

<https://doi.org/10.23913/ride.v15i29.2172>

Artículos científicos

Desempeño escolar, actividad cerebral y estimulación magnética transcraneal repetitiva

***Academic Performance, Brain Activity and Repetitive Transcranial Magnetic
Stimulation***

***Desempenho escolar, atividade cerebral e estimulação magnética
transcraniana repetitiva***

José Alejandro Ríos Valles

Universidad Juárez del estado de Durango, México

alejandro.rios@ujed.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8407-3017>

Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos

Universidad Juárez del estado de Durango, México

hiatic.dal@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-8813-7306>

Osmel La Llave León

Universidad Juárez del estado de Durango, México

olallavel@ujed.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2788-3344>

Laura Ernestina Barragán Ledesma

Universidad Juárez del estado de Durango, México

habil_laura@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5929-1648>

Sagrario Lizeth Salas Name

Universidad Juárez del estado de Durango, México

lizeth_name@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1282-626X>



Jesús Abraham Soto Rivera

Universidad Juárez del estado de Durango, México

abrahamjsr@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6688-2032>

Resumen

El desempeño escolar universitario depende del funcionamiento de las neuronas y la EMTr es una herramienta de nueva aparición que modifica la función neural. El objetivo de estudio fue identificar la relación entre EMTr y el promedio escolar. Previa firma por conveniencia del consentimiento informado se aplicó EMTr a un grupo de 6 participantes, se registró qEEG al final de 10 sesiones de 40 minutos con trenes pulsantes de tres segundos de estimulación por uno de descanso, frecuencia de 100 Hz e intensidad de seis Gauss, en estado de reposo con ojos cerrados, empleando una bobina de 10 centímetros en la línea media anterior a la mitad de nasión y vertex. Los resultados arrojaron alfa de Cronbach de 0.863; el promedio escolar inicial en el grupo estudiado (8.03) y final (8.55) presentó t de student de -3.253 y $p=0.023$; La EEG y promedio escolar mostraron correlación de Pearson en: T5HzDB en All Range $r=-0.824$ con $p=0.044$, T5HzDB en el rango Delta $r=-0.825$ y $p=0.045$ y F3HzDB en la frecuencia Theta $r=0.859$ y $p=0.028$. Concluyendo que la aplicación de EMTr modifica el funcionamiento neuronal mejorando el promedio escolar.

Palabras clave: Estimulación magnética transcraneal repetitiva, electroencefalografía cuantitativa, promedio escolar, estudiantes universitarios.

Abstract

University academic performance depends on the functioning of neurons, and rTMS is a newly emerging tool that modifies neural function. The study aimed to identify the relationship between rTMS and academic average. With informed consent obtained for convenience, rTMS was applied to a group of 6 participants. qEEG was recorded at the end of 10 sessions of 40 minutes, with three-second pulsed trains of stimulation followed by one second of rest, a frequency of 100 Hz, and an intensity of six Gauss, in a resting state with eyes closed, using a 10-centimeter coil on the midline anterior to the midpoint of nasion and vertex. The results showed a Cronbach's alpha of 0.863; the initial academic average in the studied group (8.03) and final (8.55) showed a Student's t of -3.253 and $p=0.023$; EEG and academic average showed Pearson correlation in: T5HzDB in All Range $r=-0.824$ with

$p=0.044$, T5HzDB in the Delta range $r=-0.825$ and $p=0.045$, and F3HzDB in the Theta frequency $r=0.859$ and $p=0.028$. Concluding that the application of rTMS modifies neural function, improving academic average.

Keywords: Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, Quantitative Electroencephalography, Academic Average, University Students.

Resumo

O desempenho escolar universitário depende do funcionamento dos neurônios e a EMTr é uma ferramenta emergente que modifica a função neural. O objetivo do estudo foi identificar a relação entre a EMTr e a média escolar. Após assinatura para conveniência do consentimento informado, a EMTr foi aplicada a um grupo de 6 participantes. O qEEG foi registrado ao final de 10 sessões de 40 minutos com trens pulsantes de três segundos de estimulação e um segundo de repouso, frequência de 100 Hz e intensidade de seis Gauss, em estado de repouso com olhos fechados, utilizando uma bobina de 10 centímetros na linha média anterior ao meio do nácio e vértice. Os resultados mostraram alfa de Cronbach de 0,863; A média escolar inicial do grupo estudado (8,03) e final (8,55) apresentou t de Student de -3,253 e $p=0,023$; O EEG e a média escolar apresentaram correlação de Pearson em: T5HzDB na faixa All $r= -0,824$ com $p=0,044$, T5HzDB na faixa Delta $r=-0,825$ e $p=0,045$ e F3HzDB na frequência Theta $r=0,859$ e $p= 0,028$. Concluindo que a aplicação da EMTr modifica o funcionamento neuronal, melhorando a média escolar.

Palavras-chave: Estimulação magnética transcraniana repetitiva, eletroencefalografia quantitativa, médio escolar, estudantes universitários.

Fecha Recepción: Junio 2024

Fecha Aceptación: Noviembre 2024

Introducción

En los anuarios estadísticos de la universidad Juárez del estado de Durango, en los alumnos de la carrera de médico cirujano campos Durango (agosto 2018 a diciembre 2021) se tiene registrado un 73% de índice de reprobación (UJED, 2018, 2019, 2021, 2022); lo cual es motivo del presente proyecto de investigación pretendiendo mejorar el promedio escolar aplicando estimulación magnética transcranial repetitiva (EMTr).

La UJED ha implementado un programa de tutorías para atender los índices de reprobación, iniciado a partir de 2019 sin aun tener a la fecha evidencia de resultados (UJED, 2019).



El rendimiento académico es el resultado que los alumnos tienen en los ciclos escolares, normalmente expresados con calificaciones numéricas, frecuentemente promediadas, también conocido como desempeño académico o promedio escolar (Lamas, 2015).

En una investigación realizada por la universidad pedagógica de Durango en la facultad de medicina y nutrición (FAMEN) se observó en 635 alumnos con edades de 18 a 21 años entre el 2006 al 2018, una relación entre el rendimiento académico y el tiempo de estudio con $p=0.003$ en la prueba de Kruskal-Wallis (Arreola y Hernández, 2021).

En el Instituto Tecnológico de Sonora, México, se estudió a 300 participantes, encontrando una correlación de Pearson de 0.49 con una $p=0.00$ entre promedio escolar de preparatoria y desempeño escolar universitario (Vera *et al.*, 2012).

Las neuronas se conectan entre sí para la organización de las funciones nerviosas. Se organizan en sistema nervioso autónomo y central siendo este último el encargado de los procesos neurocognitivos mediante neuronas colinérgicas (excitatorias) y GABAérgicas (inhibitorias) ayudando en atención, aprendizaje y memoria (Guyton y Hall, 2016) (Reis *et al.*, 2009).

Las neuronas en respuesta a estímulos producen potenciales de acción generando campos eléctricos que pueden ser cuantificados en cuanto a voltaje y frecuencias con Electroencefalografía cuantitativa (qEEG). Los potenciales de acción medidos por ráfagas son dependientes de N-metil-D-aspartato, otras por medio de comunicación eféptica y uniones gap (Dorian y Mandar, 2006).

Conforme el paso del tiempo y las estimulaciones realizadas por el proceso de aprendizaje conductual se propician cambios en la modulación del flujo eléctrico de la red neuronal y en la organización de la actividad eléctrica (Ford, 2009).

En la mayoría de la población el hemisferio cerebral izquierdo es el dominante con prevalencia de lateralidad derecha y solo un 10,6% con dominancia en la mano izquierda (Herweg *et al.*, 2020).

Los procesos cognitivos se efectúan mediante la interacción de los diferentes lóbulos del cerebro:

El lóbulo frontal está ubicado en la fosa craneal anterior controla las funciones mentales superiores como comportamientos sociales que abarcan desde tareas motoras, juicio, pensamiento abstracto y funciones de creatividad. La corteza frontal presenta cuatro circunvoluciones; prefrontal que participa en la toma de decisiones, razonamiento y

personalidad, frontal superior en zona dominante se relaciona a la memoria de trabajo y no dominante en el control de impulsos, la circunvolución media dominante está relacionada con el proceso alfabético y no dominante en la capacidad numérica, en su porción caudal con su interacción a la circunvolución precentral está el área ocho de Brodmann de movimientos oculares para análisis de detalles en una escena e imagen, la circunvolución inferior dominante posee el área de Broca responsable del habla, memoria prospectiva, discursos y lenguaje, conecta con la corteza temporal y motora, regulador de la personalidad y la toma de decisiones (El-Baba et al., 2023).

El lóbulo parietal está ubicado por detrás de la cisura de Rolando regula la recepción sensorial somática. El lóbulo temporal ubicado por debajo de a cisura lateral o de Silvio se encarga de la recepción sensorial auditiva y es responsable de la comprensión del lenguaje. Lóbulo occipital, ubicado en el polo posterior de cada hemisferio cerebral, regula la función sensorial visual (El-Baba et al., 2023).

El área de Wenicke o área 22 de Brodmann ubicada en el lóbulo temporal izquierdo (Javed et al., 2023), se encarga del proceso de comprensión de los sonidos para el habla y la decodificación fonémica. Se conecta vía corticocortical para el aprendizaje asociativo y consciente, mientras que su otra conexión con la vía corticosubcortical se relaciona con el aprendizaje de hábitos (Castaño, 2003).

Con estudios de neuroimagen funcional se han localizado zonas cerebrales encargadas de procesos cognitivos para el cálculo matemático y problemas aritméticos, se encontraron correlaciones positivas entre la actividad de la circunvolución angular izquierda en frecuencias beta por resonancia magnética funcional (Eimeren et al., 2010).

La electroencefalografía es una herramienta que permite hacer el estudio de la actividad electrofisiológica cerebral mediante la colocación de electrodos en el cuero cabelludo que reciben la información generada por los potenciales de acción de las neuronas corticales determinando los diferentes ritmos o amplitudes que pudiera presentar (Abdallah y Coleman, 2023) estos ritmos son generados por distintas áreas del cerebro que cambian constantemente de acuerdo a cómo se encuentre el individuo, estado de reposo, lucha, huida, sueño profundo o concentración mental (Universidad Nacional Autónoma de México UNAM y Departamento de Fisiología, 2022) que a continuación se describen:

- Alfa: el ritmo Alfa suele ser registrado con frecuencia en el área occipital del encéfalo durante un estado de vigilia relajado y con ojos cerrados, su frecuencia es de ocho a 13 Hertz (Hz) y su amplitud de 30 a 59 microvoltios. Clayton et. al observaron que el

ritmo alfa a partir de los 10 hasta los 13 Hz están relacionado con la percepción visual, los procesos cognitivos y el trabajo de memorización habiendo variación de los ritmos alfa en distintas zonas del cerebro, así como si el registro se realiza con ojos cerrados o abiertos (Clayton, 2018).

- Beta: este ritmo está relacionado con mayor frecuencia de la actividad mental, se ubican con un registro en el área frontal y región parietal. Posee una frecuencia de 13 a 30 Hz y voltaje $<20 \mu\text{V}$. (UNAM y Departamento de Fisiología, 2022).
- Gamma: está relacionado con actividad mental superior y conciencia, su frecuencia es de 30 a 50 Hz (UNAM y Departamento de Fisiología, 2022).
- Theta: esta frecuencia es de cuatro a ocho Hz mientras que otros autores señalan de cuatro a siete Hz se relacionan con el estrés o trastornos, se logran localizar en la región parietal y temporal. Son menos comunes al resto, con amplitud $>30 \mu\text{V}$ (Mayor L. et al., 2013).

Las ondas de tipo theta tienen relación con el aprendizaje respecto a la memoria asociativa, en la línea media frontal está relacionada con el control cognitivo y de errores, en la unión occipital parietal se relaciona con la codificación espacial y memoria, en zonas frontoparietales con memoria de trabajo y episódica (Herweg et al., 2020).

- Delta: esta frecuencia de 0.5 a cuatro Hz está relacionada con el sueño profundo o enfermedades neuropsiquiátricas, se puede tomar un registro de estas en todas las zonas de la corteza cerebral con un voltaje muy alto 100 a 200 μV , (UNAM y Departamento de Fisiología, 2022) se asocian a la percepción gustativa del cerebro humano sano (Wallroth y Ohla, 2018).

Michel et al. observaron ritmos delta y theta en regiones anteriores y profundas relacionadas con generar frecuencias relacionadas a estados de pensamiento abstracto y pensamientos de origen visual en zonas superficiales (Michel et al., 1993).

Franco refiere que la EMTr está basada en principios de electricidad y magnetismo de Michael Faraday (1831) que aplicado en la superficie del cráneo estimula regiones corticales para procesos terapéuticos, si es ≤ 1 Hz es lenta, y >1 Hz es rápida (Franco, 2004).

El magnetismo y el tratamiento de enfermedades mentales datan desde la medicina egipcia utilizando piedras ferromagnetizadas sobre la cabeza de personas con enfermedades cerebrovasculares (Franco, 2004).

Jacques D'Arsonval (1898) diseñó el primer equipo de estimulación magnética transcraneal (EMT), en 1985 Anthony Barker aplicó la EMT en la neurológica para inducir

no invasivamente cambios en la excitabilidad cortical y conectividad permitiendo investigar usos terapéuticos (Lopez y Kabar, 2023).

En el 2008 John P. O'Reardon ayudó a la aprobación la EMTr por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos para tratamiento en depresión resistente a medicamentos (Hamlin y Garman, 2023), aplicándose para migrañas con aura en 2013, trastorno obsesivo compulsivo en 2017, para dejar de fumar en 2020 y trastorno de ansiedad en 2021 (Cohen et al., 2022).

Actualmente la EMTr se emplea para el tratamiento de trastornos neuropsiquiátricos y neurorehabilitación, pues ofrece procesos de neuro modulación y plasticidad de redes neuronales (León et al., 2018; Malavera et al., 2014; Frech, 2015).

La EMTr de 10Hz hasta 20Hz durante dos a cuatro semanas en la corteza prefrontal dorsolateral izquierda mejora las funciones cognitivas de atención, funciones ejecutivas, aprendizaje, memoria y velocidad de procesamiento significativo (Guse et al., 2010).

La aplicación de EMTr en mujeres sanas en la corteza prefrontal dorsolateral izquierda de un Hz y derecha de 10Hz durante seis minutos con 12 trenes de cinco segundos, con un total 360 pulsos mostró mejora significativa en el rendimiento de memoria de trabajo visuoespacial y en toma de decisiones verídicas, la EMTr prefrontal mejoró la actividad neuronal de regiones corticales remotas interconectadas con sitios de estimulación a través de fascículos longitudinales (Tulviste et al., 2016).

Malavera describe que la EMTr logra alcanzar zonas más internas del cerebro de acuerdo con la capacidad de su campo magnético y las conexiones posinápticas producidas por las neuronas incentivando cambios en córtex cerebral (Malavera et al., 2014).

Hou Wentao aplicó EMTr en ratones por 14 días con 1000 pulsos diarios durante 2 horas, con boina circular de 14mm, intensidad de 3.6 Tesla y 15 Hz, aplicado en zona paralela al hueso parietal. Observando mejora de la función neuronal al cambiar la actividad de los canales iónicos optimizando las funciones cognitivas y eléctricas en las neuronas del giro dentado del hipocampo (Wentao et al., 2023).

En un estudio donde participaron alumnos del primer semestre de ciencias de la salud de la UJED, de estos el 29% mostró menor desempeño escolar y actividad cerebral lenta del rango delta, Además, en participantes con calificación promedio o mayor a la media se observó actividad alfa en T3 (Ríos et al., 2015).

La EMTr está contraindicada para pacientes con implantación de dispositivos médicos de materiales metálicos, o ferromagnéticos ubicados en áreas del cerebro, cabeza y cuello,

marcapasos, implantes cocleares e incluso dentales si la bobina se aplica a menos de 10 centímetros de distancia del objeto (Tikka et al., 2023), enfermedad cerebral activa, la abstinencia al alcohol o drogas por predisponer a padecer convulsiones la tasa de riesgo es menor al 1% (Stultz et al., 2020), en antecedentes de epilepsia las contraindicaciones influyen de acuerdo con la intensidad del pulso magnético y frecuencia, la cual actualmente estandarizada no genera complicaciones.

La EMTr se emplea incluso como tratamiento para la epilepsia bajo el cumplimiento de las pautas de seguridad (Fitzgerald y Daskalakis, 2013), aplicada con frecuencia de 9.3 a un Hz, mostrando reducción en la excitabilidad cortical (Jan, 2017; Mikellides et al., 2021; Starnes et al., 2022)

Con EMTr de un Hz a 20 Hz el efecto adverso más común es la cefalea leve (Bakulin et al., 2023).

Materiales y metodos

El tipo de Investigación desarrollada fue cuasiexperimental, prospectiva y longitudinal. Empleando muestreo no probabilístico por conveniencia de un universo de 70 alumnos de 3er semestre de medicina FAMEN UJED de los que previa firma de consentimiento informado participaron seis.

El grupo de estudio estuvo conformado por tres personas del sexo masculino y tres del sexo femenino, con edades entre los 19 y 22 años.

En la población estudiada se descartaron trastornos neurológicos y/o psiquiátricos mediante encuesta clínica. El promedio escolar inicial y final a la EMTr se tomó del Kardex institucional proporcionado por el propio participante.

La actividad cerebral se obtuvo mediante qEEG antes de iniciar la EMTr durante el mes de febrero y al finalizar las sesiones de EMTr (mes de junio), para su realización los participantes acudieron con el pelo seco previo aseo exhaustivo del mismo, se colocaron los electrodos de electroencefalografía (16 puntos de registro) de acuerdo con la normal 10/20 internacional, registrando la actividad cerebral en una condición de reposo con ojos cerrados, durante cinco minutos. El registro electroencefalográfico obtenido fue matemáticamente procesado con software para la transformada rápida de Fourier obteniendo los diferentes ritmos cerebrales y su respectiva amplitud y frecuencia en cada uno de los puntos de registro, con estos datos matemáticos se formó la base de datos para su análisis.

La EMTr se aplicó en una sesión semanal de 40 minutos, por 10 semanas durante el semestre A 2023, intensidad de seis gauss y frecuencia de 100 Hz, en trenes intermitentes con duración de tres segundos seguidos de un segundo sin estimulación, la EMTr fue aplicada con una bobina circular de 10cm de diámetro, sobre la porción media y anterior del cráneo posicionándola a la mitad de la distancia entre el vertex craneal y nasión. Sin modificaciones en fenómenos físicoacústicos del entorno ambiental convencional. Los participantes acudieron a las sesiones en una condición fisiológica convencional de sus hábitos físicos y alimenticios personales.

La base de datos se conformó por las características sociodemográficas del grupo estudiado, el promedio escolar de cada participante obtenido previo y posterior a la EMTr y el registro electroencefalográfico del poder absoluto (microvoltios al cuadrado), la frecuencia dominante y la frecuencia media en Hertz de cada uno de los puntos de registro (electrodos), utilizando un análisis estadístico descriptivo, comparativo y correlacional empelando el programa SPSS versión 21.

Consideraciones éticas

El proyecto fue registrado y aprobado por el comité de investigación FAMEN UJED con dictamen 002 con fecha de aprobación del 3 de diciembre del 2020 y por el comité de ética e investigación FAMEN UJED con número de registro único CEI-FAMEN 05 con fecha del 17 de noviembre de 2020.

Limitaciones

La primera limitación en la realización de este estudio fue la falta de interés por parte de las personas invitadas a participar en el estudio. En segundo lugar, los estudiantes tienen dificultades para la asistencia a las sesiones de EMTr por imprevistos muy frecuentes en sus actividades escolares lo que requirió buscar los espacios de tiempo donde los alumnos pudieran acudir a recibir la EMTr por el tiempo programado para cada semana. Y por último la falta de inmobiliario con mayor comodidad para la aplicación de la EMTr.

Resultados

A las variables correspondientes con la actividad cerebral les fue evaluada su confiabilidad mediante el Alfa de Cronbach, considerando en una primera evaluación a todas las bandas de frecuencia (ALL RANGE), así como en forma dividida por cada banda de frecuencia, ver tabla 1.

Tabla 1. Alfa de Cronbach.

Bandas de frecuencia	Alfa de Cronbach
ALL RANGE (8.5 a 30 Hz)	0.867
DELTA (0.5 a 3.9 Hz)	0.901
THETA (4 a 7.9 Hz)	0.926
ALPHA (8 a 12.9 Hz)	0.930
BETA LF (13 a 19.9 Hz)	0.867
BETA HF (20 a 29.9 Hz)	0.863

Fuente: Elaboración propia

El promedio escolar previo a EMTr mostró diferencias con respecto al promedio escolar posterior a EMTr (Ver tabla 2) al ser analizada mediante la t de student mostró una $t=-3.253$ con una de $p= 0.023$.

Tabla 2. Promedio escolar.

Promedio escolar inicial	Promedio escolar final
8.03	8.55

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la aplicación completa de EMTr (Variables identificadas con una letra B mayúscula al final), se observó correlacion negativa significativa entre el promedio escolar y en una de las variables de la actividad cerebral; T5HzDB, correspondiente ALL RANGE. (Ver tabla 3). En este mismo proceso de analisis correlacional entre el promedio escolar y cada uno de los grupo de bandas de frecuencia especificos se observó significancia (ver tabla 3).

Tabla 3. Correlacion de Pearson.

Frecuencia	variable	r	P
ALL RANGE	T5HzDB	-0.824	0.044
DELTA	T5HzDB	-0.825	0.045
THETA	F3HzDB	0.859	0.028

Fuente: Elaboración propia

Las demas variables de la actividad cerebral tanto de poder absoluto como de frecuencia dominante y frecuencia media no presentaron correlación estadísticamente significativa.

Discusión

El promedio escolar inicial, del grupo de estudio, mostró diferencia estadísticamente significativa al finalizar la aplicación de la EMTr,

La correlación negativa fuerte entre el promedio escolar y T5HzDB, considerando que esta área de registro del qEEG está cercana al área de Wernicke y participa en comprensión de los sonidos del habla y descodificación fonética que son importantes para el aprendizaje de hábitos, asociativo y consciente (Castaño, 2003; Cano, 2019), hace destacar que la mejora del promedio escolar pueda ser originada por la EMTr al haber mejor función neurocognitiva.

La correlación con cada una de las bandas frecuencia con el promedio escolar se confirma con ritmos lentos Delta y Theta. Evidenciando que en T5HzDB a menor frecuencia dominante Delta el promedio escolar es mayor (Ver tabla 3).

También se observó correlación positiva fuerte entre el ritmo Theta de F3HzDB y promedio escolar, identificándose que a mayor frecuencia Theta dominante en el área descrita el promedio escolar es mayor (Ver tabla 3).

La actividad theta dominante en áreas cercanas a F3 está relacionada a los procesos de aprendizaje, memoria asociativa, memoria de trabajo, memoria episódica, control cognitivo y de errores. (Herweg et al., 2020). Por lo tanto, la aplicación de EMTr puede ser considerada como una herramienta para propiciar mejor promedio escolar.

Conclusión

Al comparar el promedio escolar del grupo de estudio obtenido al inicio del ciclo escolar con el del final del mismo y de la aplicación total de las sesiones de EMTr mostró incremento estadísticamente significativo, por lo que es posible hacer la recomendación de la aplicación de EMTr en apoyo y atención para mejorar el desempeño escolar en la educación universitaria.

Futuras líneas de investigación

De manera convencional para el ingreso y continuidad de los estudiantes en educación superior, por parte de las instituciones educativas, no se toma en consideración la evaluación del funcionamiento del órgano responsable del aprendizaje, que justamente es el cerebro. Por lo anterior y derivado de los resultados obtenidos en el presente trabajo es pertinente que además de las evaluaciones que ya se emplean para ingresar a la educación universitaria, se abran oportunidades de nuevas líneas de investigación que apoyen la posibilidad de propiciar mejoría en el funcionamiento neurocognitivo con base en las necesidades que permiten ser identificadas en este tipo de trabajos de investigación como el presente; de esa manera, la sugerencia de línea de investigación es evaluación electrofisiológica cerebral y aplicación de EMTr en aquellos alumnos de educación superior que lo pudiesen requerir acorde a los resultados de su evaluación neurofisiológica cognitiva. Por parte de los investigadores del presente trabajo es importante se continúe el proyecto incrementando el número de participantes en estudio para verificar la replicabilidad del fenómeno observado.

Agradecimientos

Para las unidades académicas que dieron oportunidad para desarrollar el presente proyectó que fueron la Facultad de Medicina y Nutrición, el Instituto de Investigación Científica, (ambas instituciones de la universidad Juárez del estado de Durango campus Durango) y a los alumnos que voluntariamente participaron en el proyecto.

Referencias

- Abdallah, R. T. y Coleman, G. M. (2023). *Advanced Anesthesia Review*, Electroencephalograms, In A. Abd-Elseyed (Ed.) (pp. 54-C20.S4). Oxford University Press New York. <https://doi.org/10.1093/med/9780197584521.003.0020>
- Arreola M. G. y Hernandez C. E. (2021). *El rendimiento académico y su relación con algunos factores asociados al aprendizaje en alumnos de educación superior*. (1ª ed., Vol. 1). Universidad Pedagógica de Durango. <http://www.upd.edu.mx/PDF/Libros/RendimientoAcademico.pdf>
- Bakulin, I. S., Zabirowa, A. Kh., Poydasheva, A. G., Lagoda, D. Yu., Suponeva, N. A. y Piradov, M. A. (2023). Safety and tolerability of repetitive transcranial magnetic stimulation: an analysis of over 1200 sessions. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*, 15(3), 35-40. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-3-35-40>
- Cano Astorga, N. (2019). *Microanatomía de la Corteza cerebral Humana: Sinaptología del neuropilo de la capa III del área 21 de Brodmann*. Universidad Autónoma de Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/212963>
- Castaño J. (2003). Bases neurobiológicas del lenguaje y sus alteraciones. *Revista de Neurología*, 36(8), <https://neurologia.com/articulo/2002206>
- Clayton, M. S., Yeung, N. y Cohen Kadosh, R. (2018). The many characters of visual alpha oscillations. *European Journal of Neuroscience*, 48(7), 2498-2508. <https://doi.org/10.1111/ejn.13747>
- Cohen, S. L., Bikson, M., Badran, B. W. y George, M. S. (2022). A visual and narrative timeline of US FDA milestones for Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) devices. *Brain Stimulation*, 15(1), 73-75. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2021.11.010>
- Dorian A. y Mandar J. S. (2006). Neuronal spatial learning. *Neural Processing Letters*, 25(1), 31-47. <https://doi.org/10.1007/s11063-006-9029-2>
- Eimeren L. V., Grabner R.H., Koschutnig K., Reishofer G., Ebner F. y Ansari D. (2010). Structure-function relationships underlying calculation: A combined diffusion tensor imaging and fMRI study, *NeuroImage*, *ELSEVIER*, 52(1), 358-363. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.04.001>.
- El-Baba, R.M. y Schury, M. P. (2023, May 29). *Neuroanatomy, Frontal Cortex*. StatPearls [Internet]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554483/>

- Fitzgerald, P. B. y Daskalakis, Z. J. (2013). rTMS-Associated Adverse Events, Safety and Monitoring. In *Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Treatment for Depressive Disorders* (pp. 81-90). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-36467-9_7
- Ford, B. J. (2009). On Intelligence in Cells: The Case for Whole Cell Biology. *Interdisciplinary Science Reviews*, 34(4), 350-365.
<https://doi.org/10.1179/030801809X12529269201282>
- Franco J. (2004). Estimulación magnética transcraneal: su uso actual en neuropsiquiatría. *MedUNAB*, 7(20). <https://revistas.unab.edu.co/index.php/medunab/article/view/226>
- Frech, A. (2015). Estimulación magnética transcraneal y neuromodulación. Presente y futuro en neurociencias. *Neurología*, 30(4), 256. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.02.001>
- Guse, B., Falkai, P. y Wobrock, T. (2010). Cognitive effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation: a systematic review. *Journal of Neural Transmission*, 117(1), 105-122. <https://doi.org/10.1007/s00702-009-0333-7>
- Guyton, A. C. y Hall, John E. (2016). *Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica*. (13ª ed.).
- Hamlin, D. y Garman, J. (2023). A Brief History of Transcranial Magnetic Stimulation. *American Journal of Psychiatry Residents' Journal*, 18(3), 8-10.
<https://doi.org/10.1176/appi.ajp-rj.2023.180303>
- Herweg, N. A., Solomon, E. A. y Kahana, M. J. (2020). Theta Oscillations in Human Memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(3), 208-227.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.12.006>
- Jan, M. M. (2017). Transcranial Magnetic Stimulation and Epilepsy. *International Journal Of Medical Science And Clinical Invention*, 4(10).
<https://doi.org/10.18535/ijmsci/v4i10.07>
- Javed K., Reddy V., Das J. M. y Wroten M. (2023, July 24). *Neuroanatomy, Wernicke Area*. StatPearls [Internet]. Treasure Island.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK533001/>
- Lamas, H. A. (2015). School Performance. *Propósitos y Representaciones*, 3(1), 351-386.
<https://doi.org/10.20511/pyr2015.v3n1.74>
- León, M., Rodríguez, M. L., Rodríguez, S. L., León, B. J., García E. y Arce, S. (2018). Evidencias actuales sobre la estimulación magnética transcraneal y su utilidad potencial en la neurorrehabilitación postictus: Ampliando horizontes en el tratamiento

- de la enfermedad cerebrovascular. *Neurología*, 33(7), 459-472.
<https://doi.org/10.1016/j.nrl.2016.03.008>
- Lopez, C. L. y Kabar, M. (2023). Historia y principios básicos de la estimulación magnética transcraneal. *Horizonte Médico (Lima)*, 23(3), e2237.
<https://doi.org/10.24265/horizmed.2023.v23n3.09>
- Malavera, M., Silva, F., García, R., Rueda, L. y Carrillo, S. (2014). Fundamentos y aplicaciones clínicas de la estimulación magnética transcraneal en neuropsiquiatría. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 43(1), 32-39. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(14\)70040-X](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(14)70040-X)
- Mayor L. C., Burneo J. y Ochoa J. (2013). *Manual de electroencefalografía: Handbook of Electroencephalography*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes.
https://books.google.com.mx/books?id=c8JdDwAAQBAJ&pg=PA79&hl=es&source=gbp_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false
- Michel, C. M., Henggeler, B., Brandeis, D. y Lehmann, D. (1993). Localization of sources of brain alpha/theta/delta activity and the influence of the mode of spontaneous mentation. *Physiological Measurement*, 14(4A), A21-A26.
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/14/4A/004>
- Mikellides, G., Michael, P., Schuhmann, T. y Sack, A. T. (2021). TMS-Induced Seizure during FDA-Approved Bilateral DMPFC Protocol for Treating OCD: A Case Report. *Case Reports in Neurology*, 13(3), 584-590. <https://doi.org/10.1159/000518999>
- Reis, H., Guatimosim, C., Paquet, M., Santos, M., Ribeiro, F., Kummer, A., Schenatto, G., Salgado, J., Vieira, L., Teixeira, A. y Palotas, A. (2009). Neuro-Transmitters in the Central Nervous System and their Implication in Learning and Memory Processes. *Current Medicinal Chemistry*, 16(7), 796-840.
<https://doi.org/10.2174/092986709787549271>
- Ríos J., Tinoco H. y Fernández J. (2015). Electroencefalografía y desempeño académico en estudiantes de Medicina UJED Durango. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa.*, 2(4), 16-17.
<https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/367/0>
- Starnes, K., Britton, J. W., Burkholder, D. B., Suchita, I. A., Gregg, N. M., Klassen, B. T. y Lundstrom, B. N. (2022). Case Report: Prolonged Effects of Short-Term Transcranial Magnetic Stimulation on EEG Biomarkers, Spectral Power, and Seizure Frequency. *Frontiers in Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.866212>

- Stultz, D. J., Osburn, S., Burns, T., Pawlowska-Wajswol, S. y Walton, R. (2020). Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Safety with Respect to Seizures: A Literature Review. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, Vol. 16, 2989–3000. <https://doi.org/10.2147/NDT.S276635>
- Tikka, S., Siddiqui, Ma., Garg, S., Patojoshi, A. y Gautam, M. (2023). Clinical practice guidelines for the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation in neuropsychiatric disorders. *Indian Journal of Psychiatry*, 65(2), 270. https://doi.org/10.4103/indianjpsychiatry.indianjpsychiatry_492_22
- Tulviste, J., Goldberg, E., Podell, K. y Bachmann, T. (2016). Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on non-veridical decision making. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 76(3), 182-191. <https://doi.org/10.21307/ane-2017-018>
- Universidad Juárez del Estado de Durango UJED. (2018). *Anuario estadístico UJED 2018*. https://www.ujed.mx/doc/publicaciones/anuarios-estadisticos/Anuario_estadistico_2018.pdf
- Universidad Juárez del Estado de Durango UJED. (12 de julio de 2019). *Se fortalece la tutoría para evitar la reprobación, deserción y abandono escolar en UJED*. Dirección de Comunicación Social. <https://www.ujed.mx/noticias/2019/07/se-fortalece-la-tutoria-para-evitar-la-reprobacion-desercion-y-abandono-escolar-en-ujed>
- Universidad Juárez del Estado de Durango UJED (2021). *Anuario estadístico UJED 2021*. https://www.ujed.mx/doc/publicaciones/anuarios-estadisticos/Anuario_estadistico_2021.pdf
- Universidad Juárez del Estado de Durango UJED. (2022). *Bianuario estadístico UJED 2019-2020*. https://www.ujed.mx/doc/publicaciones/anuarios-estadisticos/Bianuario_estadistico_2022.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM y Departamento de fisiología, (2022). Fisiología de la actividad eléctrica del cerebro. En fisiologia.famed.unam.mx [Digital]. <https://fisiologia.famed.unam.mx/wp-content/uploads/2019/09/UTI-pr%C3%A1ctica-7-a.-Electroencefalograma.pdf>
- Vera J. A., Ramos D. Y., Sotelo M. A., Echeverría S., Serrano D.M. y Vales J. J. (2012). Factores asociados al rezago en estudiantes de una institución de educación superior en México. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 3(7), 41-56.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-28722012000200003

Wallroth R. y Ohla K. (2018). Delta activity encodes taste information in the human brain. *BioRxiv* (Cold Spring Harbor Laboratory) *Neuroimage*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1101/300194>

Wentao H., Rui F., Mingqiang Z., Haijun Z. y Chong D. (2023). Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on neuronal excitability and ion channels in hindlimb unloading mice. *Journal of Biomedical Engineering*, 40(1), 8-19.

<https://doi.org/10.7507/1001-5515.202205008>

Rol de Contribución	Autor (es)
Conceptualización	José Alejandro Ríos Valles (igual), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual).
Metodología	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (apoyo).
Software	Laura Ernestina Barragán Ledesma (igual), José Alejandro Ríos Valles (igual), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (apoyo), Osmel La Llave León (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).
Validación	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual), Osmel La Llave León (apoyo).
Análisis Formal	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual), Osmel La Llave León (apoyo), Laura Ernestina Barragán Ledesma (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).
Investigación	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual), Osmel La Llave León (apoyo), Laura Ernestina Barragán Ledesma (apoyo).
Recursos	José Alejandro Ríos Valles (igual), Laura Ernestina Barragán Ledesma (igual), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (apoyo), Osmel La Llave León (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).
Curación de datos	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual), Laura Ernestina Barragán Ledesma (apoyo), Osmel La Llave León (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).
Escritura - Preparación del borrador original	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual), Laura Ernestina Barragán Ledesma (apoyo), Osmel La Llave León (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).
Escritura - Revisión y edición	José Alejandro Ríos Valles (igual), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual).
Visualización	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual).
Supervisión	José Alejandro Ríos Valles (principal).

Administración de Proyectos	José Alejandro Ríos Valles (principal), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (igual).
Adquisición de fondos	José Alejandro Ríos Valles (principal), Laura Ernestina Barragán Ledesma (igual), Hiatic Dal Mitzi Aldama Santos (apoyo), Osmel La Llave León (apoyo), Jesús Abraham Soto Rivera (apoyo), Sagrario Lizeth Salas Name (apoyo).