeres (edad  $22.83 \pm 1.13$  años). Los voluntarios fueron divididos en dos grupos, control y experimental. El grupo de control resolvió un memorama, mientras que el experimental lo resolvió mientras era estimulado a través de sonidos binaurales. En ambos casos, se midió la actividad electroencefalográfica (EEG) a través de 4 canales: TP9, TP10, AF7 y AF8. El análisis de las señales de EEG se enfocó en la estimación de la potencia en la banda alfa (8-12 Hz) y la coherencia interhemisférica. Los resultados mostraron que los estudiantes expuestos a sonidos binaurales durante una prueba de memoria tendieron a tomarse más tiempo para realizar dicha prueba, incrementaron moderadamente su nivel de estrés, disminuyó la potencia de sus señales de EEG en la banda alfa, y mostraron una coherencia interhemisférica menor, que aquellos estudiantes que hicieron la misma prueba pero que no fueron expuestos a sonidos binaurales. Los resultados de este estudio sugieren que, en un ambiente propicio para la concentración, los sonidos binaurales no tienen un impacto considerable en la mejoría de los procesos cognitivos o en el nivel de estrés percibido por la persona.

*Palabras clave*— **Coherencia, EEG, Potencia, Banda Alfa, Sonidos Binaurales.**

### I. INTRODUCCIÓN

En México, al menos el 60% de los estudiantes universitarios padecen estrés ocasionado por los horarios y el nivel de exigencia académica. De acuerdo con un estudio realizado por docentes y estudiantes de la UNAM, las principales fuentes de estrés son: la proximidad de exámenes departamentales y el temor a obtener bajas calificaciones [1]. El alto nivel de riesgo de sufrir ansiedad y depresión en el entorno universitario, se demuestra por las cifras de estudiantes que se ven afectados por el estrés. Este problema debe enfrentarse con estrategias de tutoría que orienten, ayuden y apoyen la vida estudiantil [2]. Según el Instituto Nacional de la Salud Mental de los EE.UU. (NIMH), el estrés trae consigo diversas patologías y síntomas. Personas con estrés pueden presentar síntomas digestivos, dolores de cabeza, insomnio, depresión, ira e irritabilidad. Las personas bajo estrés crónico sufren infecciones virales más frecuentes y graves, como la gripe o el resfriado común. La Biblioteca Nacional de Medicina de los EE.UU. enlista algunas técnicas de relajación para controlar el estrés, como respiraciones profundas, meditación, biorretroalimentación, relajación progresiva, yoga, taichí, entre otras. En respuesta a esta

problemática, las universidades han comenzado a plantear programas que implementen técnicas ya mencionadas, con el objetivo de reducir los niveles de estrés y ansiedad en sus alumnos [2].

Este estudio pretende atender la problemática del estrés estudiantil, haciendo uso del espacio diseñado para meditación del Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, el cual cumple con estándares de espacios de meditación para universidades [3-4].

Por otro lado, una técnica que ha sido utilizada por la comunidad científica para disminuir el estrés ha sido los sonidos binaurales. Dichos sonidos fueron descubiertos por Dove en 1839. Se trata de la combinación de dos pulsos emitidos en frecuencias diferentes que deben estar por debajo de 1kHz. La diferencia entre las dos debe ser inferior o igual a 30 Hz y la intensidad debe ser de 3dB, para que sean escuchados como un solo sonido. Los tonos se perciben como si estuviesen mezclados de forma natural [3]. El efecto sobre las señales electroencefalográficas (EEG) depende de la diferencia en las frecuencias de cada tono que la persona escuche por cada oído [4]. Los sonidos binaurales han llamado la atención de la comunidad científica desde hace un poco más de dos décadas. El efecto de profundidad que se puede obtener de la sutil diferencia entre dos frecuencias ha sido considerado para su aplicación en las artes, la realidad virtual y principalmente en terapias de relajación y meditación [7-11]. En términos de reducción del estrés, los sonidos binaurales se han aplicado en ambientes laborales como los consultorios dentales para disminuir el nivel de ansiedad en pacientes [5, 6]. En ambientes controlados como realidad virtual, también se ha demostrado que los sonidos binaurales disminuyen el tiempo de reacción ante tareas de carácter espacial, favoreciendo así la percepción sensorial del usuario [7]. De igual manera, se han encontrado otros beneficios de los sonidos binaurales, en la reducción del dolor [8] y en el aumento de la memoria de trabajo. En el estudio [9], se propuso la sincronización de sonidos binaurales con los ritmos alfa, puesto que no sólo se encontraron cambios de actividad cortical, sino que los participantes del grupo experimental mostraron una mejora en su capacidad de memoria de trabajo. También en [10], se estudiaron dichos efectos dentro de la banda gamma, específicamente en 40 Hz. Los resultados apuntan hacia un incremento en la memoria de trabajo de los participantes del grupo experimental.

Las ondas alfa (8-13 Hz) han sido de particular atención para investigadores en el área de sonidos binaurales. El interés en estas ondas se debe a que están relacionadas a procesos y rendimientos cognitivos [11]. Las ondas alfa se relacionan al bloqueo de actividad distractora y al procesamiento de información [12]. En términos de sonidos binaurales, se ha encontrado que éstos pueden aumentar el nivel de sincronización de la banda alfa significativamente [13].

En base a lo anterior, el objetivo de este estudio [14] es investigar si los sonidos binaurales pueden ayudar a disminuir el nivel de estrés de los estudiantes del Tecnológico de Monterrey durante la realización de sus actividades académicas (prueba de memoria). También se busca averiguar si dichos sonidos binaurales no solo ayudan a disminuir el nivel estrés, sino si también conllevan una mejora en los procesos cognitivos (desempeño en la prueba de memoria) relacionadas a actividades académicas.

## II. METODOLOGÍA

### A. Recolección de datos

Se registraron 18 participantes, estudiantes universitarios del Tecnológico de Monterrey de nivel pregrado, en un rango de edades entre 18 y 25 años. Los participantes fueron divididos en dos grupos: control y experimental. Todos los participantes fueron informados sobre el propósito del estudio y aceptaron participar firmando un consentimiento informado. El proyecto fue previamente aprobado por el Comité de Ética de la Escuela de Medicina del Tecnológico de Monterrey (número de registro ante la Comisión Nacional de Bioética CONBIOETICA-19-CEI-011-20161017).

El estudio se llevó a cabo en “Punto Blanco”, ubicado en el Tecnológico de Monterrey campus Monterrey, el cual es un lugar diseñado por Distrito Tec, con el fin de fortalecer el espíritu a través de la introspección, la meditación y el autoconocimiento. Las señales de EEG (AF7, AF8, TP9 y TP10) se registraron mediante *Muse HeadBand*, desarrollada por la compañía INTERAXON de Toronto, Canadá [15].

### B. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se llevó a cabo en una sola sesión y de la siguiente forma. Primero, los participantes llenaron un cuestionario donde proporcionaron información acerca de sus hábitos alimenticios y de sueño, además de su estado de salud. Segundo, llenaron un cuestionario que permitía medir el nivel de estrés percibido en sus actividades cotidianas. Tercero, se les tomó el ritmo cardíaco. Cuarto, se hizo la conexión con el sistema *Muse HeadBand*. Quinto, se aplicó una prueba de memoria, para la cual se utilizó la aplicación *Memory Games with Animals* por Sergio Licea en un iPad® de cuarta generación. La tarea seleccionada fue un memorama dado que demanda procesos cognitivos como atención, percepción, categorización y memoria.

En la Figura 1 se esquematiza el procedimiento experimental, y en la Figura 2 se presenta a un participante realizando la prueba.

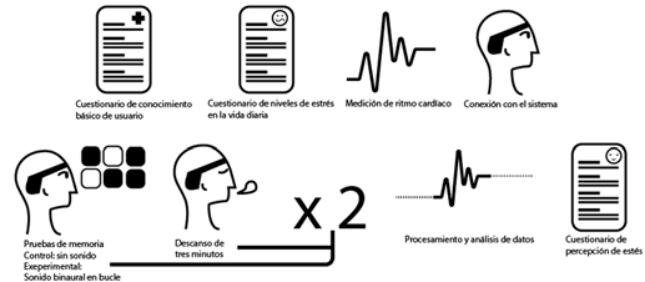


Fig. 1 Procedimiento experimental



Fig. 2. Participante realizando la prueba de memoria en punto blanco.

Durante la prueba de memoria, el grupo control se limitó a resolver el memograma, mientras que el grupo experimental además de resolverlo se expuso a sonidos binaurales. Los sonidos aplicados fueron tonos sinusoidales en las frecuencias de 220.45 y 230 Hz, con diferencia de 9.55 Hz que se encuentra en el rango alfa (8 - 12 Hz). Adicionalmente, se le superpuso un sonido de mar. Este sonido superpuesto es importante para que los participantes no perciban completamente el ritmo binaural y sientan molestias auditivas. En la literatura son comunes los sonidos neutros superpuestos como sonidos de lluvia, viento, agua, entre otros [9]. Tanto el grupo de control como el experimental resolvieron el memograma 2 veces, con 3 minutos de descanso entre una tarea y la otra. Para finalizar la sesión, llenaron un cuestionario de nivel de estrés percibido, que brinda datos cualitativos sobre el nivel de estrés que percibió el participante al realizar la prueba. Véase Fig. 1.

### C. Análisis de señales de EEG

Basados en el estudio [16], se procesaron las señales para encontrar los cambios de niveles de potencia en las bandas alfa superior e inferior, como también, la coherencia interhemisférica. Primero se les removió la línea de base. Después, se estimó la potencia absoluta, filtrando en la banda alfa inferior (8-10 Hz) y superior (10 - 12 Hz) y se elevó al

cuadrado. En el caso de la coherencia interhemisférica, las señales fueron mapeadas al dominio de la frecuencia a través de la Transformada de Fourier, para después ser comparadas con el análisis de coherencia.

#### D. Evaluación estadística

Las comparaciones estadísticas se realizaron a través de la prueba de Wilcoxon con un valor  $p < 0.05$ .

### III. RESULTADOS

#### A. Desempeño en la prueba de memoria

En la Tabla 1, se presenta el tiempo promedio que le llevó al grupo de control y al experimental terminar el memograma, tanto en la primera ocasión (Prueba 1), como en la segunda (Prueba 2). En promedio, el grupo experimental tardó más tiempo en concluir la actividad.

TABLA I TIEMPO PROMEDIO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE MEMORIA [S]

	Prueba 1	Prueba 2
Control	118.97	100.87
Experimental	145.87	105.52

#### B. Nivel de estrés post-actividad

Al finalizar la tarea de memoria, se les pidió a los participantes responder la encuesta de estrés percibido antes, durante y después de la prueba de memoria en una escala de Likert, donde 1 representaba ausencia de estrés y 5 un estado extremadamente estresante. Los resultados se muestran en la Tabla 2, donde se observa que el grupo experimental presentó mayores niveles de estrés durante y al finalizar la prueba, en comparación al grupo de control. También, se observa que el grupo de control disminuyó su nivel de estrés promedio en un 30%, comparando los niveles de antes y durante la prueba. Además, este nivel promedio también disminuyó en un 15.3% con respecto al durante y posterior a la prueba. Sin embargo, el grupo de experimental disminuyó su nivel de estrés en un 11.77% de antes a durante la prueba, y no hubo cambio alguno de durante a después de la prueba, como se muestra en la Tabla 2.

TABLA II NIVEL DE ESTRÉS PROMEDIO DE LA PRUEBA COGNITIVA

Grupo	Antes	Durante	Después
Control	2	1.4	1.2
Experimental	2.125	1.875	1.875

#### C. Potencia absoluta de la Señal de EEG

En la Tabla 3, se presenta la potencia promedio absoluta de las señales de EEG para todos los participantes y para los 4 canales.

TABLA III POTENCIA PROMEDIO ABSOLUTA DE LAS SEÑALES DE EEG

Potencia absoluta promedio [ $\mu V^2$ ]	Control		Experimental	
	8-10Hz	10-12Hz	8-10Hz	10-12Hz
Prueba 1	171.82	107.62	113.51	75.14
Prueba 2	44.03	28.23	98.06	64.2

#### D. Coherencia interhemisférica

En la Fig. 3, se presenta la coherencia interhemisférica promedio para los dos grupos, en ambas pruebas. Se observa que la coherencia en el grupo experimental es menor con respecto a la de control, excepto en frecuencias alrededor de 25Hz.

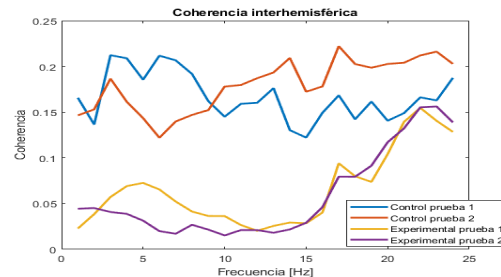


Fig. 3 Coherencia interhemisférica promedio para cada grupo del estudio.

#### E. Evaluación estadística

Comparando el desempeño en la prueba de memoria, el nivel de estrés post-actividad, la potencia absoluta promedio, y la coherencia interhemisférica, no se encontraron diferencias significativas entre el grupo de control y el experimental.

### IV. DISCUSIÓN

En este trabajo se estudiaron los efectos de los sonidos binaurales como ayuda en la disminución del estrés de estudiantes universitarios en un ambiente de relajación. Los participantes se dividieron en grupo de control y experimental. Los dos grupos tenían como tarea resolver un memograma, con la diferencia que el segundo grupo escuchaba un sonido binaural mezclado con un sonido de mar, mientras ejecutaba la tarea. Se midió la actividad de EEG con la diadema Muse HeadBand, a través de 4 canales: TP9, TP10, AF7 y AF8. El análisis de señales se enfocó en la estimación de la potencia en la banda alfa (8-12 Hz) y la coherencia interhemisférica. En los resultados se observó que la coherencia interhemisférica fue diferente entre ambos grupos. Este resultado concuerda con el trabajo de Kosunen y colaboradores, quienes buscaban determinar si los sonidos binaurales producían sincronización en ambos hemisferios del cerebro [17]. Así mismo, se encontró un aumento de potencia en alfa para el grupo experimental, pero no fue significativo. En los trabajos [12, 23], se comenta que la potencia en la banda alfa y la coherencia interhemisférica son factores que se originan a partir de procesos cognitivos como atención y memoria. Por otra parte, en los trabajos [9, 16], se muestra como respaldo teórico que la banda alfa se encuentra asociada a estados de relajación, calma y meditación. Información que coincide con las tendencias de los resultados obtenidos en este trabajo. El aumento de potencia aparente también se le puede atribuir al procesamiento auditivo del sonido de acuerdo con la teoría en los trabajos [15-16, 22-23]. Por otro

lado, los sujetos del grupo experimental se tardaron más tiempo en realizar la tarea ( $125.7 \pm 31.84$  s) con respecto a los de control ( $109.92 \pm 19.9$  s). Teniendo en cuenta el trabajo [18], se puede decir que probablemente el sonido pudo haber disminuido el desempeño de los participantes al incrementar los procesos cognitivos de atención al sonido y a la tarea de memoria. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa en los promedios. También se encontró que la coherencia interhemisférica fue baja en el grupo experimental, lo cual puede indicar que no existe una sincronía prominente entre hemisferios al ser estimulados por un sonido binaural [14]. La comunidad científica no ha llegado a un consenso sobre el impacto de los sonidos binaurales en términos de relajación y concentración. Los resultados de este estudio sugieren que, en un ambiente propicio para la meditación, los sonidos binaurales no tienen un impacto considerable en la mejoría de los procesos cognitivos o en el nivel de estrés percibido por la persona.

#### V. CONCLUSIONES

En el presente estudio se encontró que los estudiantes expuestos a sonidos binaurales durante una prueba de memoria tendieron a tomarse más tiempo para realizar dicha prueba, incrementaron moderadamente su nivel de estrés, disminuyó la potencia de sus señales de EEG en la banda alfa, y mostraron una coherencia interhemisférica menor, que aquellos estudiantes que hicieron la misma prueba pero que no fueron expuestos a sonidos binaurales. El estudio del efecto del sonido en la decodificación sensorial, los estados cognitivos y emocionales, y las efectuaciones motoras son de gran relevancia para el desarrollo de tecnología de asistencia versátil, económica y efectiva.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Impremedia, «Un 60% de estudiantes universitarios sufren estrés en México,» *El Diario NY*, pp. Disponible en: <https://eldiariony.com/2014/04/18/un-60-de-estudiantes-universitarios-sufren-estres-en-mexico/>, 2014.
- [2] C. Regehr, D. Glancy y A. Pitts, «Interventions to reduce stress in university students: A review and meta-analysis,» *Journal of Affective Disorders*, vol. 148, n° 1, pp. 1-11, 2013.
- [3] B. Ross, T. Miyazaki, J. Thompson, S. Jamali y T. Fujioka, «Human cortical responses to slow and fast binaural beats reveal multiple mechanism of binaural hearing,» *Journal of Neurophysiology*, vol. 112, n° 8, pp. 1871-1884, 2014.
- [4] L. Chaieb, E. Wilpert, T. Reber y J. Fell, «Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states,» *Frontiers in psychiatry*, vol. 6, n° 70, 2015.
- [5] B. Isik, A. Esen, D. Büyükerkmen, A. Killin y D. Menziletoglu, «Effectiveness of binaural beats in reducing preoperative dental anxiety,» *The british journal of oral & maxillofacial surgery*, vol. 55, n° 6, pp. 571-574, 2017.
- [6] T. Weiland, G. Jelinek, K. Macarow, P. Samartzis, D. Brown, E. Grierson y C. Winter, «Original sound compositions reduce anxiety in emergency department patient: a randomised controlled trial,» *The medical Journal of Australia*, vol. 11, n° 12, pp. 694-698, 2011.
- [7] E. Hoeg, L. Gerry, L. Thomsen, N. Nilsson y S. Serafin, «Binaural sound reduces reaction time in a virtual reality search task,» de *2017 IEEE 3rd VR Workshop on Sonic Interactions for Virtual Environments (SIVE)*, Los Angeles, 2017.
- [8] K. Ecsy, A. Jones y C. Brown, «Alpha-range visual and auditory stimulation reduces the perception of pain,» *European Journal of Pain*, vol. 21, n° 3, pp. 562-572, 2017.
- [9] J. Kraus y M. Porubanová, «The effect of binaural beats on working memory capacity,» *Studia psychologica*, vol. 57, n° 2, p. 135, 2015.
- [10] N. Jirakittayakorn y Y. Wongsawat, «Brain responses to 40 Hz binaural beat and effects on emotion and memory,» *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the international organization of Psychophysiology*, vol. 120, n° 1, pp. 96-107, 2017.
- [11] B. Zoefel, R. Huster y C. Hermann, «Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance,» *Neuroimage*, vol. 54, n° 2, pp. 1427-1431, 2011.
- [12] W. Klimesch, «Alpha band oscillations, attention, and controlled access to stored information,» *Trends in cognitive sciences*, vol. 16, n° 12, pp. 606-617, 2012.
- [13] S. Pheeah y H. Nisar, «EEG based alpha neurofeedback training for mood enhancement,» *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, vol. 40, n° 2, pp. 325-336, 2017.
- [14] M. Solca, A. Mottaz y A. Guggisberg, «Binaural beats increase interhemispheric alpha-band coherence between auditory cortices,» *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, vol. 40, n° 2, pp. 233-237, 2016.
- [15] R. Schubert, F. Blankenburg, S. Lemm, A. Villringer y G. Curio, «Now you feel it-now you don't: ERP correlates of somatosensory awareness,» *Psychophysiology*, vol. 43, n° 1, pp. 31-40, 2006.
- [16] M. Gantt, S. Dadds, S. Burns, D. Glaser y A. Moore, «The effect of binaural beat technology on the cardiovascular stress response in military service members with postdeployment stress,» *Journal of Nursing Scholarship*, vol. 49, n° 4, pp. 411-420, 2017.
- [17] I. Kosunen, A. Ruonala, M. Salminen, S. Jarvela, N. Ravaja y G. Jacucci, «Neuroadaptive Meditation in the Real World,» de *The 2017 ACM Workshop on An Application oriented Approach to BCI out of the laboratory*, 2017.
- [18] X. Gao, H. Cao, D. Ming, H. Qi, X. Wang y P. Zhou, «Analysis of EEG activity in response to binaural beats with different frequencies,» *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International organization of psychophysiology*, vol. 94, n° 3, pp. 399-406, 2014.
- [19] D. Vernon, G. Peryer, J. Louch y M. Shaw, «Tracking EEG changes in response to alpha and beta binaural beats,» *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the international organization of psychophysiology*, vol. 16, n° 12, pp. 134-139, 2012.
- [20] J. Villegas, «Locating virtual sound sources at arbitrary distances in real-time binaural reproduction,» *Virtual Reality*, vol. 19, n° 3-4, pp. 201-212, 2015.
- [21] D. Rowan, T. Papadopoulos, L. Archer, A. Goodhew, H. Cozens, R. Lopez y R. Allen, «The detection of virtual objects using echoes by humans: Spectral cues,» *Hearing research*, vol. 350, n° 1, pp. 205-216, 2017.
- [22] S. Sharma, S. Rewardkar, H. Pawar, V. Deokar y V. Lomte, «Survey on binaural beats and background music or increased focus and relaxation,» de *International Conference on Emerging Trends & Innovation in ICT*, Yashada, 2017.
- [23] C. Wang, R. Rajagovindan, S. Han y M. Ding, «Top down control of visual alpha oscillations: sources of control signals and their mechanisms of action,» *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 10, p. 15, 2016.