

Actividad Neuronal Prefrontal durante Pruebas Lógico-Matemáticas en Estudiantes que realizan Actividad Física Continua y Aquellos que son Sedentarios

M. A. G. Félix-López¹, A. E. Sánchez-Martínez¹, L. M. Alonso-Valerdi^{1,*}

¹ Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Monterrey, N.L., México

* lm.aloval@itesm.mx

Resumen— Es bien sabido que un estilo de vida físicamente activo conlleva muchos beneficios a la salud, entre ellos un mejor desempeño cardiovascular y una mejor oxigenación de la sangre. El objetivo del estudio es analizar la actividad neuronal del lóbulo frontal durante una prueba lógico-matemática, en estudiantes con un estilo de vida sedentario, contra aquellos que tienen una vida físicamente activa. Esto con el fin de corroborar las ventajas de un estilo de vida físicamente activo, no solo a nivel corporal, sino también a nivel mental, específicamente en las funciones ejecutivas tales como memoria, planificación, razonamiento y toma de decisiones. Para el estudio, se reclutaron a 14 jóvenes adultos masculinos de entre 21 y 29 años, a quienes se les midió su actividad electroencefalográfica (EEG) prefrontal (AF7 y AF8) en estado de reposo y durante la prueba lógico-matemática. El análisis de las señales de EEG se basó en la cuantificación de la potencia promedio absoluta en las bandas alfa y beta, las cuales además fueron estimadas individualmente acorde al ritmo cardiaco del voluntario. Los resultados sugieren que en el grupo activo/moderado pudo haber tenido mayor conciencia de su entorno en estado de reposo, y mostró un mejor desempeño en la prueba lógico-matemática, que el grupo sedentario.

Palabras clave—Actividad Física, Desempeño Académico, EEG, Potencia, Alfa, Beta

I. INTRODUCCIÓN

Los individuos al realizar actividades físicas aeróbicas tienen una mayor demanda de oxigenación en sangre. Al realizar este tipo de ejercicio sube la oxigenación del cerebro. Cuando el cerebro tiene mayor oxigenación, se tiene un mejor desempeño en actividades que demandan muchos recursos mentales como, por ejemplo, las académicas. Para este estudio, se planteó de hipótesis de que los estudiantes que realizan actividad física con regularidad pudiesen alcanzar un mejor desempeño académico, específicamente en una prueba lógico-matemática.

El INEGI señala que se debe de realizar por lo menos 2.5 horas a la semana de actividad física [1]. Además, a mayor actividad física, se tiene menor degeneración neuronal y mayor comunicación entre neuronas, lo que mejora las habilidades mentales. Por otra parte, cuando un individuo realiza ejercicio frecuentemente, los músculos liberan en la sangre IGF-1, el cual es un factor de crecimiento que estimula la producción del neurotrófico cerebral. Con dicho factor, los nervios crecen más, mejorando así la funcionalidad de las neuronas ya que se favorece la transmisión sináptica [2]. Bajo

esta evidencia, se puede sugerir que un estudiante con un estilo de vida físicamente activo puede alcanzar un desempeño académico más óptimo, porque sus funciones ejecutivas (ej., razonamiento, planificación, toma de decisiones, organización, memoria, anticipación) son más eficientes.

Por lo tanto, el objetivo del estudio es analizar la actividad electroencefalográfica (EEG) del lóbulo frontal (encargado de las funciones ejecutivas) de estudiantes con un estilo de vida sedentaria, contra aquellos que tienen una vida físicamente activa, durante una prueba lógico-matemática. Las señales EEG prefrontales (AF7 y AF8) se registrarán en estado de reposo y durante la prueba, las cuales se espera que muestren cambios de potencia en alfa, banda relacionada con el nivel de conciencia, y beta, banda asociada con la demanda mental durante la resolución de problemas.

II. METODOLOGÍA

Para el presente estudio, se reclutaron a 14 jóvenes adultos masculinos de entre 21 y 29 años. Todos los voluntarios fueron informados sobre el propósito del estudio y el procedimiento experimental. Todos aceptaron voluntariamente participar y firmaron 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 y ante el Comité de Investigación 17CI19039003). El procedimiento experimental se describe a continuación.

A. Encuesta

En la primera etapa del estudio, se aplicó una encuesta para recabar información sobre la regularidad de actividades físicas aeróbicas y anaeróbicas, así como el tiempo dedicado en cada sesión. De acuerdo a la información recabada, los voluntarios fueron clasificados en tres grupos diferentes: (1) activo, (2) moderado y (3) sedentario.

B. Pruebas físicas

En la segunda etapa del estudio, se realizaron pruebas físicas que consistieron en realizar tres grupos de ejercicios HIIT (por sus siglas en inglés *High Intensity Interval Training*). Cada grupo se realizó durante un minuto y se dieron descansos de 10 segundos entre cada grupo. Los

ejercicios fueron (1) *high knees*, (2) *squat jumps* y (3) *jumping jacks*. Se registró la frecuencia cardiaca (ésta se midió con un pulsímetro digital) antes y después de realizar la prueba física. Con estos datos, se reclasificaron a los voluntarios en base a la frecuencia de alto entrenamiento (F_{AE}) y la frecuencia en reposo antes de la prueba física ($F_{reposito}$), que se estimaron y aplicaron respectivamente de la siguiente manera [3]:

$$F_{max} = 220 - edad \quad (1)$$

$$F_{reserva} = F_{max} - F_{reposito} \quad (2)$$

$$F_{AE} = 0.8 * F_{reserva} + F_{reposito} \quad (3)$$

Si la frecuencia cardiaca medida después de la prueba física ($F_{post-actividad}$) era mayor a la F_{AE} , esto indicaba que el voluntario en realidad no tenía un estilo de vida físicamente activo, como lo había reportado en la encuesta. Bajo esta condición, los voluntarios fueron reclasificados.

C. Prueba lógico-matemática

En la tercera etapa del estudio, se realizó una prueba lógico-matemática para evaluar el desempeño académico de los voluntarios. Esta prueba consistió en 10 problemas de lógica y razonamiento matemático. Se proporcionaron 10 minutos para completar la prueba. Las preguntas fueron seleccionadas de un banco de preguntas del Tecnológico de Monterrey, donde se incluían las respuestas correctas y bajo las cuales fue evaluado el rendimiento académico de los voluntarios.

Antes y durante la prueba lógico-matemática, se registraron 4 canales de EEG de acuerdo al sistema 10/20. Estos fueron: AF7, AF8, TP9 y TP10. Los canales fueron medidos con respecto al canal Fpz, y con una frecuencia de muestreo de 220Hz. El sistema de registro fue la banda *muse*, desarrollada por la compañía INTERAXON de Toronto, Canadá. Véase Fig. 1. El registro de EEG antes de la prueba consistió en instruir a los voluntarios para fijar su mirada en un punto específico, relajarse y respirar de forma convencional durante un minuto.

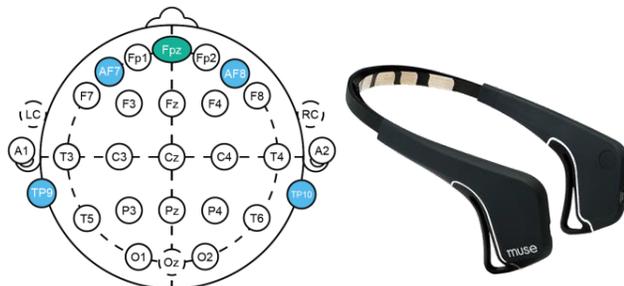


Fig. 1. Del lado izquierdo, se muestra el sistema 10/20 con los electrodos de medición en color azul y el electrodo de referencia en color verde. Del lado derecho, se muestra la banda *muse* (<http://www.choosemuse.com/>).

D. Análisis de las señales de EEG

Para el análisis de señales de EEG (tanto en reposo como en la prueba lógico-matemática), se utilizó la herramienta computacional EEGLAB [4], la cual está programada en MATLAB y se usa típicamente para el procesamiento de señales electrofisiológicas. El análisis de señales consistió en tres etapas principales: (1) pre-procesamiento, (2) procesamiento y (3) estimación de características de EEG. En la primera etapa (pre-procesamiento), las señales se filtraron a través de un pasa bandas tipo Butterworth de orden 8 en un ancho de banda de 0.1 a 30Hz. Una vez filtradas las señales, se inspeccionaron los registros visualmente y se eliminaron discontinuidades manualmente. En la segunda etapa (procesamiento), las señales fueron filtradas en las bandas alfa y beta usando el mismo diseño de filtro que en la primera etapa. Cabe destacar que las frecuencias de corte para las bandas alfa y beta fueron calculados individualmente para cada voluntario, acorde al Teorema *Brain-Body Coupling* establecido en [5]. De acuerdo a este Teorema, las oscilaciones corporales (neuronales, cardiacas y respiratorias) están acopladas a la frecuencia cardiaca en estado de reposo. Es decir, el ancho de banda tanto de las oscilaciones neuronales como de las respiratorias se pueden determinar a través de la frecuencia cardiaca, aplicando la ecuación 4 (frecuencia de corte superior [uf_d]) y la ecuación 5 (frecuencia de corte inferior [lf_d]),

$$uf_d(i) = \frac{s * 2^{i+1}}{g} \quad (4)$$

$$lf_d(i) = (s * 2^{i-1}) * g \quad (5)$$

donde i es un índice que indica la banda de interés a calcular, que para este estudio son alfa ($i = 3$) y beta ($i = 4$), s es la frecuencia cardiaca del individuo, y g es una constante empíricamente determinada por el autor con valor de 1.618. En la tercera y última etapa (estimación de características), se determinó la potencia promedio absoluta de la señal para alfa y beta (ecuación 6). Con estos valores promedio, se estimó la característica C_{EEG} como la razón de beta sobre alfa de dichas potencias promedio (ecuación 7), es decir

$$Pa = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^2 \quad (6)$$

$$C_{EEG} = \frac{Pa(\beta)}{Pa(\alpha)} \quad (7)$$

E. Valoración estadística

Para correlacionar el rendimiento académico, la condición física y las características C_{EEG} , se usaron gráficas de cajas para observar la distribución y la mediana para estimar la tendencia central.

III. RESULTADOS

Los resultados del procedimiento experimental en las pruebas físicas, la prueba lógico-matemática y el ajuste de las frecuencias de corte para las bandas alfa y beta (índice superior, f_H , e índice inferior, f_L) se presentan en la Tabla 1. En la sección A, se describe la correlación observada entre el rendimiento académico en la prueba lógico-matemática con respecto a la clasificación obtenida de la encuesta y las pruebas físicas. En la sección B, se describe el comportamiento de las características C_{EEG} de acuerdo a los canales prefrontales AF7 y AF8, tanto para el estado de reposo y durante la prueba lógico-matemática. Nótese que no se presentan los canales temporales TP7 y TP8 porque presentaron muchos artefactos del tipo pop-up.

A. Rendimiento académico y condición física

En la Fig. 2, se presenta el rendimiento académico de la prueba lógico-matemática de acuerdo a la clasificación física de los voluntarios: activo, moderado y sedentario. Como se puede observar, la mediana del rendimiento de los voluntarios activos y los moderados están entre 60% y 70%, mientras que la de los sedentarios es de 50%. La distribución (valores máximos y mínimos y cuartiles) de los rendimientos además va disminuyendo conforme el nivel de actividad física disminuye.

B. Características C_{EEG} y condición física

En la Fig. 3, se presenta la distribución de las características C_{EEG} en estado de reposo y durante la prueba lógico-matemática para los canales AF7 y AF8. Como las medianas entre activos y moderados no disminuyó directamente, se agruparon las características de ambos grupos. En la Fig. 4, se presenta la distribución de las características C_{EEG} bajo las mismas condiciones que la Fig. 3, pero para los voluntarios sedentarios. En el caso de los voluntarios activos y moderados (Fig. 3), la diferencia, con respecto a la mediana, entre prueba lógico-matemática y reposo es de 0.6202 en AF7 y 0.4016 en AF8. En el caso de los voluntarios sedentarios (Fig. 4), la diferencia entre prueba lógico-matemática y reposo es de 0.4102 en AF7 y 0.1171 en AF8. En base a estos valores, la diferencia entre el grupo activo/moderado y el sedentario es de 0.2186 en AF7 y 0.2845 en AF8.

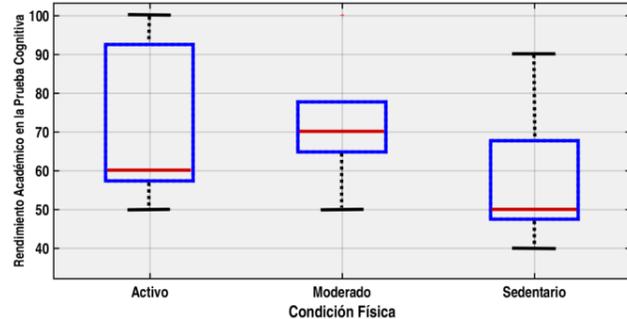


Fig. 2. Porcentaje del rendimiento académico acorde a la condición física.

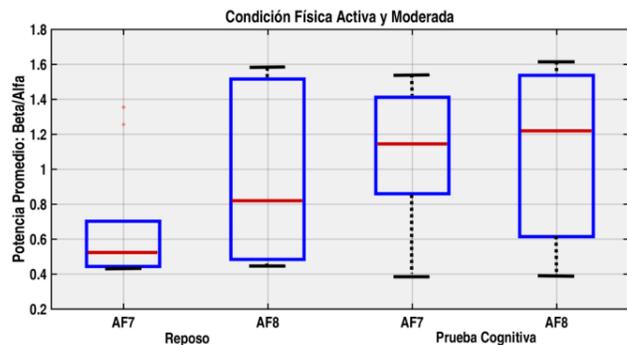


Fig. 3. Características C_{EEG} en estado de reposo y durante la prueba lógico-matemática: Voluntarios clasificados como activos y moderados.

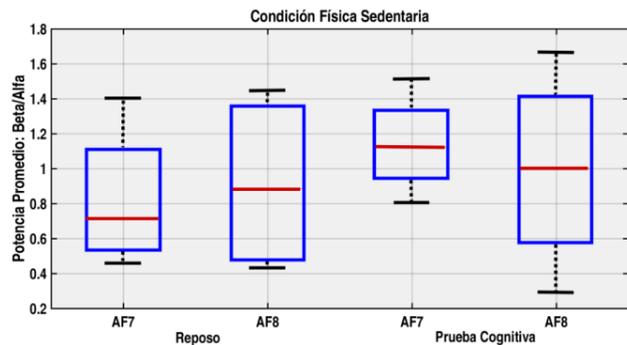


Fig. 4. Características C_{EEG} en estado de reposo y durante la prueba lógico-matemática: Voluntarios clasificados como sedentarios.

TABLA 1. RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Voluntario	Pruebas Físicas						Pruebas Lógico-matemáticas		f_L y f_H @ F_{reposo}	
	Edad (años)	F_{reposo}	F_{max}	F_{reserva}	F_{AE}	$F_{\text{post-actividad}}$	Clasificación	Rendimiento Académico %	Banda Alfa [Hz]	Banda Beta [Hz]
1	22	80	198	118	174.4	155	Activo	100	8.629 - 13.19	17.26 - 26.37
2	23	68	197	129	171.2	160	Moderado	70	7.335 - 11.21	14.67 - 22.41
3	22	68	198	130	172	152	Activo	50	7.335 - 11.21	14.67 - 22.41
4	24	79	196	117	172.6	157	Moderado	70	8.521 - 13.02	17.04 - 26.04
5	23	89	197	108	175.4	160	Moderado	70	9.6 - 14.67	19.2 - 29.34
6	29	93	191	98	171.4	173	Sedentario	60	10.03 - 15.33	20.06 - 30.66
7	21	96	199	103	178.4	180	Sedentario	90	10.36 - 15.82	20.71 - 31.64

8	23	83	197	114	174.2	156	Activo	90	8.953 - 13.68	17.91 - 27.36
9	22	80	198	118	174.4	150	Activo	60	8.629 - 13.19	17.26 - 26.37
10	23	78	197	119	173.2	155	Sedentario	40	8.414 - 12.86	16.83 - 25.71
11	23	85	197	112	174.6	155	Activo	60	9.169 - 14.01	18.34 - 28.02
12	23	85	197	112	174.6	177	Sedentario	50	9.169 - 14.01	18.34 - 28.02
13	22	61	198	137	170.6	156	Moderado	50	6.58 - 10.05	13.16 - 20.11
14	22	65	198	133	171.4	160	Moderado	100	7.011 - 10.71	14.02 - 21.43

IV. DISCUSIÓN

Es bien sabido que un estilo de vida físicamente activo conlleva muchos beneficios a la salud, entre ellos un mejor desempeño cardiovascular y una mejor oxigenación de la sangre. Un funcionamiento eficiente del metabolismo seguramente conlleva la optimización del desempeño humano en otros ámbitos. Bajo este panorama, el objetivo del presente estudio fue analizar la actividad neuronal prefrontal (reflejo de las funciones ejecutivas) durante una prueba lógico-matemática entre estudiantes que son activos, moderados o inactivos físicamente. Como la actividad de EEG refleja el nivel de comunicación neuronal, se intenta investigar si este nivel de comunicación en los anchos de banda alfa y beta (además individualizados) cambia acorde al nivel de sedentarismo. A continuación, se presentan los resultados del estudio.

A. Rendimiento académico y condición física

La distribución del rendimiento académico de acuerdo a la condición física indica que hay una relación directamente proporcional entre estas dos variables. Estos resultados concuerdan con los de investigaciones anteriores, donde se ha relacionado el desempeño cognitivo y académico con el nivel de actividad física. En general, se ha encontrado que ambos desempeños incrementan conforme incrementa la actividad física debido a que se mejora el funcionamiento cardio-respiratorio, la coordinación motora, la atención y la percepción, las funciones ejecutivas, la memoria, la velocidad visomotora, y las aptitudes psicométricas. Sin embargo, los resultados no había sido contundentes en todos los estudios, e incluso en varios de ellos no se había podido ser concluyentes [6, 7].

B. Características C_{EEG} y condición física

La potencia promedio de las señales de EEG refleja la tendencia central del nivel de sincronía neuronal durante la decodificación de información sensorial, cognitiva, emocional y motora. Esto quiere decir que las características C_{EEG} muestran la relación de sincronía entre los ritmos beta y alfa. Del presente estudio, se encontró que la diferencia entre razones C_{EEG} de la prueba lógico-matemática con respecto al estado de reposo fue mayor en el grupo activo/moderado que, en el sedentario, tanto en el canal AF7 ($0.6202 > 0.4102$), como en el AF8 ($0.4016 > 0.1171$), por lo menos en términos de la mediana. Además, la diferencia entre ambos grupos fue en proporciones similares ($0.2186 \approx 0.2845$). De forma general, en el estado de reposo se esperaba que C_{EEG} fuese menor a cero, ya que las señales de EEG aumentan su nivel

de sincronía en la banda alfa cuando una persona está en reposo, pero consciente de su alrededor [8]. Por el contrario, durante la prueba lógico-matemática se esperaba que C_{EEG} fuese mayor a cero, puesto que las señales de EEG aumentan su sincronía en la banda beta durante la identificación de estímulos sensoriales, la toma de decisiones y al aumentar el grado de dificultad de la prueba lógico-matemática [9]. En base a esta evidencia, la distribución de C_{EEG} sugiere que en el grupo activo/moderado pudo haber tenido mayor conciencia de su alrededor en el estado de reposo, y mayor concentración en la prueba lógico-matemática, que el grupo sedentario.

V. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio están en vías de demostrar que un estilo de vida físicamente activo mejora el desempeño académico de los estudiantes, quienes a la hora de realizar una prueba lógico-matemática no solo alcanzan un rendimiento académico más alto, sino que además presentan un nivel de sincronía neural más elevado, posiblemente por la optimización de la transmisión de información entre neuronas. Sin embargo, estos resultados preliminares se deben tomar con precaución, ya que únicamente se realizó una comparativa de distribución de datos y medianas. Es decir, la naturaleza del estudio es exploratorio, pero no estadísticamente significativo.

REFERENCIAS

- [1] INEGI, «INEGI.» 27 Enero 2017. [En línea]. Available: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/mopradef/mopradef2017_01.pdf.
- [2] W. Ramírez, S. Vinaccia y G. R. Suárez, «Scielo.» 18 Agosto 2004. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/res/n18/n18a08.pdf>.
- [3] F. Carramiñana, «Salud para todos.» 11 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://blogs.hoy.es/salud-para-todos/2013/03/11/a-cuanto-debe-ir-el-corazon-cuando-hago-deporte/>.
- [4] A. Delorme y S. Makeig, «EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis.» *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 134, pp. 9-21, 2004.
- [5] W. Klimesch, «An algorithm for the EEG frequency architecture of consciousness and brain body coupling.» *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 7, pp. 1-4, 2013.
- [6] J. W. Li, H. O'Connor, N. O'Dwyer y R. Orr, «The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review.» *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 20, n° 9, pp. 841-848, 2017.
- [7] A. Ruiz-Ariza, A. Grao-Cruces, N. E. de Loureiro y E. J. Martínez-López, «Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005-2015.» *International Review of Sport and Exercise Psychology*, vol. 10, n° 1, pp. 108-133, 2017.
- [8] J. A. Pineda, «The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing",» *Brain Research Reviews*, vol. 50, n° 1, pp. 57-68, 2005.
- [9] J. D. Kropotov, *Quantitative EEG: Event-Related Potentials and Neurotherapy*, San Diego: Academic Press - Elsevier, 2009.