

## Historia y principios básicos de la estimulación magnética transcraneal

Luis López Chau\* <sup>1,2,a,b</sup>; Michael Kabar <sup>1,c</sup>

### RESUMEN

La estimulación magnética transcraneal (EMT) es una técnica no invasiva que consiste en la utilización de campos magnéticos para estimular a las neuronas de la corteza cerebral.

Si bien la electricidad se ha pretendido emplear previamente en el campo de la medicina, la historia de la EMT se remonta al descubrimiento de la inducción electromagnética, por Faraday, en el siglo XIX. Sin embargo, no fue hasta la década de 1980 cuando Anthony Barker, en la Universidad de Sheffield, desarrolló el primer dispositivo de EMT.

La EMT funciona mediante una bobina colocada en el cuero cabelludo, la cual produce un campo magnético que puede atravesar el cráneo y estimular las neuronas corticales. La intensidad y la frecuencia del campo magnético pueden ajustarse para dirigirse a zonas específicas del cerebro y producir efectos excitatorios e inhibitorios.

Los principios de la EMT se basan en el concepto de neuroplasticidad, que se refiere a la capacidad del cerebro para cambiar y adaptarse en respuesta a nuevas experiencias y estímulos. Al estimular las neuronas del cerebro con la EMT, es posible inducir cambios en la actividad neuronal y la conectividad, lo que a su vez puede provocar cambios cognitivos y en el estado de ánimo.

**Palabras clave:** Estimulación Magnética Transcraneal; Campos Magnéticos; Excitabilidad Cortical (Fuente: DeCS BIREME).

## History and basic principles of transcranial magnetic stimulation

### ABSTRACT

Transcranial magnetic stimulation (TMS) is a noninvasive technique that uses magnetic fields to stimulate neurons in the cerebral cortex.

While electricity has previously been intended to be used in the medical field, the history of TMS dates back to the discovery of electromagnetic induction by Faraday in the 19th century. However, it was not until the 1980s when Anthony Barker developed the first TMS device at the University of Sheffield.

TMS works by means of a coil placed against the scalp, thereby producing a magnetic field. This magnetic field can pass through the skull and stimulate cortical neurons. The intensity and frequency of the magnetic field can be adjusted to target specific areas of the brain and produce excitatory and inhibitory effects.

The principles of TMS are based on the concept of neuroplasticity, which refers to the brain's ability to change and adapt in response to new experiences and stimuli. By stimulating neurons in the brain with TMS, it is possible to cause changes in neuronal activity and connectivity, which in turn can lead to cognitive and mood changes.

**Keywords:** Transcranial Magnetic Stimulation; Magnetic Fields; Cortical Excitability (Source: MeSH NLM).

---

1 Instituto de Neuroestimulación de Lima. Lima, Perú.

2 Universidad de San Martín de Porres, Facultad de Medicina Humana. Lima, Perú.

a Médico cirujano.

b Máster en Neurociencias y Salud Mental.

c Médico cirujano, especialista en Psiquiatría.

\*Autor corresponsal.

## INTRODUCCIÓN

La estimulación magnética transcraneal (TMS por sus siglas en inglés: *Transcranial Magnetic Stimulation*) es una técnica de estimulación cerebral no invasiva que utiliza campos magnéticos alternantes para generar impulsos eléctricos capaces de estimular o inhibir la actividad cortical. Estos estímulos pueden registrarse por electromiografía y/o electroencefalografía para tener evidencia de su actividad fisiológica <sup>(1)</sup>.

Si bien la estimulación cerebral no invasiva es un procedimiento médico relativamente nuevo, la idea de usar un campo magnético o alguna fuente de electricidad para estimular el cerebro con fines médicos tiene una larga historia. Las formas más antiguas de estimulación eléctrica son muy diferentes a la estimulación cerebral no invasiva moderna <sup>(2)</sup>. La primera mención de estimulación eléctrica en la práctica médica data del año 46 d. C., cuando el médico de la corte del emperador Claudio, Scribonius Largus, describió que la anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*) (Figura 1A) era usada para el alivio del dolor por gota <sup>(3)</sup>.

En el siglo XVII, el inglés William Gilbert acuñó el término “electricidad” en su propósito de explicar las propiedades de atracción de la piedra ámbar. En 1743, el médico alemán Johann Gottlob Krüger dijo a sus alumnos “Todas las cosas deben tener una utilidad [...]. Como la electricidad debe tener una utilidad, y hemos visto que no se puede buscar ni en la teología ni en la jurisprudencia, evidentemente no queda más que la medicina” <sup>(4)</sup>.

A fines del siglo XVIII, en la Universidad de Boloña en Italia, Luigi Galvani describió que la estimulación eléctrica producía contracciones en los músculos de la pierna de una rana. Posteriormente, Alessandro Volta logró demostrar que este efecto (denominado “galvánico”) no necesita contacto directo con el espécimen animal <sup>(5,6)</sup>.

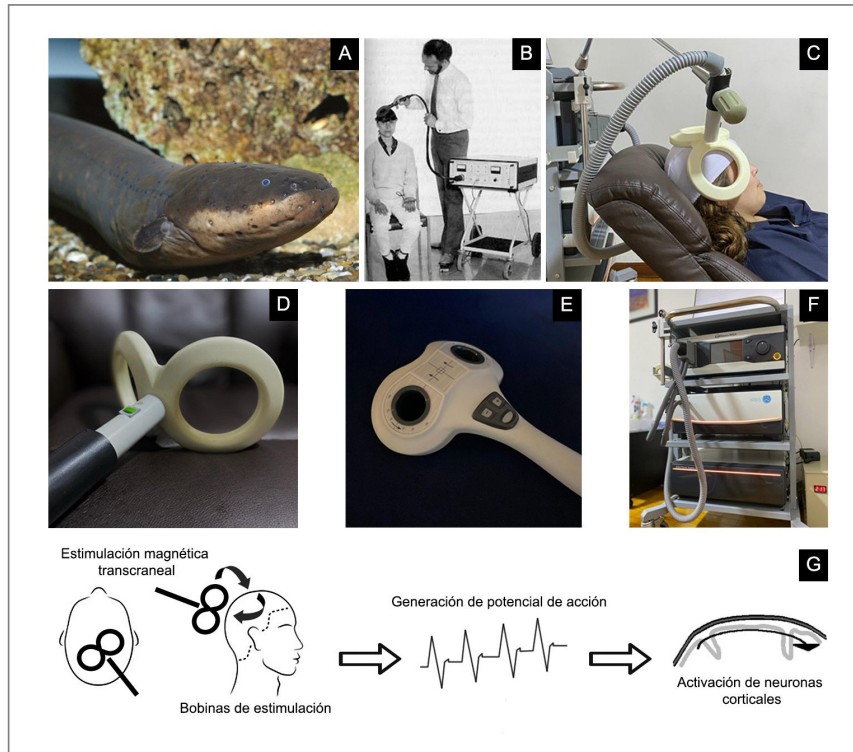
El objetivo de esta revisión histórica es repasar los principios biofísicos de la EMT y mencionar algunas aplicaciones clínicas demostradas a la fecha y otras que continúan en investigación. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica de publicaciones en inglés desde principios del siglo veinte hasta la fecha.

## La ciencia de la estimulación magnética transcraneal

En 1820, el físico danés Oersted demostró, empíricamente, la relación entre electricidad y magnetismo <sup>(7)</sup>. Luego, Michael Faraday, en 1831, describe por primera vez la relación entre un campo magnético y la electricidad. Según Faraday, una corriente eléctrica puede ser inducida en un circuito por medio de un cambio en el campo magnético; por ejemplo, breves pulsos de corriente en el circuito primario o moviéndola respecto al secundario. Faraday pudo observar que este efecto era causado por el flujo magnético creado por un circuito alternante y que estos cambios en el flujo magnético inducían un campo eléctrico <sup>(8)</sup>. Esto se denomina “fuerza electromotriz”, y es responsable del flujo de corriente inducido por un campo electromagnético. La magnitud de este efecto puede ser cuantificada matemáticamente y expresada en la fórmula de la ley de Faraday, que sostiene que “la magnitud de la fuerza electromotriz en un circuito es directamente proporcional a la tasa de variación temporal del flujo magnético que atraviesa cualquier superficie del borde del circuito” <sup>(9)</sup>.

Años después, Nikola Tesla investigó los cambios fisiológicos producidos por los flujos de corriente de alta frecuencia usando grandes bobinas, cuyos efectos producían ionización del aire entre ellas, lo que era descrito por los pacientes entre las bobinas como “un bombardeo de piedras de granizo en miniatura” <sup>(10)</sup>.

Jacques-Arsène d'Arsonval, en 1896, fue el primero en desarrollar un dispositivo similar a un estimulador magnético moderno. Este consistía en una gran bobina que producía una corriente de 110 voltios a 42 Hz y 30 amperios, la cual fue aplicada a seres humanos en diversos experimentos. Las respuestas fisiológicas y sensaciones reportadas por d'Arsonval fueron variadas, incluidos dilatación de vasos sanguíneos, vértigo y la presencia de fosfenos. Los fosfenos (percepción de pulsos de luz sin estímulo que la genere) son producidos por los dispositivos modernos de estimulación magnética cuando se estimula la corteza visual occipital. Es posible que el área haya sido estimulada durante los experimentos de d'Arsonval, aunque, conociendo la capacidad de la tecnología de la época, parece más probable que fueran el resultado de una estimulación directa de la retina <sup>(3)</sup>.



**Figura 1.** Historia y principios de la estimulación magnética transcranial. (A) Anguila eléctrica sudamericana, un pez eléctrico de hasta 2 m, que utiliza la electricidad de distintos modos: voltajes bajos (órgano de Sach) a modo de órgano sensorial para su entorno y voltajes altos para detectar una presa y aturdirlo; también puede generar electricidad desde unos 10 V a 25 Hz hasta 480 V y varios cientos de Hz. (B) Físico inglés Anthony Barker con su primer dispositivo de estimulación magnética transcranial, con el que logró producir contracciones en los músculos de la mano al estimular la corteza motora. (C) Estimulador magnético transcranial con una bobina de doble-cono posicionada sobre la corteza prefrontal dorsolateral derecha de un paciente con depresión mayor refractaria al tratamiento, una de las indicaciones aprobada por la Food and Drug Administration (FDA). (D) Bobina de doble cono Neurosoft DCC-02-125 de 125 mm con sistema de líquido de enfriamiento. (E) Bobina en figura de ocho Neurosoft FEC-03-100 de 100 mm con sistema de refrigeración líquido. (F) Torre con equipo bifásico de neuroestimulación Neurosoft Neuro-MSX con sistema de enfriamiento líquido y doble fuente de poder con capacidad de producir frecuencias de estimulación hasta de 100 Hz y hasta 2000 Hz en ondas theta. (G) Bobina de TMS colocada sobre la región del cuero cabelludo que recubre las localizaciones corticales específicas en las que queremos inducir una corriente, la cual se mueve en dirección postero-anterior, perpendicular a las neuronas piramidales descendentes y paralela a las interneuronas que modulan la activación de las células piramidales.

Algunos años después, en 1902, un dispositivo diseñado y patentado por Beer<sup>(11)</sup> en Viena para tratar la depresión y otra neurosis fue usado por Thompson<sup>(12)</sup>, logrando producir sensaciones visuales y gustativas. Magnusson y Stevens, mediante el uso de dos bobinas elípticas, permitieron producir sensaciones visuales parpadeantes y barras luminosas horizontales<sup>(13)</sup>. El interés en esta área decayó en la primera mitad del siglo XX debido al uso de otras herramientas para estudiar y estimular el sistema nervioso central, usadas como potencial tratamiento de enfermedades psiquiátricas.

En los años cincuenta, nuevamente, hubo un intento de

estimular directamente la actividad cerebral. Se empleó estimulación eléctrica directa sobre el cuero cabelludo en sujetos humanos en vigilia. Sin embargo, su uso estuvo limitado por el alto grado de incomodidad del procedimiento<sup>(14)</sup>. Diversos tipos de estimulación eléctrica de baja intensidad se usaron durante esos años, pero con un conocimiento limitado de los efectos de esas formas de estimulación sobre el tejido cerebral. A principios de los 80, se demostró que un corto pulso eléctrico de voltaje elevado sobre el cuero cabelludo podía estimular de manera no invasiva la corteza motora. Sin embargo, este procedimiento era doloroso y, por ende, de poca utilidad práctica<sup>(15)</sup>.

### **La estimulación magnética moderna**

En 1985, Anthony Barker (Sheffield, Inglaterra) (Figura 1B) desarrolló un dispositivo capaz de generar un campo electromagnético lo suficientemente potente como para estimular actividad cortical en el cerebro humano a través del cuero cabelludo. Con ello se inició la aplicación moderna de la EMT <sup>(16)</sup>. Este estimulador captó la atención de neurofisiólogos y neurólogos, pues el dispositivo permitía estudiar la conducción nerviosa de las neuronas piramidales de la corteza hacia la periferia. Un hito muy importante en el uso de la EMT fue el desarrollo de estimuladores con la capacidad de emitir pulsos repetitivos a frecuencias de 1 Hz o más. Estudios posteriores demostraron al poco tiempo que la estimulación repetitiva por medio de estos pulsos podía, potencialmente, modular la excitabilidad de la corteza, ya sea incrementando o disminuyendo la actividad cortical. Como es de esperar, esto atrajo interés por el uso terapéutico potencial de estos dispositivos.

La primera aplicación terapéutica de estos estimuladores fue la modulación del estado de ánimo en pacientes con trastornos depresivos. Estudios en sujetos sanos demostraron que el estado de ánimo podía ser modificado de una manera positiva; igualmente, estudios clínicos preliminares en pacientes con depresión tuvieron resultados alentadores a mediados de la década de los noventa <sup>(17)</sup>. A partir de ese momento se han llevado a cabo ensayos clínicos aleatorizados que exploran el uso de la estimulación magnética transcraneal en una variedad de trastornos neuropsiquiátricos y, al mismo tiempo, afianzan la ciencia utilizada para desarrollar protocolos de investigación.

### **Principios básicos**

La EMT se basa en la ley de inducción magnética de Michael Faraday, quien demostró que la corriente puede ser inducida a otro circuito cuando es acercada a un circuito en donde la corriente fluye de manera alternante en el tiempo. Este cambio en la corriente eléctrica inicial produce un campo magnético que induce la corriente secundaria en el material conductor contiguo <sup>(18)</sup>.

Una carga eléctrica de muy alta intensidad (varios miles de amperios) es almacenada en capacitores del dispositivo de EMT, la cual es descargada rápidamente, de tal manera que la corriente fluye a través de la bobina del estimulador y es conmutada a velocidad (100 microsegundos). Este proceso de carga y descarga de los capacitores es regulado por un semiconductor de tipo tiristor que puede manejar grandes cantidades de voltaje, así como de corriente. Este campo eléctrico variante produce un campo magnético significativo (aproximadamente 2 teslas) capaz de inducir

un campo eléctrico en las capas superficiales de la corteza cerebral (Figura 1C). Si este campo eléctrico es suficientemente fuerte, puede ocasionar despolarización de las neuronas piramidales, por ende, activa directa o indirectamente dendritas e interneuronas <sup>(9)</sup>.

Este proceso ocurre de manera eficiente, debido a que no existe resistencia efectiva en el paso del campo magnético desde el cuero cabelludo hacia el cráneo, por tanto, la EMT funciona como una manera de inducir corriente eléctrica en el cerebro sin necesidad de utilizar estimulación directa sobre el cuero cabelludo. No obstante, la distancia entre la bobina de estimulación y el tejido cerebral implica un rápido decaimiento de la fuerza del campo magnético en función a la distancia <sup>(19)</sup>.

Los circuitos del estimulador son los que determinan el tipo de pulso emitido por el dispositivo de EMT: el tipo bifásico, que es sinusoidal, de menor duración, capaz de producir EMT a altas frecuencias para uso terapéutico; el tipo monofásico, que tiene una rápida elevación seguida por un lento decaimiento hasta la línea basal, típicamente usada en investigación. Los pulsos monofásicos y bifásicos pueden tener efectos distintos en la actividad neuronal y no pueden usarse de manera indistinta o intercambiable <sup>(20)</sup>.

Existe variedad de bobinas utilizadas para la EMT (Figura 1D). Inicialmente se utilizaron bobinas circulares, donde el enrollado de la bobina estaba concentrado en una banda en la periferia del círculo, usualmente de entre 7 y 10 cm de diámetro. Este tipo de bobina tenía poco foco de estimulación, ya que el área pico se encontraba bajo el anillo. Uno de los tipos de bobina de mayor uso, tanto en investigación como en intervenciones terapéuticas, es la bobina en “figura de ocho” <sup>(21)</sup>. Esta consiste en dos bobinas circulares dispuestas de manera paralela (Figura 1E). Esto produce un mejor foco de estimulación, donde el punto central de estímulo se encuentra bajo la unión de las dos bobinas circulares. Las bobinas de figura de ocho producen un área de activación cortical de aproximadamente 2-3 cm<sup>2</sup> y una profundidad de aproximadamente 2 cm. Estas bobinas son colocadas sobre la corteza a 45 grados de la línea media y perpendicular al surco central. Esto induce una corriente que se mueve en dirección postero-anterior, perpendicular a las neuronas piramidales descendentes y paralela a las interneuronas que modulan la activación de las células piramidales <sup>(22)</sup>. Las bobinas en figura de ocho pueden ser fabricadas con un centro de aire (con espacio entre los enrollados de la bobina) o con un centro de acero, y tienen la ventaja de requerir menos energía para producir campos magnéticos más potentes y generar menos calor. La generación de calor puede ser manejada con sistemas de enfriamiento, usando aire o líquido para disipar el calor generado en el interior de las bobinas (Figura 1F).

Adicionalmente, existen bobinas novedosas en donde las bobinas de la figura de ocho pueden estar anguladas (bobinas de doble cono) para poder estimular zonas más profundas del cerebro<sup>(23)</sup>. Un ejemplo son aquellas llamadas bobinas H, que consisten en múltiples enrollados de bobinas para generar áreas de estimulación de hasta 6 cm por debajo de la corteza cerebral<sup>(24)</sup>. Los fabricantes continúan desarrollando equipamiento para bobinas distintas, por lo que es muy probable que nuevas opciones estén disponibles en los próximos años.

### **Estimulación magnética transcraneal repetitiva**

En un principio, los dispositivos de EMT fueron desarrollados para producir actividad cortical transitoria mediante la emisión de un pulso único. Sin embargo, el desarrollo tecnológico permitió generar pulsos repetitivos, usualmente entre 1 y 20 Hz. La EMT repetitiva (EMTr) ha permitido la estimulación no invasiva para modular la actividad cerebral. La mayoría de los dispositivos eran capaces de generar frecuencias mayores de estimulación usando pulsos de estímulos bipolares que, en contraste con los estimuladores unipolares utilizados actualmente, son de más corta duración y requieren menor energía para producir excitabilidad neuronal. De este modo, los capacitores pueden cargar y descargar rápidamente, lo que permite mayores ratios de estimulación<sup>(25)</sup> (Figura 1G).

La estimulación repetitiva puede excitar o inhibir la actividad cortical dependiendo de la frecuencia de estimulación. La estimulación de baja frecuencia (~1 Hz) por un periodo de 15 minutos puede inducir una inhibición transitoria o disminuir la actividad cortical<sup>(26)</sup>. Los mecanismos de esta inhibición aún no son claros, aunque son un fenómeno similar a la depresión a largo plazo (DLP), en donde la estimulación a baja frecuencia reduce la actividad sináptica en modelos celulares. En contraste, las frecuencias de estimulación superiores a 1 Hz incrementan la activación cortical, análogo al proceso de potenciación a largo plazo (PLP)<sup>(27)</sup>. Esto puede deberse a un incremento transitorio en la eficacia de las sinapsis excitatorias. La mejora de la plasticidad neuronal puede ser también un mecanismo por el cual la EMTr produce cambios en la actividad cerebral. La plasticidad cortical involucra neosinapsis adaptativa en respuesta a estímulos ambientales. La plasticidad sináptica ha sido conceptualizada como el mecanismo celular del aprendizaje y la memoria. Según Hebb, esta plasticidad es representada por cambios en la fuerza de unión sináptica en respuesta a la activación coordinada de células, que se manifiestan como DLP y PLP<sup>(28)</sup>. La PLP en parte depende de la activación del receptor ácido N-metil-D-aspartato (NMDA) de doble entrada que funciona como un detector de "coincidencia" molecular. Estos receptores glutamatérgicos permeables al calcio son capaces de contribuir con el aumento a largo plazo de la señal posináptica una vez activada por un

estímulo suficiente como para despolarizar la membrana y aliviar la inhibición magnesio (Mg<sup>2+</sup>) dependiente. La EMTr puede lograr que las neuronas corticales generen una activación constante y repetida de células coactivas, y así producir plasticidad en la corteza<sup>(28,29)</sup>.

Actualmente la EMT está aprobada por la FDA para el tratamiento de la depresión refractaria y el trastorno obsesivo compulsivo<sup>(30)</sup>. Diversos paradigmas de estimulación son estudiados con resultados alentadores para el manejo del dolor, *tinnitus*, trastornos motores, rehabilitación posictus, esquizofrenia, adicciones, espectro autista, epilepsia, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, enfermedad de Alzheimer y otros<sup>(31,32)</sup>.

### **CONCLUSIONES**

Aún falta por conocer cómo estos conceptos apuntalan los efectos de la EMT cuando es aplicada a los circuitos corticales, especialmente cuando es utilizada para tratar patologías como la depresión. Los efectos terapéuticos podrían estar relacionados con alteraciones locales en la excitabilidad cortical como consecuencia de cambios en la capacidad de la zona del cerebro estimulada (*p. ej.* corteza prefrontal dorso lateral) para regular otras áreas relacionadas a la enfermedad, bien a través de variaciones en la fuerza de la conexión entre áreas importantes debido a la estimulación repetida, o con modificaciones en la actividad cerebral en regiones distales alteradas por activación transináptica. Además, como estos mecanismos juegan un rol, pueden ser específicos para cada enfermedad o tipo de estimulación. Es así como el mecanismo de la EMTr podría ser distinto en diferentes patologías.

A pesar de todas estas preguntas aún sin respuesta, la EMTr se ha posicionado como una valiosa herramienta para investigar el rol de áreas corticales en la función cerebral, así como una intervención terapéutica segura y efectiva. Su uso continuará expandiéndose en tanto las aplicaciones clínicas de la EMTr evolucionen y se desarrollen nuevos métodos experimentales que puedan combinarla con otros que evalúen la actividad cerebral, como la resonancia magnética funcional o la electroencefalografía en tiempo real.

**Contribución de los autores:** Los autores participaron en la redacción y revisión crítica del artículo, así como en la aprobación de la versión final. Asimismo, son responsables de garantizar la integridad científica del artículo.

**Fuentes de financiamiento:** Este artículo ha sido financiado en su integridad por los autores.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cambiaghi M, Sconocchia S, Scribonius Largus (probably before 1CE after 48CE). *J Neurol*. 2018;265(10):2466-68.
2. Cao KX, Ma ML, Wang CZ, Iqbal J, Si JJ, Xue YX, et al. TMS-EEG: An emerging tool to study the neurophysiologic biomarkers of psychiatric disorders. *Neuropharmacology*. 2021;197:108574.
3. Fitzgerald PB, Daskalakis ZJ. Repetitive transcranial magnetic stimulation treatment for depressive disorders. En: *Repetitive transcranial magnetic stimulation treatment for depressive disorders*. Springer; 2013. p. 1-123.
4. Janik EL, Jensen MB. Every man his own electric physician: T. Gale and the history of do-it-yourself neurology. *J Neurol Res Ther*. 2016;1(2):17-22.
5. Raghavan M, Fee D, Barkhaus PE. Generation and propagation of the action potential. *Handb Clin Neurol*. 2019;160:3-22.
6. Becker RO, Marino AA. The origins of electrobiology. En: *Electromagnetism and life*. United States of America: State University of New York Press; 1982. p. 3-22.
7. Caneva KL. Ampère, the etherians, and the oersted connexion. *Br J Hist Sci*. 1980;13(2):121-38.
8. Baigrie BS. Electricity and magnetism: a historical perspective. Greenwood Publishing Group; 2007. 194 p.
9. Lefaucheur JP. Transcranial magnetic stimulation. En: Levin KH, Chauvel P, editores. *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier; 2019. p. 559-80. (*Clinical Neurophysiology: Basis and Technical Aspects*; vol. 160).
10. Cheney M. Tesla, man out of time. Prentice Hall; 1981. 358 p.
11. Beer B. Über das auftreten einer objectiven lichtempfindung in magnetischen felde. *Wien klin Wochenschr*. 1902;15:108-9.
12. Thompson SP. A physiological effect of an alternating magnetic field. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*. 1997;82(557):396-8.
13. Magnusson CE, Stevens HC. Visual sensations caused by changes in the strength of a magnetic field. *Am J Physiol*. 1911;29(2):124-36.
14. Gualtierotti T, Paterson AS. Electrical stimulation of the unexposed cerebral cortex. *J Physiol*. 1954;125(2):278-91.
15. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature*. 1980;285(5762):227.
16. Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet*. 1985;1(8437):1106-7.
17. George MS, Wassermann EM, Post RM. Transcranial magnetic stimulation: a neuropsychiatric tool for the 21st century. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*. 1996;8(4):373-82.
18. Rossi S, Hallett M, Rossini PM, Pascual-Leone A. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol*. 2009;120(12):2008-39.
19. Rossini PM, Burke D, Chen R, Cohen LG, Daskalakis Z, Di Iorio R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. *Clin Neurophysiol*. 2015;126(6):1071-107.
20. Goetz SM, Lubner B, Lisanby SH, Murphy DL, Kozyrkov IC, Grill WM, Peterchev AV. Enhancement of neuromodulation with novel pulse shapes generated by controllable pulse parameter transcranial magnetic stimulation. *Brain Stimul*. 2016;9(1):39-47.
21. Schecklmann M, Schmauß M, Klinger F, Kreuzer PM, Krenkel L, Langguth B. Resting motor threshold and magnetic field output of the figure-of-8 and the double-cone coil. *Sci Rep*. 2020;10(1):1644.
22. Amassian VE, Deletis V. Relationships between animal and human corticospinal responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*. 1999;51:79-92.
23. Monteiro DC, Cantilino A. Use of a double-cone coil in transcranial magnetic stimulation for depression treatment. *Neuromodulation*. 2019;22(8):867-70.
24. Bersani FS, Minichino A, Enticott PG, Mazzarini L, Khan N, Antonacci G, et al. Deep transcranial magnetic stimulation as a treatment for psychiatric disorders: A comprehensive review. *Eur Psychiatry*. 2013;28(1):30-9.
25. Chen AR, Fitzgerald PB, Blumberger DM. TMS neurophysiology. En: *A practical guide to transcranial magnetic stimulation neurophysiology and treatment studies*. Oxford, New York: Oxford University Press; 2022. p. 8-10.
26. Valero-Cabré A, Amengual JL, Stengel C, Pascual-Leone A, Coubard OA. Transcranial magnetic stimulation in basic and clinical neuroscience: A comprehensive review of fundamental principles and novel insights. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;83:381-404.
27. Huang YZ, Lu MK, Antal A, Classen J, Nitsche M, Ziemann U, et al. Plasticity induced by non-invasive transcranial brain stimulation: A position paper. *Clin Neurophysiol*. 2017;128(11):2318-29.
28. Klomjai W, Katz R, Lackmy-Vallée A. Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS). *Ann Phys Rehabil Med*. 2015;58(4):208-13.
29. Jannati A, Oberman LM, Rotenberg A, Pascual-Leone A. Assessing the mechanisms of brain plasticity by transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychopharmacology*. 2023;48(1):191-208.
30. Cohen SL, Bikson M, Badran BW, George MS. A visual and narrative timeline of US FDA milestones for transcranial magnetic stimulation (TMS) devices. *Brain Stimul*. 2022;15(1):73-5.
31. Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, Benninger DH, Brunelin J, Di Lazzaro V, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014-2018). *Clin Neurophysiol*. 2020;131(2):474-528.
32. Burke MJ, Fried PJ, Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation: Neurophysiological and clinical applications. *Handb Clin Neurol*. 2019;163:73-92.

## Correspondencia:

Luis López Chau

Dirección: Jirón Punta Sal 625, Dpto. 204, Santiago de Surco, Lima, Perú.

Teléfono: (+51) 959 244 954


Correo electrónico: lopezchau.md@gmail.com

Recibido: 14 de marzo de 2023

Evaluado: 07 de abril de 2023

Aprobado: 04 de mayo de 2023

© La revista. Publicado por la Universidad de San Martín de Porres, Perú.


 Licencia de Creative Commons. Artículo en acceso abierto bajo términos de Licencia Creative Commons. Atribución 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## ORCID iD

Luis López Chau

 <https://orcid.org/00000-0002-9572-7434>

Michael Kabar

 <https://orcid.org/00009-0008-1940-1273>