UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

Estimulación transcraneal por corriente directa para pacientes con lesión medular

Autor: Heredia Moscoso, Anthony Mateo

Tutor: Mgs. Huaraca Coronel María Valeria.

Riobamba, Ecuador

2026

GD.04.04. P02. F16. V00
FECHA: 23-03-2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

CARRERA DE FISIOTERAPIA

TRABAJO DE TITULACIÓN - MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN FISIOTERAPIA

TÍTULO:

Estimulación transcraneal por corriente directa para pacientes con lesión medular

AUTOR:

Heredia Moscoso, Anthony Mateo

TUTOR:

Mgs. Huaraca Coronel María Valeria

Riobamba, Ecuador

2026

© DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Anthony Mateo Heredia Moscoso, con cédula de identidad 065022173-2, autor del trabajo de titulación Estimulación transcraneal por corriente directa para pacientes con lesión medular, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de Elija un elemento. exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 29 de junio de 2026.



ANTHONY MATEO HEREDIA MOSCOSO
NUI: 0650221732

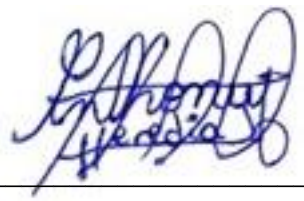
DECLARATORIA SOBRE EL USO DE HERRAMIENTAS DE IA

Yo, Anthony Mateo Heredia Moscoso, con cédula de identidad 065022173-2 autor del presente trabajo de titulación, declaro que el uso de herramientas de inteligencia artificial en la elaboración del presente trabajo de titulación se limitó de manera exclusiva al apoyo en la organización de ideas y a la mejora de la redacción y claridad expositiva, en los apartados de introducción, marco teórico y marco metodológico, sin implicar la generación autónoma de contenidos académicos, análisis, resultados, conclusiones ni aportes propios del proceso investigativo.

Asimismo, dejo constancia de que las decisiones académicas, el desarrollo conceptual, el enfoque metodológico, el análisis de fuentes y la interpretación de resultados son de mi exclusiva responsabilidad.

Finalmente, declaro que el uso de dichas herramientas no sustituyó mi criterio académico, ni vulneró las disposiciones institucionales sobre plagio, propiedad intelectual y autoría, manteniéndose el cumplimiento de las normas de citación y referenciación, con el fin de garantizar la transparencia académica y el uso ético y responsable de tecnologías emergentes en la elaboración del trabajo de titulación.

En Riobamba, 29 de junio de 2026.



ANTHONY MATEO HEREDIA MOSCOSO
NUI: 0650221732

Esta declaratoria será obligatoria únicamente en los casos en que el estudiante haya hecho uso de herramientas de inteligencia artificial.

DEDICATORIA

"Busca la voluntad de Dios en todo lo que hagas, y él te mostrará cuál camino tomar"

Proverbios 3:6

Dedico esta tesis a Dios que me dio la vida, la salud, la sabiduría y conocimiento para la elaboración de este estudio investigativo, a mis padres William Heredia y Amparo Moscoso, que han velado por mi bienestar y me han enseñado a cumplir mis metas, a mis hermanos Matias y Paula Heredia que superarán mis logros y no se limitarán a soñar cada vez más, a mi tía Norma Heredia y mis abuelitos que con su cariño y aprecio me impulsan a no rendirme.

AGRADECIMIENTO

"*Den gracias al Señor porque él es bueno; su gran amor perdura para siempre*"

1 crónicas 16:34

Agradezco a Dios, a mis padres William Heredia y Amparo Moscoso, a mis hermanos, familiares y amigos que fueron mi soporte en los momentos más difíciles de mi vida y mi carrera, apoyándome a mantenerme firme en cada etapa cursada, de la misma manera a todas las personas que me enseñaron a amar más mi vocación, a la Msc. Yuliana Llangari, por mostrarme sus conocimientos a nivel profesional.

ÍNDICE

RESUMEN 9
ABSTRACT 10
INTRODUCCIÓN 11
MARCO REFERENCIAL 14
2.1. Lesión medular 14
2.1.1. Definición 14
2.1.2. Anatomía y fisiología de la médula espinal 14
2.1.3. Epidemiología de la lesión medular 15
2.1.4 Etiología de la lesión medular 15
2.1.5 Clasificación según el tipo de lesión medular 16
***2.1.6.* Fisiopatología de la lesión medular** 17
2.1.7. Manifestaciones clínicas de la lesión medular 18
2.1.8. Neuroplasticidad en la lesión medular 20
2.1.9. Neuromodulación no invasiva 20
2.2 Estimulación transcraneal por corriente continua 21
2.2.1 Definición y fundamentos 21
2.2.2 Principios fisiológicos de acción 22
2.2.3 Equipamiento utilizado 22
2.2.4 Parámetros de estimulación 22
2.2.5 Áreas corticales de aplicación 23
2.2.6 Seguridad y efectos adversos 24
2.2.7 Contraindicaciones 24
2.2.8 Efectos clínicos de la tDCS en lesión medular 24
2.2.9 Efectos clínicos de la tDCS en lesión medular 25
2.2.10 Estimulación transcraneal como complemento de la fisioterapia 27
METODOLOGÍA 30
3.1 Diseño de Investigación 30
3.2 Tipo de Investigación 30
3.3 Nivel de investigación 30
3.4 Método de investigación 30
3.5 Según la cronología de la investigación 30
3.6 Población 31
3.7 Muestra 31

3.8 Criterios de selección 31
3.9. Técnicas de recolección de datos 31
3.10. Métodos de análisis y procesamiento de datos 32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39
CONCLUSIONES 59
RECOMENDACIONES 60

RESUMEN

Objetivo: Describir los efectos de la estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) sobre la función motora, sensorial y la calidad de vida en pacientes con lesión medular.

Metodología y métodos: Se desarrollo una investigación con diseño documental, de tipo bibliográfico, nivel descriptivo, y con enfoque retrospectivo. A través del método inductivo, se analizó evidencia científica sobre los efectos de la estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) para pacientes con lesión medular. La población fue de 37 artículos, y su muestra de 20 artículos se determinó por su relevancia y calidad, recopilados en bases de datos como PubMed, PMC, BMC, SciELO y Elsevier.

Resultados: Los artículos indican que la aplicación de tDCS en pacientes con lesión medular puede disminuir el dolor neuropático considerablemente, mejorar la función motora, la marcha y la independencia del paciente, se observan más beneficios al combinar esta técnica con otras estrategias de rehabilitación, como: ejercicio terapéutico, entrenamiento robótico, entre otras. A pesar de los resultados óptimos, las limitaciones metodológicas y las distintas variables hacen pertinentes la investigación más amplia de la misma.

Palabras claves: *Lesión medular, estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS), rehabilitación, función motora, dolor neuropático, calidad de vida.*

ABSTRACT

To describe the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on motor and sensory function and quality of life in patients with spinal cord injury.

This retrospective, descriptive, bibliographic study used a literature review design. Using an inductive approach, we analyzed scientific evidence on the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) in patients with spinal cord injury. The population included 37 articles, and a sample of 20 articles was selected based on relevance and quality from databases such as PubMed, PMC, BMC, SciELO, and Elsevier.

The articles indicate that the application of tDCS in patients with spinal cord injury can significantly reduce neuropathic pain, improve motor function, gait, and patient independence; further benefits are observed when this technique is combined with other rehabilitation strategies, such as therapeutic exercise and robotic training, among others. Despite these positive results, methodological limitations and various variables highlight the need for further, more extensive research in this area.

Keywords: Spinal cord injury, transcranial direct current stimulation (tDCS), rehabilitation, motor function, neuropathic pain, quality of life.



Reviewed by:

Ms.C. Ana Maldonado León

ENGLISH PROFESSOR

C.I.0601975980

INTRODUCCIÓN

La lesión medular (LM) constituye una de las condiciones neurológicas más devastadoras, caracterizada por la interrupción parcial o total de la comunicación entre el cerebro y las estructuras corporales por debajo del nivel de la lesión. Este daño provoca alteraciones motoras, sensitivas y autonómicas que afectan significativamente la funcionalidad y la calidad de vida de las personas que la padecen. A pesar de los avances en rehabilitación, la recuperación neurológica después de una lesión medular continúa siendo un desafío clínico importante (1,2). Las lesiones traumáticas en la columna vertebral, llamadas lesiones medulares, ocurren por impactos o cortes bruscos. Estas lesiones suelen causar pérdida de fuerza, sensibilidad y movimiento en áreas por debajo de la lesión. La médula espinal es esencial para transmitir información entre el cerebro y el cuerpo. Las causas principales son traumáticas (58%) y no traumáticas (42%).

La mayoría de las lesiones afectan la región dorsal y cervical. La incidencia varía entre 11,5 y 53,4 por millón de personas, siendo más comunes en hombres y en la población negra no hispana. Las caídas son la causa más frecuente, seguidas de accidentes de vehículos. En EE. UU., 291,000 personas tienen lesiones medulares, con un 39,5% parapléjicos y un 59,9% tetrapléjicos (1).

La LM constituye un problema relevante de salud pública a nivel mundial debido a su alta incidencia y al impacto funcional, social y económico que genera en la población afectada. Esta condición ocasiona alteraciones motoras, sensitivas y autonómicas que limitan significativamente la independencia y calidad de vida de los pacientes. Entre las principales causas se encuentran los accidentes de tránsito, las caídas y los traumatismos, con mayor prevalencia en hombres adultos.

En Latinoamérica, la LM representa un desafío para los sistemas sanitarios debido a las limitaciones en el acceso a servicios especializados de rehabilitación y atención integral. Estas dificultades favorecen la aparición de discapacidad permanente y complicaciones secundarias que afectan la funcionalidad del paciente. En este contexto, la fisioterapia cumple un rol fundamental en la recuperación motora y en la prevención de secuelas asociadas a la inmovilidad.

A nivel específico, la LM compromete la movilidad, el equilibrio y la capacidad funcional del individuo, afectando su desempeño en las actividades de la vida diaria. Por ello, la implementación de programas fisioterapéuticos individualizados resulta esencial para promover la recuperación funcional, mejorar la autonomía y optimizar la calidad de vida del paciente mediante intervenciones basadas en evidencia científica.

En las últimas décadas, se ha incrementado el interés por la aplicación de técnicas de neuromodulación no invasiva como complemento a la fisioterapia convencional, con el propósito de potenciar la neuroplasticidad y optimizar los procesos de recuperación. Entre estas técnicas, la estimulación transcraneal de corriente continua (tDCS) ha demostrado

efectos prometedores. La tDCS consiste en la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad sobre el cuero cabelludo, que modula la excitabilidad cortical y facilita la reorganización funcional del sistema nervioso central (3).

Diversos estudios han evidenciado que la tDCS puede contribuir a la mejora del control motor, la sensibilidad y la reducción del dolor neuropático en pacientes con lesión medular, especialmente cuando se combina con programas de rehabilitación física. No obstante, la evidencia aún es limitada y existen interrogantes sobre los parámetros de estimulación más adecuados, las áreas corticales objetivo y los efectos a largo plazo de su aplicación (3,4).

La LM genera alteraciones motoras, sensitivas y autonómicas que limitan la funcionalidad y la calidad de vida. Aunque la fisioterapia convencional es fundamental, sus efectos suelen ser insuficientes, especialmente en lesiones crónicas, lo que impulsa la búsqueda de terapias complementarias basadas en neuroplasticidad (1).

La tDCS es una técnica de neuromodulación no invasiva que ha mostrado resultados prometedores en los últimos años. Estudios recientes indican que tDCS puede favorecer la recuperación motora al modular la actividad cortical y mejorar la comunicación corticoespinal. Un estudio de 2024 evidenció que la tDCS restaura patrones de actividad neuronal en la corteza motora tras LM, promoviendo cambios neuroinflamatorios beneficiosos para la recuperación funcional (5).

En humanos, un ensayo clínico aleatorizado de 2021 mostró que la combinación de tDCS con entrenamiento robótico duplicó la probabilidad de mejorar la capacidad de marcha en pacientes con LM incompleta, comparado con estimulación simulada (5).

Además, investigaciones recientes han demostrado que tDCS puede reducir el dolor neuropático post-LM, con efectos sostenidos y sin eventos adversos graves (6).

Aunque la evidencia actual es prometedora, persisten vacíos relacionados con la variabilidad en protocolos, tamaños muestrales reducidos y escasa investigación en contextos latinoamericanos. Debido a ello, resulta pertinente evaluar la eficacia y aplicabilidad de tDCS en conjunción con la fisioterapia tradicional en población local (4).

Desarrollar esta investigación permitirá fortalecer el conocimiento científico regional, aportar alternativas terapéuticas seguras e innovadoras y contribuir potencialmente a mejorar la funcionalidad y calidad de vida de personas con LM (5,7).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar la efectividad de la estimulación transcraneal de corriente continua como complemento en la rehabilitación fisioterapéutica de pacientes con lesión medular, con el fin de contribuir al conocimiento actual sobre estrategias terapéuticas innovadoras que promuevan una mayor recuperación funcional y mejoren la calidad de vida de esta población.

OBJETIVOS

Objetivo general

Describir los efectos de la estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) sobre la función motora, sensorial y la calidad de vida en pacientes con lesión medular.

MARCO REFERENCIAL

2.1. Lesión medular

2.1.1. Definición

La lesión medular corresponde a un trastorno neurológico procedente por la afectación parcial o total de la médula espinal, lo que sobrelleva a una interrupción en la transmisión de los impulsos nerviosos entre el encéfalo y las estructuras situadas por debajo del nivel lesionado. Su consecuencia es generar déficits en las funciones motoras, sensitivas y autonómicas cuya intensidad varía según la extensión y localización del daño. (1,4)

Esta condición puede originarse a partir de mecanismos traumáticos, como accidentes o caídas, así también como de procesos no traumáticos de diversa etiología. Cabe indicar que debido a sus efectos persistentes es considerada una de las principales causas de discapacidad de carácter permanente, provocando de manera significativa la independencia funcional, además de su estado psicológico y la integración social del paciente.

La severidad del compromiso neurológico depende de múltiples factores, entre ellos el nivel anatómico de la lesión, el grado de afectación estructural de la médula espinal y la capacidad de regeneración del tejido nervioso residual. En la literatura científica actual, la lesión medular es conceptualizada como una condición de naturaleza compleja y sistémica, ya que no solo compromete el sistema nervioso central sino también puede desencadenar alteraciones en diferentes sistemas del organismo y generar complicaciones secundarias a largo plazo (1,3,32).

2.1.2. Anatomía y fisiología de la médula espinal

La médula espinal es una porción del sistema nervioso central con forma alargada y cilíndrica, que se extiende desde el bulbo raquídeo hasta la región aproximada de las vértebras lumbares L1-L2. Su organización interna se compone de sustancia gris en la zona central, donde se encuentran los cuerpos neuronales, y sustancia blanca en la periferia, conformada por haces de fibras nerviosas que constituyen las vías ascendentes y descendentes encargadas de la transmisión de información sensitiva y motora (5,33).

Desde el punto de vista anatómico, se organiza en segmentos cervicales, torácicos, lumbares, sacros y coccígeos, de los cuales emergen los nervios espinales que permiten la inervación de las diferentes regiones del cuerpo. En términos funcionales, esta estructura desempeña un papel fundamental en la conducción de impulsos nerviosos entre el encéfalo y el resto del organismo, además de intervenir en la regulación de funciones autonómicas y en la integración de reflejos espinales esenciales para el mantenimiento de la homeostasis y diversas actividades corporales (5,6,33).

2.1.3. Epidemiología de la lesión medular

2.1.3.1. Incidencia y prevalencia mundial

La lesión medular constituye una patología neurológica de gran relevancia a nivel global, debido a la importante carga que representa para los sistemas de salud. Su incidencia se mantiene relativamente constante, aunque la prevalencia tiende a incrementarse de forma progresiva como resultado de la mayor sobrevida de las personas afectadas (1,2,32).

Diversos estudios recientes estiman que la incidencia mundial se sitúa en torno a 23,77 casos por cada millón de habitantes al año, siendo más frecuente en las lesiones de origen traumático en comparación con las no traumáticas. Asimismo, se ha reportado que la prevalencia global supera los 15 millones de personas, lo que evidencia no solo la aparición de nuevos casos, sino también la creciente necesidad de rehabilitación prolongada, cuidados continuos y asistencia sanitaria a largo plazo en esta población (6,7,32)

2.1.3.2. Situación epidemiológica en Latinoamérica y Ecuador.

En el contexto de América Latina, la lesión medular constituye un problema relevante de salud pública, caracterizado por una elevada frecuencia de casos de origen traumático, los cuales se relacionan principalmente con accidentes de tránsito, caídas y hechos de violencia. Esta región presenta una mayor carga de discapacidad en comparación con países de altos ingresos, situación que se asocia a limitaciones en las estrategias de prevención, en el acceso oportuno a servicios de emergencia y en la disponibilidad de programas de rehabilitación especializada (4,5,38).

En Ecuador, la información disponible señala que la mayoría de los casos de lesión medular son de naturaleza traumática y afectan con mayor frecuencia a adultos jóvenes. La incidencia se estima en aproximadamente 3 casos por cada 100.000 habitantes, lo que pone en evidencia la importancia de fortalecer las políticas de prevención, así como de mejorar la atención integral dentro del sistema de salud (38).

2.1.4 Etiología de la lesión medular

2.1.4.1. Causas traumáticas.

Las lesiones medulares traumáticas son las más frecuentes y se producen por fuerzas externas que generan compresión, contusión o ruptura de la médula espinal. Entre sus principales causas se incluyen los accidentes de tránsito, caídas desde altura, lesiones deportivas, accidentes laborales y actos de violencia como heridas por armas de fuego o arma blanca.

En países de ingresos medios y bajos, los accidentes vehiculares son la principal causa, afectando sobre todo a personas jóvenes en edad productiva y generando un impacto social y económico significativo.

2.1.4.2. Causas no traumáticas.

Las lesiones medulares de origen no traumático se producen debido a diversos procesos patológicos que afectan de forma progresiva la estructura y función de la médula

espinal. Entre estas etiologías se incluyen tumores primarios o metastásicos, infecciones, enfermedades inflamatorias, alteraciones vasculares, trastornos degenerativos y patologías autoinmunes. El envejecimiento de la población ha favorecido el incremento de casos asociados a mielopatías degenerativas cervicales y procesos oncológicos, los cuales representan una causa importante de discapacidad neurológica, especialmente en adultos mayores.

2.1.4.3. Factores de riesgo.

La probabilidad de presentar una lesión medular aumenta con la presencia de determinados factores de riesgo. Entre los más relevantes se encuentran el sexo masculino, la realización de actividades laborales de alto riesgo, la conducción bajo efectos de alcohol o sustancias psicoactivas, la práctica de deportes sin medidas de seguridad adecuadas y la existencia de enfermedades degenerativas de la columna vertebral. Asimismo, la edad avanzada constituye un factor predisponente importante, debido a la mayor frecuencia de caídas asociadas a osteoporosis, alteraciones del equilibrio y disminución de la fuerza muscular.

2.1.5 Clasificación según el tipo de lesión medular

2.1.5.1. Lesión completa e incompleta

La clasificación de la lesión medular en completa e incompleta permite determinar el nivel de conservación neurológica por debajo del segmento afectado. Se denomina lesión completa cuando se pierde de manera total la función motora y sensitiva, incluyendo los segmentos sacros inferiores, lo que indica una interrupción completa de la conducción nerviosa. En cambio, la lesión incompleta se caracteriza por la preservación parcial de dichas funciones. Esta diferenciación resulta esencial para establecer el pronóstico del paciente, definir los objetivos terapéuticos y orientar el diseño de programas de rehabilitación adaptados a las necesidades individuales (4,38,39).

2.1.5.2. Clasificación según nivel neurológico

El nivel neurológico de la lesión se define como el segmento más distal de la médula espinal que mantiene funciones motoras y sensitivas conservadas de forma normal en ambos lados del cuerpo. A partir de este criterio, las lesiones medulares pueden ubicarse en regiones cervicales, torácicas, lumbares o sacras. Las lesiones a nivel cervical suelen asociarse con un mayor grado de discapacidad, debido a que comprometen tanto las extremidades superiores como la función de la musculatura respiratoria y el control autonómico. En contraste, las lesiones torácicas y lumbares afectan principalmente la función motora de las extremidades inferiores, con menor repercusión en la movilidad de la parte superior del cuerpo (35,37,38).

2.1.5.3. Clasificación de la escala ASIA.

La escala de la American Spinal Injury Association (ASIA) es el sistema de valoración neurológica más utilizado a nivel internacional para la evaluación de pacientes con lesión medular. Esta clasificación permite determinar el grado de compromiso neurológico y se organiza en cinco categorías: A, B, C, D (11,40).

Tabla 1. Escala neurológica para pacientes con lesión medular ASIA

A	Lesión motora y sensitiva completa (lesión medular completa).
B	Función sensitiva preservada, sin función motora (LM incompleta).
C	Función motora < 3 (LM incompleta).
D	Función motora > 3 (LM incompleta).

2.1.6. Fisiopatología de la lesión medular

2.1.6.1. Lesión primaria

La lesión primaria se produce en el instante del trauma inicial como resultado de la acción directa de fuerzas mecánicas que generan compresión, estiramiento, contusión o incluso la sección del tejido medular. Este evento provoca daño inmediato e irreversible a neuronas, células gliales, vasos sanguíneos y membranas celulares, ocasionando alteraciones estructurales permanentes. Debido a su aparición súbita, las intervenciones terapéuticas se enfocan principalmente en evitar o reducir la progresión del daño secundario (12,42,43).

2.1.6.2. Lesión secundaria

La lesión secundaria engloba una cascada de procesos celulares y bioquímicos que se activan minutos, horas o semanas después del trauma inicial. Entre los principales mecanismos se encuentran la isquemia, el edema, el desequilibrio iónico, el estrés oxidativo, la excitotoxicidad por glutamato y la apoptosis celular, los cuales intensifican la destrucción del tejido nervioso y contribuyen al deterioro funcional progresivo en los pacientes con lesión medular (12,42,43).

2.1.6.3. Procesos neuroinflamatorios.

La neuroinflamación representa un mecanismo clave en la evolución de la lesión secundaria. Tras el daño medular, se activa la microglía, se produce infiltración de células inmunitarias periféricas y se liberan mediadores proinflamatorios como interleucina-1β, interleucina-6 y factor de necrosis tumoral alfa. Aunque inicialmente este proceso puede favorecer la eliminación de tejido lesionado, su persistencia contribuye a la formación de cicatrices gliales y limita la regeneración axonal (13, 43,44).

2.1.6.4. Degeneración axonal.

La degeneración axonal implica la pérdida progresiva de la integridad estructural de los axones, lo que interrumpe la transmisión de impulsos nerviosos entre el sistema nervioso central y los tejidos periféricos. Como consecuencia, se presentan déficits motores y sensitivos persistentes. Dado que la capacidad regenerativa del sistema nervioso central es limitada, actualmente se investigan estrategias orientadas a potenciar la neuroplasticidad y promover el crecimiento axonal (13,21,43).

2.1.6.5. Desmielinización.

La desmielinización ocurre como resultado del daño a los oligodendrocitos, células responsables de la formación y mantenimiento de la mielina. La pérdida de esta capa reduce

significativamente la velocidad de conducción nerviosa, contribuyendo a déficits neurológicos persistentes. En la actualidad, se estudian diversas estrategias terapéuticas como terapias celulares, biomateriales y técnicas de neuromodulación orientadas a favorecer la remielinización y mejorar la recuperación funcional (14,41,43)

2.1.7. Manifestaciones clínicas de la lesión medular

2.1.7.1 Alteraciones motoras

Debilidad muscular

La debilidad muscular es una manifestación frecuente en la lesión medular y se origina por la interrupción de las vías corticoespinales responsables del movimiento voluntario. Su intensidad varía desde una disminución leve de la fuerza hasta la pérdida total de la contracción muscular según el nivel de lesión. Esta condición favorece la atrofia progresiva y reduce la independencia funcional del paciente en sus actividades diarias (14,43).

Espasticidad

La espasticidad se caracteriza por el aumento del tono muscular con hiperreflexia debido a la pérdida del control inhibitorio del sistema nervioso central sobre los reflejos espinales. Aunque en algunos casos puede ayudar al mantenimiento postural, generalmente limita la movilidad, la marcha y las actividades funcionales, afectando la calidad de vida (15,44).

Pérdida de movilidad

La pérdida de movilidad corresponde a la incapacidad parcial o total para ejecutar movimientos voluntarios por debajo del nivel de la lesión, pudiendo presentarse como paraplejia o tetraplejia. Esta limitación incrementa el riesgo de complicaciones secundarias como contracturas, trombosis venosa profunda y deterioro general del estado físico (15,45).

2.1.7.2 Alteraciones sensitivas

Pérdida de sensibilidad

La pérdida de sensibilidad ocurre por la interrupción de las vías ascendentes que transmiten estímulos táctiles, térmicos y dolorosos hacia el sistema nervioso central. Puede ser parcial o total, aumentando el riesgo de lesiones cutáneas, quemaduras o traumatismos no percibidos (16,39).

Alteraciones propioceptivas

Las alteraciones propioceptivas se manifiestan como dificultad para percibir la posición y el movimiento corporal en el espacio debido al daño de los cordones posteriores de la médula espinal. Esto genera inestabilidad postural y dependencia visual para la coordinación motora (16,35).

2.1.7.3 Alteraciones autonómicas

Disfunción vesical

La disfunción vesical es una de las complicaciones autonómicas más frecuentes y se caracteriza por la pérdida del control miccional, presentándose vejiga neurogénica hiperactiva o hipoactiva según el nivel de lesión. Esta condición aumenta el riesgo de infecciones urinarias y daño renal (16, 45).

Disfunción intestinal

La disfunción intestinal se produce por la alteración del control neurológico del sistema gastrointestinal, generando estreñimiento, incontinencia o evacuación ineficiente. Requiere manejo estructurado dentro de la rehabilitación (17, 46).

Alteraciones cardiovasculares

Las alteraciones cardiovasculares incluyen hipotensión ortostática, disreflexia autonómica y alteraciones del ritmo cardíaco debido a la pérdida del control simpático. Son más frecuentes en lesiones cervicales y torácicas altas (17,48).

Disfunción sexual

La disfunción sexual incluye alteraciones en la respuesta sexual, erección, lubricación, orgasmo y fertilidad. Su severidad depende del nivel de lesión y factores psicológicos, requiriendo abordaje integral en rehabilitación (18,49).

2.1.7.4 Complicaciones secundarias

Úlceras por presión

Las úlceras por presión se desarrollan por la inmovilidad prolongada y la presión constante en zonas óseas, agravadas por la pérdida de sensibilidad. Representan una complicación frecuente en estos pacientes (18,33).

Osteoporosis

La osteoporosis secundaria se produce por la falta de carga mecánica, lo que disminuye la densidad mineral ósea y aumenta el riesgo de fracturas incluso con traumatismos leves (18,49).

Dolor neuropático

El dolor neuropático se origina por lesión directa del sistema nervioso y se manifiesta como ardor, descargas eléctricas o dolor punzante. Es crónico y de difícil manejo clínico (19,50).

Contracturas

Las contracturas musculares se desarrollan por inmovilización prolongada, espasticidad y desequilibrios musculares, reduciendo la amplitud articular y dificultando la rehabilitación funcional (12,44).

Infecciones

Las infecciones urinarias y respiratorias son frecuentes debido a la inmovilidad, disfunción autonómica y uso de dispositivos invasivos como sondas vesicales. Representan una causa importante de hospitalización (19, 51).

2.1.8. Neuroplasticidad en la lesión medular

2.1.8.1 Concepto de neuroplasticidad

La neuroplasticidad es la capacidad del sistema nervioso central para adaptarse mediante cambios estructurales y funcionales en respuesta a lesiones, estímulos o procesos de aprendizaje. En la lesión medular, este mecanismo es clave para la recuperación, ya que permite la reorganización de circuitos neuronales parcialmente dañados o preservados. Incluye la formación de nuevas sinapsis, la reorganización cortical y la adaptación de redes neuronales, facilitando la compensación de funciones perdidas. En la rehabilitación neurológica moderna, la neuroplasticidad se considera el principal fundamento biológico del proceso de recuperación funcional (18,52).

2.1.8.2 Mecanismos neurobiológicos de recuperación

La recuperación tras una lesión medular se sustenta en múltiples procesos neurobiológicos que interactúan a nivel celular y sistémico. Entre los más importantes se encuentran la sinaptogénesis, la brotación axonal, la remielinización y la reorganización de circuitos neuronales existentes. Además, la regulación de neurotransmisores y la acción de factores neurotróficos como el BDNF favorecen la supervivencia neuronal y la reparación parcial del tejido nervioso. Estos mecanismos pueden potenciarse mediante la rehabilitación motora intensiva y técnicas de neuromodulación aplicadas en el tratamiento fisioterapéutico (7,19, 53).

2.1.8.3 Plasticidad cortical tras lesión medular

La plasticidad cortical corresponde a los cambios funcionales y estructurales que ocurren en la corteza cerebral después de una lesión medular, como respuesta a la interrupción de las vías sensoriomotoras. Este proceso puede implicar la activación de áreas vecinas o contralaterales para suplir las funciones comprometidas. Estudios de neuroimagen han evidenciado que las representaciones corticales de las extremidades afectadas pueden reducirse o reorganizarse dependiendo del grado de rehabilitación. Por ello, la estimulación repetitiva y el entrenamiento motor son fundamentales en neurorehabilitación, ya que favorecen la recuperación funcional mediante circuitos neuronales alternativos (4,20,54).

2.1.9. Neuromodulación no invasiva

La neuromodulación no invasiva comprende un conjunto de técnicas terapéuticas que actúan sobre el sistema nervioso central mediante estímulos eléctricos o magnéticos aplicados externamente, sin requerir procedimientos quirúrgicos. Su finalidad es regular la excitabilidad neuronal, promover la reorganización sináptica y potenciar los procesos de neuroplasticidad, especialmente en patologías como la lesión medular. En el ámbito de la neurorehabilitación, estas técnicas han cobrado gran importancia por su capacidad de mejorar la función motora y sensitiva en pacientes con daño neurológico (20,55,56).

2.1.9.1 Definición de neuromodulación

La neuromodulación se define como la intervención que modifica la actividad del sistema nervioso mediante estímulos físicos o químicos que alteran la excitabilidad neuronal y la comunicación sináptica. En su modalidad no invasiva, estos estímulos se aplican a través de campos eléctricos o magnéticos externos que influyen en la actividad cortical o espinal sin necesidad de cirugía. Su aplicación clínica ha aumentado en los últimos años debido a su seguridad, accesibilidad y utilidad terapéutica en enfermedades neurológicas como la lesión medular, el ictus y los trastornos del movimiento (5,57,58).

2.1.9.2 Tipos de neuromodulación no invasiva

Estimulación magnética transcraneal (TMS)

La estimulación magnética transcraneal es una técnica que utiliza pulsos de campos magnéticos generados por una bobina colocada en el cuero cabelludo, los cuales inducen corrientes eléctricas en la corteza cerebral. Según la frecuencia aplicada, puede aumentar o disminuir la excitabilidad neuronal. En neurorehabilitación, se emplea para modular áreas motoras y favorecer la recuperación funcional en lesiones del sistema nervioso central, incluida la lesión medular (7,12,53).

Estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS)

La tDCS consiste en la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad mediante electrodos ubicados en el cuero cabelludo. Este estímulo modula la excitabilidad cortical de forma subumbral, facilitando o inhibiendo la actividad neuronal según la polaridad utilizada. En la lesión medular, se ha observado su potencial para potenciar la plasticidad cerebral y mejorar los resultados de la rehabilitación cuando se combina con terapia física (57,58).

2.1.9.3 Bases neurofisiológicas de la neuromodulación

Las bases neurofisiológicas de la neuromodulación se relacionan con la capacidad del sistema nervioso para ajustar su excitabilidad y reorganizar sus conexiones sinápticas frente a estímulos externos. Estas técnicas actúan modificando el potencial de membrana neuronal mediante procesos de despolarización o hiperpolarización, influyendo en circuitos corticales y espinales. Además, favorecen la liberación de neurotransmisores y factores neurotróficos como el BDNF, esenciales para la sinaptogénesis, la plasticidad dependiente de la actividad y la recuperación funcional tras lesiones neurológicas. Por ello, la neuromodulación se considera una herramienta complementaria clave en la neurorehabilitación moderna (11,53,58).

2.2 Estimulación transcraneal por corriente continua

2.2.1 Definición y fundamentos

La estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) es una técnica de neuromodulación no invasiva que utiliza una corriente continua de baja intensidad aplicada mediante electrodos en el cuero cabelludo. Su finalidad es modular de forma reversible la excitabilidad cortical, aumentando o disminuyendo la actividad neuronal según la polaridad utilizada. En neurorehabilitación, ha cobrado relevancia por su capacidad de favorecer la

plasticidad cerebral y apoyar la recuperación funcional en condiciones como la lesión medular y otras patologías neurológicas (12, 14, 59).

2.2.2 Principios fisiológicos de acción

La tDCS actúa modificando el potencial de membrana neuronal. La estimulación anódica incrementa la excitabilidad mediante despolarización, mientras que la catódica la reduce a través de hiperpolarización. Estos cambios no generan potenciales de acción directos, sino que ajustan la probabilidad de activación neuronal. Además, interviene en mecanismos de plasticidad sináptica relacionados con el glutamato y el calcio, favoreciendo procesos similares a la LTP y LTD, fundamentales en el aprendizaje motor y la rehabilitación neurológica (12, 61).

2.2.3 Equipamiento utilizado

El sistema de tDCS está compuesto por un generador de corriente constante, electrodos con esponjas o gel conductor, cables y un sistema de fijación. Este equipo permite controlar de forma precisa la intensidad y el tiempo de estimulación. La colocación de los electrodos se realiza según el sistema internacional 10–20, lo que permite dirigir el estímulo a áreas específicas del cerebro y asegurar eficacia terapéutica (14,63,64).

2.2.4 Parámetros de estimulación

2.2.4.1 Intensidad de corriente

La intensidad utilizada en tDCS suele situarse entre 1 y 2 mA, rango considerado seguro y eficaz para modular la excitabilidad cortical. Valores superiores pueden aumentar efectos adversos como irritación cutánea, por lo que deben evitarse sin supervisión clínica (15,21,59).

2.2.4.2 Duración de la sesión

Las sesiones generalmente duran entre 10 y 30 minutos, dependiendo del protocolo. Este rango permite obtener efectos neurofisiológicos adecuados sin generar fatiga cortical significativa (3,60).

2.2.4.3 Número de sesiones

La aplicación puede ser única o repetida durante varias semanas. La evidencia indica que los efectos son acumulativos, por lo que la repetición junto con la terapia física potencia la plasticidad y la recuperación funcional (4,16,64).

2.2.4.4 Montaje de electrodos

El montaje determina el área cerebral estimulada y el efecto funcional. Los esquemas anódico y catódico se utilizan sobre regiones específicas como la corteza motora. La correcta colocación, ya sea unilateral o bilateral, es clave para optimizar los resultados clínicos (8,13,63).

Parámetro	Rango habitual	Efecto fisiológico	Aplicación clínica
Intensidad de corriente	1–2 mA	Modulación de la excitabilidad cortical	Regulación segura de la actividad neuronal
Duración de sesión	10–30 minutos	Inducción de cambios en la plasticidad sináptica	Potenciación de la rehabilitación motora
Número de sesiones	5–20 sesiones	Efectos acumulativos sobre la neuroplasticidad	Protocolos terapéuticos repetidos
Densidad de corriente	~0.04–0.08 mA/cm²	Garantiza estimulación segura a nivel tisular	Aplicación bajo estándares clínicos
Tipo de montaje	Anódico / catódico	Aumento o disminución de la excitabilidad cortical	Personalización del tratamiento

Tabla 2. Parámetros habituales de la tDCS

2.2.5 Áreas corticales de aplicación

2.2.5.1 Corteza motora primaria

La estimulación de la corteza motora primaria (M1) se utiliza principalmente para mejorar la función motora, al aumentar la excitabilidad de las vías corticoespinales y facilitar la recuperación del control del movimiento (62).

2.2.5.2 Corteza somatosensorial

La estimulación de esta área ayuda a modular la percepción sensorial y el dolor neuropático, contribuyendo a la reorganización cortical tras la lesión medular (7,59).

2.2.5.3 Otras áreas cerebrales

También puede aplicarse en regiones prefrontales para mejorar funciones cognitivas como atención y control ejecutivo, especialmente en pacientes con lesiones neurológicas complejas (33,59).

***Tabla 3**. Áreas corticales y efectos de la tDCS en lesión medular (61)*

Área cerebral	Función principal	Efecto de la Tdcs	Aplicación en lesión medular
Corteza motora primaria (M1)	Control del movimiento voluntario	Incremento de la excitabilidad motora	Recuperación de la función motora
Corteza somatosensorial (S1)	Integración de la información sensitiva	Regulación de la percepción sensorial	Manejo del dolor neuropático
Corteza prefrontal dorsolateral	Procesos cognitivos y ejecutivos	Optimización del rendimiento cognitivo	Mejora de la adaptación funcional
Área premotora	Programación y planificación motora	Facilitación de la preparación del movimiento	Reentrenamiento motor

2.2.6 Seguridad y efectos adversos

La tDCS es una técnica segura cuando se aplica bajo protocolos adecuados. Los efectos adversos suelen ser leves y transitorios, como hormigueo, eritema cutáneo o cefalea leve. El cumplimiento estricto de los parámetros de estimulación es esencial para minimizar riesgos y garantizar su seguridad clínica (17,63).

2.2.7 Contraindicaciones

Las principales contraindicaciones incluyen la presencia de dispositivos electrónicos intracraneales, heridas en el cuero cabelludo, epilepsia no controlada y condiciones médicas inestables. También se recomienda precaución en embarazo y en casos neurológicos severos sin supervisión especializada (59).

2.2.8 Efectos clínicos de la tDCS en lesión medular

Tabla 4*. Principales efectos del uso de tDCS en pacientes con lesión medular (62).*

Dominio funcional	Resultado observado	Nivel de evidencia
Función motora	Mejoras de leves a moderadas	Evidencia moderada
Espasticidad	Disminución parcial del tono muscular	Evidencia bajo-moderada
Dolor neuropático	Reducción de la intensidad del dolor	Evidencia moderada
Función sensitiva	Cambios variables según el paciente	Evidencia baja
Calidad de vida	Mejora del desempeño funcional global	Evidencia moderada

2.2.9 Efectos clínicos de la tDCS en lesión medular

La evidencia científica disponible indica que la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) puede ser una alternativa terapéutica útil en personas con lesión medular, debido a su capacidad para modular la excitabilidad cortical y favorecer mecanismos relacionados con la recuperación funcional. Sin embargo, los hallazgos reportados en la literatura muestran resultados variables, lo que puede atribuirse a las diferencias en los protocolos de estimulación, el tiempo de evolución de la lesión y la asociación de esta técnica con programas convencionales de rehabilitación. En conjunto, la tDCS es considerada una estrategia complementaria prometedora en el campo de la neurorehabilitación, aunque aún son necesarios más estudios que permitan estandarizar su aplicación clínica y determinar con mayor precisión su eficacia (59,62).

2.2.9.1 Efectos sobre la recuperación motora

Diversas investigaciones clínicas y revisiones sistemáticas han evidenciado que la aplicación de tDCS sobre la corteza motora primaria puede incrementar la excitabilidad de las vías corticoespinales y facilitar la activación muscular en pacientes con lesión medular incompleta. Estos cambios se asocian con mejoras de leve a moderada en la fuerza muscular y en la función motora, especialmente cuando la técnica se combina con fisioterapia convencional o entrenamiento motor repetitivo. No obstante, cuando se utiliza de forma aislada, sus efectos suelen ser reducidos, por lo que se considera una intervención complementaria dentro del proceso de rehabilitación (60,65).

2.2.9.2 Efectos sobre la marcha

La evidencia científica disponible sugiere que la tDCS puede influir positivamente en algunos parámetros de la marcha en pacientes con lesión medular incompleta, como la

velocidad, la coordinación y la estabilidad postural. De acuerdo con revisiones sistemáticas recientes, la neuromodulación no invasiva podría generar mejoras en la función locomotora; sin embargo, los efectos específicos de la tDCS tienden a ser de magnitud reducida. A pesar de ello, su aplicación junto con programas de rehabilitación locomotora intensiva muestra mejores resultados funcionales en comparación con la fisioterapia convencional utilizada de forma aislada (61,62).

2.2.9.3 Efectos sobre el dolor neuropático

El dolor neuropático es una de las complicaciones más frecuentes y de difícil tratamiento en personas con lesión medular. La estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS), aplicada principalmente sobre la corteza motora primaria o la corteza prefrontal dorsolateral, ha demostrado producir un efecto analgésico moderado al influir en las redes neuronales involucradas en el procesamiento del dolor. No obstante, los resultados pueden variar entre pacientes, ya que dependen de factores como la intensidad, la frecuencia de aplicación y la duración del protocolo de estimulación utilizado (66,67).

2.2.9.4 Efectos sobre la sensibilidad

La evidencia científica acerca de los efectos de la tDCS sobre la función sensitiva en pacientes con lesión medular es todavía escasa. No obstante, algunas investigaciones indican que la estimulación de la corteza somatosensorial podría promover la reorganización cortical y contribuir a una mejoría parcial de la sensibilidad táctil y propioceptiva, especialmente en personas con lesiones medulares incompletas. Estos beneficios se han asociado con procesos de neuroplasticidad dependientes de la actividad neuronal y con la reorganización de las áreas corticales afectadas por la lesión (62,65)

2.2.9.5 Estudios clínicos recientes

Las investigaciones desarrolladas en los últimos años sugieren que la neuromodulación no invasiva, especialmente la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS), puede aportar beneficios en la recuperación de la función motora de las extremidades inferiores, el control del equilibrio y la reducción de la espasticidad en personas con lesión medular. Revisiones sistemáticas y metaanálisis de ensayos clínicos aleatorizados han informado efectos favorables de la tDCS; sin embargo, estos suelen ser de baja magnitud y presentan una considerable variabilidad entre estudios. Asimismo, se ha evidenciado que la combinación de esta técnica con programas intensivos de rehabilitación funcional y sesiones

repetidas de estimulación podría potenciar sus efectos terapéuticos y favorecer mejores resultados funcionales en los pacientes (62,63)

2.2.9.6 Limitaciones actuales de la evidencia científica

A pesar de los beneficios descritos en diferentes investigaciones, la evidencia disponible sobre el uso de la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) en pacientes con lesión medular aún presenta algunas limitaciones. Entre las más importantes se encuentran el escaso número de participantes incluidos en los estudios, la variabilidad de los protocolos de estimulación empleados y las diferencias en aspectos como la intensidad aplicada, la cantidad de sesiones realizadas y la ubicación de los electrodos. Además, la falta de evaluaciones a largo plazo dificulta conocer la duración real de sus efectos terapéuticos. También existen diferencias en los criterios de selección de los pacientes y en las herramientas utilizadas para valorar los resultados funcionales, lo que limita la comparación entre investigaciones. Por esta razón, se considera necesario desarrollar estudios clínicos con mayor calidad metodológica que permitan establecer protocolos estandarizados y fortalecer la evidencia sobre la eficacia de la tDCS en la rehabilitación de personas con lesión medular (62,63,68).

2.2.10 Estimulación transcraneal como complemento de la fisioterapia

La estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) es considerada una estrategia complementaria con potencial en el ámbito de la rehabilitación neurológica, especialmente en pacientes con lesión medular. Su capacidad para regular la excitabilidad de la corteza cerebral y favorecer mecanismos de neuroplasticidad ha promovido su incorporación junto con tratamientos convencionales de fisioterapia, con la finalidad de mejorar la recuperación funcional. Diversos estudios sugieren que la combinación de ambas terapias puede contribuir al aprendizaje motor, estimular la reorganización cortical y favorecer un mejor desempeño en las actividades de la vida diaria. Sin embargo, aún existen desafíos relacionados con la unificación de los protocolos de aplicación y con su implementación en entornos sanitarios que cuentan con recursos limitados (61,63)

2.2.10.1 Terapias combinadas

En los últimos años, diversas investigaciones han evaluado la efectividad de la combinación de la tDCS con intervenciones fisioterapéuticas enfocadas en la recuperación motora y funcional en personas con lesión medular. Entre las estrategias más empleadas se encuentran el entrenamiento en cinta rodante con soporte parcial del peso corporal, los ejercicios de fortalecimiento muscular, la terapia orientada a tareas específicas, la terapia ocupacional, la

estimulación eléctrica funcional y los programas de rehabilitación asistida por robótica. El principio que sustenta estas intervenciones combinadas es que la tDCS produce un aumento transitorio de la excitabilidad cortical, lo que crea una ventana temporal que facilita el aprendizaje motor a través de la práctica repetitiva y favorece la formación de nuevas conexiones neuronales (60,62).

De igual forma, algunos ensayos clínicos han reportado que la aplicación simultánea de tDCS y fisioterapia puede mejorar la función de las extremidades inferiores, el control del equilibrio y la disminución de la espasticidad en pacientes con lesión medular incompleta. Sin embargo, la heterogeneidad en los diseños de los estudios limita la posibilidad de establecer guías clínicas definitivas respecto a la frecuencia, intensidad y duración más adecuada de estas intervenciones combinadas (65,66).

2.2.10.2 Beneficios potenciales de la combinación tDCS y fisioterapia

La combinación de la tDCS con la fisioterapia presenta varios beneficios potenciales en el abordaje de pacientes con lesión medular. Entre los efectos más reportados se incluyen el aumento de la excitabilidad de las vías corticoespinales, la activación de mecanismos de plasticidad neuronal dependientes de la actividad, la mejora del control motor voluntario y la reducción del dolor neuropático. Asimismo, se ha evidenciado una mejor consolidación de los aprendizajes motores obtenidos durante el proceso de rehabilitación, lo que contribuye a una mayor retención de las ganancias funcionales a largo plazo (59,60,62).

Desde el ámbito clínico, esta estrategia terapéutica podría mejorar los resultados funcionales sin representar un incremento significativo en los costos, debido a que la tDCS es una técnica de fácil acceso, portátil y de bajo costo en comparación con otras modalidades de neuromodulación. No obstante, la respuesta clínica sigue siendo variable y depende de factores como la severidad de la lesión, el tiempo de evolución, la localización del daño y el grado de adherencia al tratamiento rehabilitador (60,61,66)

2.2.10.3 Aplicabilidad **en contextos latinoamericanos**

La implementación de la tDCS como complemento de la fisioterapia en países de América Latina se considera una opción con posible aplicabilidad clínica, debido a su bajo costo, portabilidad y relativa sencillez de uso. Estas características podrían favorecer su incorporación gradual en servicios de rehabilitación que disponen de recursos limitados, especialmente en contextos donde el acceso a tecnologías avanzadas de neurorehabilitación es restringido. Sin embargo, su adopción aún se ve limitada por factores como la escasa formación de profesionales en su uso, la limitada disponibilidad de equipos certificados y la insuficiente producción científica regional que respalde su eficacia y seguridad (63, 64).

En el ámbito latinoamericano, la evidencia disponible proviene principalmente de estudios piloto o de investigaciones realizadas en otros contextos geográficos, lo que pone en evidencia la necesidad de desarrollar ensayos clínicos multicéntricos que permitan evaluar la efectividad de la tDCS en poblaciones con características sociodemográficas y epidemiológicas propias de la región. Asimismo, su implementación requiere el diseño de protocolos adaptados a las condiciones reales de los sistemas de salud de América Latina (64,65).

2.2.10.4 Perspectivas futuras de investigación

Las futuras investigaciones sobre el empleo de la tDCS en pacientes con lesión medular deberían centrarse en la unificación de los protocolos de estimulación, la búsqueda de biomarcadores que permitan anticipar la respuesta al tratamiento y el análisis de sus efectos a largo plazo cuando se combina con programas de fisioterapia. De igual manera, es necesario definir con mayor precisión los parámetros de aplicación, como la intensidad de corriente, la frecuencia de las sesiones y la selección adecuada de las áreas corticales según el perfil clínico de cada paciente (60,62,65).

Asimismo, se considera relevante impulsar estudios multicéntricos con muestras más representativas y diseños metodológicos rigurosos que permitan generar evidencia sólida para la elaboración de recomendaciones clínicas. En paralelo, el desarrollo de tecnologías innovadoras, como la estimulación personalizada guiada por neuroimagen y su integración con sistemas robóticos o interfaces cerebro-computadora, podría ampliar de forma significativa las opciones terapéuticas en la rehabilitación de personas con lesión medular.

METODOLOGÍA

3.1 Diseño de Investigación

El estudio se desarrolló bajo un diseño documental, sustentado en la recopilación, análisis, interpretación y exposición de información obtenida de diversas fuentes bibliográficas. Este método facilita el análisis de los datos recolectados, los cuales son sometidos a un proceso de revisión.

3.2 Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo bibliográfica, por ello se analizó diferentes artículos científicos indexados en bases de datos científicas, por ende, se redactará este documento, los artículos analizados se encuentran de forma digital, los cuales encontramos información relevante que sirvieron de sustento para la fiabilidad de la investigación.

3.3 Nivel de investigación

El nivel que se utilizó en la investigación es descriptivo ya que permitió explicar anatomía, conceptos histológicos, fisiológicos y biomecánicos, así como comparar diferentes protocolos de tratamientos y los principios de cada uno de ellos.

3.4 Método de investigación

Se utilizó el método inductivo, una estrategia de investigación clave que permite establecer afirmaciones amplias o principios teóricos al examinar una serie de datos, sucesos o hechos específicos. a inducción se centra en compilar y estudiar datos empíricos. El examen riguroso de esta evidencia facilita la creación de hipótesis o modelos explicativos para los patrones o conductas detectadas. Por lo tanto, este sistema es esencial para derivar conclusiones que son válidas o aplicables en contextos más amplios a partir de pruebas sólidas y tangibles.

3.5 Según la cronología de la investigación

La investigación adoptó una naturaleza retrospectiva, lo que significa que su foco principal fue la examinación y el estudio de sucesos o acontecimientos ya ocurridos. El propósito de este enfoque es interpretar la manera en que estos eventos se han desarrollado o qué consecuencias han generado a lo largo del tiempo.

3.6 Población

La población consistió en 37 estudios clínicos y revisiones bibliográficas en los cuales se aplicó fisioterapia para pacientes con lesión medular.

3.7 Muestra

Finalmente, se seleccionaron un total de 20 artículos que cumplían con los criterios establecidos para la investigación.

3.8 Criterios de selección

3.8.1 Criterios de inclusión

- Se incluyeron artículos que aborden la aplicación de estimulación transcraneal, enfocada a pacientes con alteraciones nerviosas.
- Se incluyeron artículos con estimulación transcraneal que tengan efecto motor.
- Se consideraron artículos en idiomas español, inglés, francés.
- Se incluyeron artículos (ECA).
- Se incluyeron artículos publicados en los últimos 10 años.
- Se incluyeron artículos con una calificación mínima de 6 puntos con relación a la escala de PEDro.

3.8.2 Criterios de exclusión

- Artículos con publicación mayor a 10 años.
- Artículos restringidos.

3.9. Técnicas de recolección de datos

La obtención de datos se realizó por medio de una revisión bibliográfica sistemática, orientada con el fin de identificar fuentes científicas pertinentes al objeto de estudio. Para la recolección de datos en esta investigación, se utilizó una búsqueda bibliográfica, a través, de bases de datos en línea como PubMed, PMC, BMC, SciELO, Elsevier con la utilización de descriptores y de los operadores boléanos básicos “AND” y “OR”.

3.10. Métodos de análisis y procesamiento de datos

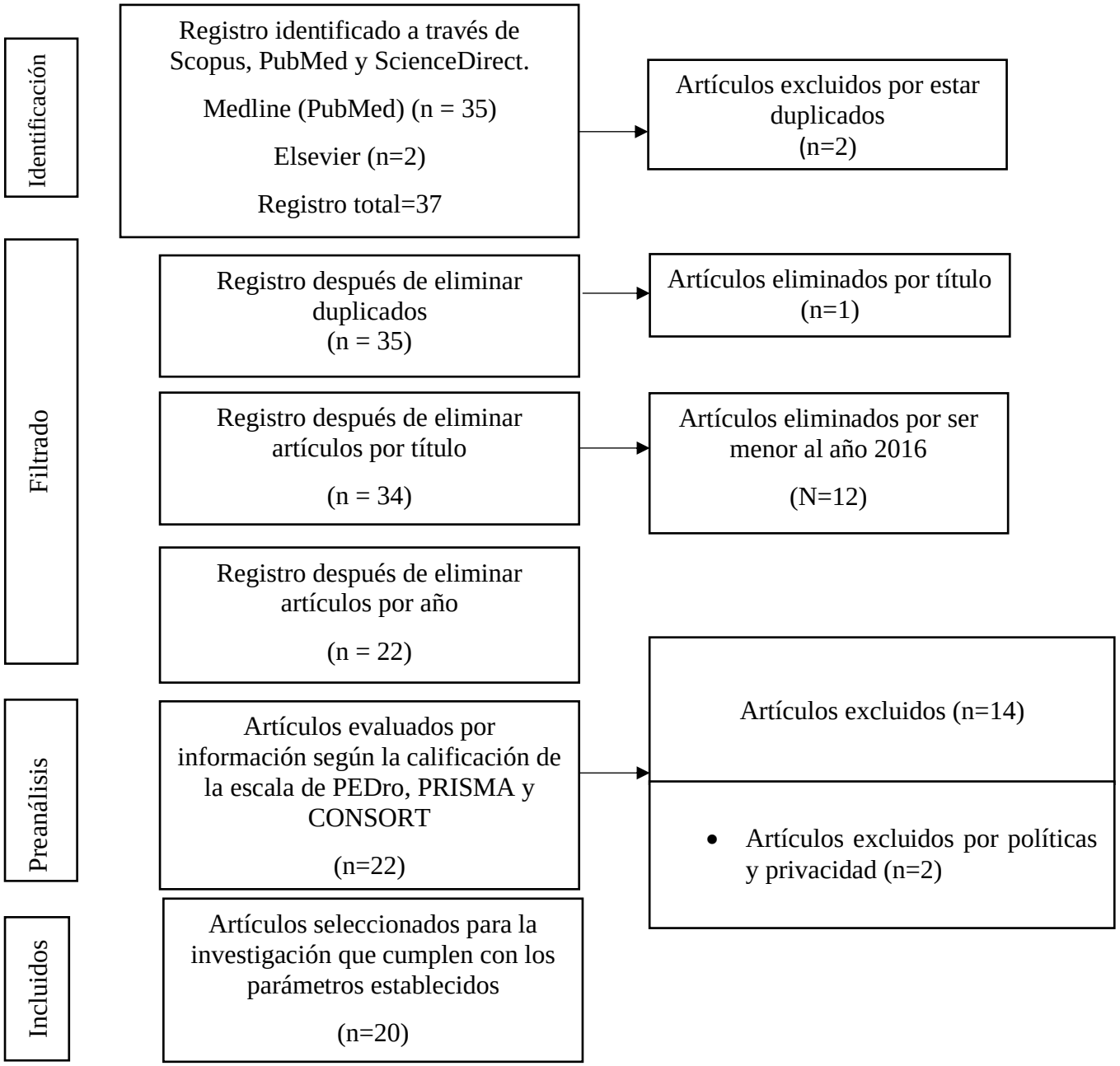


Figura 1. diagrama de flujo para la selección de artículos científicos.

N°	AUTOR/AÑO	Título Original	Título Traducido	Base Científica	Calificación ESCALA PEDro
1	Simis, M 2021 (5)	Transcranial direct current stimulation combined with robotic training in incomplete spinal cord injury: a randomized, sham-controlled clinical trial	Estimulación de corriente continua transcraneal combinada con entrenamiento robótico en lesión incompleta de la médula espinal: un ensayo clínico aleatorizado y controlado simulado.	PEDro	9/10
2	Tan, M 2023 (6)	Transcranial direct current stimulation regulates phenotypic transformation of microglia to relieve neuropathic pain induced by spinal cord injury	La estimulación transcraneal de corriente continua regula la transformación fenotípica de la microglía para aliviar el dolor neuropático inducido por la lesión medular	PEDro	6/10
3	Yozbatiran, N 2016 (16)	Transcranial direct current stimulation (tDCS) of the primary motor cortex and robot-assisted arm training in chronic incomplete cervical spinal cord injury: Aproof of concept sham-randomized clinical study	Estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) de la corteza motora primaria y entrenamiento del brazo asistido por robot en lesión medular cervical incompleta crónica: Un estudio clínico aleatorizado con placebo a modo de prueba de concepto	PEDro	8/10

4	Li, C 2021 (10)	Transcranial direct current stimulation for spinal cord injury-associated neuropathic pain	Estimulación transcraneal por corriente continua para el dolor neuropático asociado a lesión medular	PROTOCOLO	36/40
5	Li, J 2025 (11)	The effect of device-based neuromodulation on the motor recovery of patients with spinal cord injury	El efecto de la neuromodulación basada en dispositivos en la recuperación motora de pacientes con lesión medular	PROTOCOLO	34/40
6	Chantanachai, T 2025 (23)	Tele-rehabilitation using transcranial direct current stimulation combined with exercise in people with spinal cord injury: a randomized controlled trial	Tele-rehabilitación utilizando estimulación transcraneal de corriente continua combinada con ejercicio en personas con lesión medular: un ensayo controlado aleatorizado	PEDro	8/10
7	Kumru, H 2020 (15)	Non-invasive brain and spinal cord stimulation for motor and functional recovery after a spinal cord injury	Estimulación no invasiva del cerebro y la médula espinal para la recuperación motora y funcional tras una lesión medular	PROTOCOLO	38/40
8	Shankar, R 2024 (74)	Effectiveness of transcutaneous spinal cord stimulation for lower limb	Eficacia de la estimulación transcutánea de la médula espinal para la rehabilitación de	PROTOCOLO	37/40

		rehabilitation in spinal cord injury: a systematic review	la extremidad inferior en lesiones medulares: una revisión sistemática		
9	Evans, NH 2022 (26)	A Pilot Study of Intensive Locomotor-Related Skill Training and Transcranial Direct Current Stimulation in Chronic Spinal Cord Injury	Un estudio piloto sobre entrenamiento intensivo relacionado con habilidades locomotoras y estimulación por corriente continua transcraneal en lesiones crónicas de la médula espinal	CONSORT	34/40
10	Coelho, DB 2025 (27)	Neurorehabilitation in spinal cord injury: Increased cortical activity through tDCS and robotic gait training	Neurorehabilitación en lesiones medulares: Aumento de la actividad cortical mediante tDCS y entrenamiento robótico de la marcha	PEDro	9/10
11	García-Alén, L 2024 (75)	Noninvasive Electromagnetic Neuromodulation of the Central and Peripheral Nervous System for Upper-Limb Motor Strength and Functionality in Individuals with Cervical Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis	Neuromodulación electromagnética no invasiva del sistema nervioso central y periférico para la fuerza y funcionalidad motora de las extremidades superiores en individuos con lesión de la médula espinal cervical: una revisión sistemática y metaanálisis	PROTOCOLO	35/40
12	Araujo, AVL 2020	Effectiveness of anodal transcranial direct current stimulation to improve muscle strength and motor functionality	Eficacia de la estimulación de corriente continua transcraneal anodal para mejorar la fuerza muscular y la función motora tras	PROTOCOLO	36/40

	(76)	after incomplete spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis	una lesión incompleta de la médula espinal: una revisión sistemática y metaanálisis		
13	Klamruen, P 2024 (30)	Effects of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation With Overground Gait Training on Lower Limb Performance in Individuals With Incomplete Spinal Cord Injury	Efectos de la estimulación por corriente continua transcraneal anodal con entrenamiento de la marcha por encima del suelo en el rendimiento de las extremidades inferiores en individuos con lesión medular incompleta	PEDro	8/10
14	Thibaut, A 2017 (77)	Delayed pain decrease following M1 tDCS in spinal cord injury: A randomized controlled clinical trial	Disminución tardía del dolor tras M1 tDCS en lesión medular: Un ensayo clínico controlado aleatorizado	PEDro	7/10
15	Chen, H 2026 (68)	Impact of High-Definition Cathodal tDCS Preconditioning on Enhancing the Therapeutic Efficacy of iTBS Combined With FES for Improving Walking Function in Patients With Spinal Cord Injury: A Randomized Controlled Trial	Impacto del preacondicionamiento catódico de alta definición con tDCS en la mejora de la eficacia terapéutica de iTBS combinado con FES para mejorar la función de caminar en pacientes con lesión medular: un ensayo controlado aleatorizado	PEDro	8/10
16	Lin, B-S 2023 (69)	Effectiveness of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined With Transspinal Electrical Stimulation on Corticospinal Excitability for	Eficacia de la estimulación magnética transcraneal repetitiva combinada con estimulación eléctrica transespinal sobre la excitabilidad corticoespinal en personas con	PEDro	6/10

		Individuals With Incomplete Spinal Cord Injury: A Pilot Study	lesión medular incompleta: un estudio piloto		
17	Soler, D 2020 (70)	Transcranial Direct Current Stimulation and Visual Illusion Effect According to Sensory Phenotypes in Patients With Spinal Cord Injury and Neuropathic Pain	Estimulación transcraneal de corriente continua y efecto de ilusión visual según fenotipos sensoriales en pacientes con lesión medular y dolor neuropático	PEDro	8/10
18	Dai, W 2026 (71)	Timing Matters: Preconditioning Effects of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation on Intermittent Theta-Burst Stimulation-Induced Neuroplasticity in the Primary Motor Cortex	Importan los tiempos: efectos precondicionados de la estimulación por corriente continua transcraneal catódica sobre la neuroplasticidad inducida por estimulación intermitente por estallido theta en la corteza motora primaria	PEDro	9/10
19	Cortés, M 2025 (78)	Improved grasp function with transcranial direct current stimulation in chronic spinal cord injury	Mejora de la función de agarre con estimulación transcraneal por corriente continua en lesión crónica de la médula espinal	PEDro	9/10
20	Sun, X 2019 (79)	Analgesia-enhancing effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on neuropathic pain after spinal cord injury	Efectos potenciadores de la analgesia de la estimulación magnética transcraneal repetitiva sobre el dolor neuropático tras una lesión medular	PEDro	6/10

***Tabla 5**. Valoración de la calidad metodológica de los estudios controlados aleatorizados (ECA´s) mediante la escala PEDro, de revisiones bibliográficas y metaanálisis mediante la escala PRISMA y estudios piloto por medio de la escala CONSORT Extension for Pilot and Feasibility Trials*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

N°	Autores	Población	Variables	Intervención	Resultados
1	(5)	N= 43 GC: 22 GE: 21	índice WISCI-II	GC: tDCS simulada Este estudio aleatorizado y doble ciego incluyó a 43 participantes con LM incompleta que se sometieron a 30 sesiones de tDCS activa (n = 21) o simulada (n = 22) (20 min, 2 mA) antes de cada sesión de Lokomat de 30 minutos (3 veces por semana durante 12 semanas o 5 veces por semana durante 6 semanas). El principal resultado fue la mejora en WISCI-II. Los participantes fueron evaluados al inicio, tras 15 y 30 sesiones de Lokomat, y tras tres meses de tratamiento. GE: tDCS activa	Hubo una diferencia significativa en el porcentaje de participantes que mejoraron en WISCI-II en las 30 sesiones, en comparación con el inicio: 33,3% en el grupo simulado y 70,0% en el grupo activo (p = 0,046; OR: 3.7; IC 95%: 1,0–13,5). En el seguimiento, la mejora respecto al valor inicial en el grupo simulado fue del 35,0% frente al 68,4% del grupo activo (p = 0,046; OR: 3.7; IC 95%: 1,0–13,5). No hubo diferencia significativa en las 15 sesiones.

2	(6)	N= 30 Edad: N/A GC: 10 GE1: 10 GE2:10	Dolor: Escala numérica Función motora del miembro: Basso-Beattie-Bresnahan	GC y GE1 y GE2, Los tres grupos anteriores de recibieron estimulación según los protocolos. El grupo simulado y el grupo vehículo recibieron estimulación sham-tDCS, y el grupo tDCS recibió estimulación tDCS real. GC: Simulado GE: Estimulación sham-tDCS GE2: Estimulación tDCS real.	La tDCS podía aliviar eficazmente el dolor neuropático inducido por LM. El mecanismo de alivio del dolor puede estar relacionado con la tDCS, que puede reducir el contenido de citocinas proinflamatorias, aumentar el contenido de citocinas antiinflamatorias y factores neurotróficos en el tálamo y el mesencéfalo al regular la dirección de polarización de la microglía.
3	(16)	N= 9 GC: 5 GE: 4	Prueba de función manual: Jebson Taylor (JTHFT) Escala Ashworth Modificada (MAS)	GC: atDCS fueron aleatorizados para recibir 10 sesiones de atDCS o stDSC combinadas con R-AAT. Se evaluaron la viabilidad y tolerabilidad con la tasa de	Estos hallazgos preliminares apoyan que modular la entrada excitatoria de los tractos corticoespinales en los circuitos espinales puede ser

				desgaste y la aparición de eventos adversos. GE: stDCS	una estrategia prometedora para mejorar las funciones del brazo y la mano en personas con tetraplejia incompleta. Se necesitan más estudios para explorar los mecanismos subyacentes de la recuperación.
4	(10)	N = 6	Estimulación anodal en la corteza motora primaria (M1) del hemisferio contralateral al dolor, colocando el cátodo sobre la región supraorbitaria ipsilateral al dolor.	La mayoría de los estudios que evalúan la eficacia de la tDCS para la NP tras LM aplican estimulación anodal en la corteza motora primaria (M1) del hemisferio contralateral al dolor, colocando el cátodo sobre la región supraorbitaria ipsilateral al dolor. La estimulación a intensidad de 2 mA con un electrodo de 35 cm2 de tamaño se administró durante 20 minutos al día y se repitió durante	Un pequeño número de estudios clínicos han investigado el uso de tDCS para tratar a pacientes con dolor crónico asociado a LME. Un estudio histórico positivo controlado simulado utilizando tDCS en NP relacionada con LM generó un interés significativo dado el continuo desafío de

				5 a 10 sesiones en la mayoría de los estudios	gestionar este tipo de dolor a pesar de todas las opciones de tratamiento disponibles y los avances en la medicina de LME.
5	(11)	N=55	Mecanismos y aplicaciones clínicas de las tecnologías de neuromodulación basadas en dispositivos en la rehabilitación de lesiones medulares	Análisis sistemático los avances en neuromodulación durante la última década, incluyendo interfaces cerebro-columna (BSI), interfaces cerebro-ordenador (BCI), técnicas de estimulación craneal (DBS, TMS, tDCS), estimulación de la médula espinal (SCS) y exoesqueletos robóticos.	Las tecnologías de neuromodulación demuestran un potencial significativo para restaurar la función motora y sensorial tras la LME. BSI y BCI mejoran la movilidad, pero enfrentan riesgos de infección y ciberseguridad. Las técnicas de estimulación craneal aumentan la neuroplasticidad, con DBS y TMS mostrando eficacia, mientras que la tDCS requiere una validación

					adicional. El SCS epidural permite la recuperación motora en parálisis total, pero presenta altas tasas de infección. Los exoesqueletos robóticos benefician a los pacientes más jóvenes.
6	(23)	N=30 GC: 15 GE: 15	Prueba de función: Escala Ashworth Modificada (MAS)	GC: Ejercicio teledirigido Cada sesión incluía 20 minutos de estimulación transcraneal por corriente continua seguida de 1 hora de ejercicio telesupervisado. GE: tDCS	El efecto de 12 sesiones de estimulación transcraneal en casa con corriente continua combinada con ejercicio se limitó a una mejor recuperación motora de las extremidades superiores
7	(15)	N= 32	Rtms, tDCS y estimulación de la médula espinal (tcSCS)	21 con estimulación cerebral (14 en rTMS y 7 en tDCS) y 11 con estimulación de la médula espinal (tcSCS).	A pesar de la variabilidad significativa en los protocolos de tratamiento, las características del paciente y la evaluación clínica, los cambios

					observados se reportaron en casi todos los estudios sin producir efectos secundarios y con mejoría motora o funcional.
8	(74)	N= 14	Escala de GRADE	5 ECA, 4 estudios no aleatorizados y 5 series de casos	La evidencia actual sugiere que el tDCS puede mejorar la función motora de las extremidades inferiores y la velocidad de caminata en pacientes con lesión medular, con un perfil de seguridad favorable.
9	(26)	N= 25 GC: 13 GE: 12	índice de simetría de paso (SI)	GC: MST+tDCS simulada Veinticinco adultos (lesión crónica de médula espinal motora incompleta) fueron asignados aleatoriamente a una intervención de 3 días en un circuito MST relacionado con locomotoras y a la aplicación simultánea de tDCS	Los análisis revelaron efectos significativos del circuito MST sobre la velocidad de caminata, la distancia al caminar, la cadencia y la longitud bilateral de la zancada, pero ningún efecto sobre la

				simulado (MST+tDCSSham) o tDCS activo (MST+tDCS). El resultado principal fue la velocidad de caminata por el suelo. Los resultados secundarios incluyeron la distancia a caminar, la cadencia, la longitud de la zancada y el índice de simetría de paso (SI) GE: tDCSSham+ MST	articulación suicida intermiembro. No se observaron diferencias significativas entre grupos. Análisis post hoc revelaron cambios dentro del grupo en la velocidad de caminata ($\Delta M = 0,13$ m/s, SD = 0,13) que cubrían la diferencia mínimamente importante clínicamente de 0,15 m/s.
10	(27)	N= 26 GC: 13 GE: 13	Escala Walking Index Spinal Cord Injury II (WISCI-II).	GC: tDCS simulada + lokomat Este ensayo clínico aleatorizado, doble ciego y paralelo incluyó a 26 individuos con LM incompleta. A los participantes se les asignó la asignación de tDCS activa (n = 13) o simulada (n = 13) seguida de RAGT utilizando el sistema Lokomat. El ánodo se colocó sobre la región de representación motora	El grupo activo de tDCS mostró mejoras significativas en la concentración de oxihemoglobina (oxi-Hb) en el área motora suplementaria (SMA) y la corteza motora primaria (M1) tras la intervención. Estos cambios se

				de la pierna de la corteza motora primaria (M1). La espectroscopía funcional en el infrarrojo cercano (fNIRS) evaluó la respuesta hemodinámica de la corteza cerebral antes y después de 30 sesiones de intervención (3 veces por semana durante 12 semanas o 5 veces por semana durante 6 semanas). El resultado clínico fue el cambio en la escala Walking Index Spinal Cord Injury II (WISCI-II).GE: KI-BCI + tDCS GE: tDCS activa+ Lokomat	correlacionaron positivamente con mejoras en la escala WISCI-II, lo que indica una mejor recuperación de la marcha. No se observaron diferencias significativas en la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC) y la corteza somatosensorial primaria (S1). La menor proporción de participantes tetrapléjicos en activo en comparación con la simulación debe reconocerse como una limitación.
11	(75)	N= 25	Escala de AIS	7 fueron estudios cruzados y 18 fueron ensayos controlados aleatorizados. Cuatro estudios se centraron en TMS, 4 en tDSC, 2 en	Las condiciones simuladas se realizaron con un breve evento de incremento/desaceleración

				tSCS, 10 en FES, 4 en TENS y 1 en NMS	al inicio y al final del periodo de estimulación, sin ninguna corriente entre ambos eventos. Se evidencia hormigueo, enrojecimiento cutáneo, somnolencia, dolor de cabeza y picor bajo el electrodo como efectos adversos. Todos estos síntomas desaparecieron poco después de la finalización de la intervención y variaron desde leves hasta moderadas en gravedad.
12	(76)	N= 6	Modelos genéricos de varianza inversa y efectos aleatorios para calcular tamaños de efectos agrupados (ES)	Seis ensayos clínicos aleatorizados cumplieron los criterios de inclusión (n = 78 individuos con iCLE) y fueron incluidos en el metaanálisis.	Los resultados mostraron un efecto agrupado marginal significativo de la tDCS activa en la mejora de la funcionalidad motora con

					un ES pequeño (DMS = 0,26, IC 95% = −0,00 a 0,53, p = 0,05, I2 = 0%). Por otro lado, el efecto agrupado de la tDCS activa sobre la fuerza muscular no alcanzó significación estadística, en paralelo con un ES pequeño (DME = 0,35, IC 95% = −0,21 a 0,92, p = 0,22, I2 = 0%) en comparación con la tDCS simulada.
13	(30)	N= 92 GC: 23 GE: 69	Escala Numérica del Dolor (NPS)	GC: s-tCDS El periodo de estimulación para el grupo activo duró 10 minutos. El dispositivo aumentaba hasta la amplitud objetivo durante un periodo de 30 s GE: a-tDCS	Aunque el estudio estuvo limitado por una pequeña cohorte de ictus con gravedad moderada y localización variable de la lesión, estos resultados sugieren un papel de arriba abajo para áreas de orden superior, como la atención,

					en ayudar a orquestar el proceso de recuperación del ictus.
14	(77)	N= 24 GE1: 46	Estimulación M1	Ánodo se coloca sobre la corteza motora primaria (M1), puede inducir un alivio clínicamente significativo del dolor en síndromes de dolor crónico	5 sesiones de tDCS M1 redujeron significativamente el nivel de dolor tras el final de las sesiones de estimulación, pero no cuando se reevaluaron a las dos semanas de seguimiento.
15	(68)	N=74 GC: 37 GE: 37	Estimulación eléctrica funcional (FES) y la estimulación intermitente de estallido theta (iTBS)	el grupo de tratamiento mostró una conectividad funcional significativamente más fuerte a través de múltiples redes corticales relacionadas con el motor en comparación con el grupo de control, incluyendo la conectividad entre la corteza prefrontal (CPF) y M1 (t = 2,92, *p* = 0,021), la corteza premotora derecha (rPMC) y M1 (t	Sesenta y cuatro participantes con LM incompleto fueron asignados aleatoriamente a precondicionamiento activo o simulado de C-tDCS de la EH, ambos seguidos de intervenciones idénticas de iTBS y FES. Las intervenciones se

		= 4,99, $p <$ 0,001), y M1 y la corteza somatosensorial primaria (S1) (t = 4,70, $p <$ 0,001).	administraron una vez al día, cinco veces por semana durante cuatro semanas. Ambas técnicas de estimulación cerebral se centraron en la zona de la corteza motora primaria (M1). El resultado principal fue la Puntuación Motora de Extremidades Inferiores (LEMS). Los resultados secundarios incluyeron la Evaluación Fugl-Meyer de la Extremidad Inferior (FMA-LE), la Escala de Equilibrio Berg (BBS), la Medida III de Independencia de la Médula Espinal (SCIM-III), el Índice de Caminata para Lesión Medular II (WISCI-

					II), los valores cuadráticos medios (RMS) del recto femoral y tibial anterior, altura del escalón, rango de movimiento de rodilla y tobillo (ROM), y conectividad funcional cerebral mediante espectroscopía funcional en el infrarrojo cercano (fNIRS). evaluado antes y después de la intervención.
16	(69)	N= 12 GC: 3 GE1: 3 GE2: 3 GE3: 3	Estimulación magnética transcraneal repetitiva (rTMS) y la estimulación eléctrica transespinal (tsES)	Cada participante recibió rehabilitación electromagnética o simulada de estimulación, seguida de 30 minutos de rehabilitación ciclista tres veces por semana durante 8 semanas.	la combinación de tratamiento con iTBS rTMS y tsDCS fue más eficaz que iTBS rTMS solo o tsDCS solo para mejorar la excitabilidad corticospinal. Aunque prometedores, los resultados de este estudio deben validarse mediante

					estudios con intervenciones más largas y muestras más grandes.
17	(70)	N= 130 GC: 65 GE: 65	NPSI, Brief Pain Inventory	Sesenta y cinco pacientes recibieron un tratamiento combinado diario de 20 minutos de estimulación transcraneal por corriente continua e ilusión visual durante 2 semanas. Sesenta y cinco pacientes sirvieron como grupo de control.	En este artículo confirmamos el efecto analgésico de una terapia neuromoduladora combinada, la estimulación transcraneal por corriente continua asociada a la ilusión visual en pacientes con NP tras una LM. Hemos identificado 5 grupos de NP con fenotipos sensoriales distintos, pero no hubo ningún grupo fenotípico sensorial específico que respondiera significativamente mejor a la terapia combinada que el otro.

18	(71)	N=20 GC: 10 GE: 10	iTBS	Veinte participantes sanos se sometieron a cuatro sesiones de estimulación en un diseño cruzado aleatorio, recibiendo iTBS de inmediato o en intervalos de 10 y 30 minutos tras el preacondicionamiento catódico de HD-tDCS, además de una sesión de control con iTBS inmediatamente después de la simulación de HD-tDCS. Los potenciales evocados motores (MEPs) se midieron al inicio y 5, 10, 15 y 30 minutos después de la iTBS para evaluar cambios en la neuroplasticidad. Cada sesión estaba separada por ≥una semana para evitar efectos residuales.	En comparación con las sesiones simuladas, el preacondicionamiento inmediato de HD-tDCS catódal aumentó significativamente los MEPs en todos los intervalos medidos tras la iTBS, con una neuroplasticidad sostenida que persistió hasta 30 minutos. El preacondicionamiento inmediato produjo mejoras significativas de MEP a 5 y 10 minutos en comparación con la condición de retraso de 30 minutos.
19	(78)	N=11 GC: 4 GE1: 4	Prueba Box and Blocks (BB).	Once participantes con LM incompleta fueron asignados al azar para recibir 20 minutos de	Se observó una mejora significativa en la relación media-velocidad máxima

		GE2: 3		estimulación de 1 mA, 2 mA o simulada sobre la corteza motora objetivo en tres sesiones separadas.	(GMP) en el grupo de 2 mA (pre: 0,38±0,02; post: 0,43±0,03; media±SEM; p = 0,031). No hubo diferencias estadísticamente significativas en los resultados de la prueba de BB, sin embargo, la intervención de 2 mA mostró una tendencia positiva de mejora.
20	(79)	N= 21	Espectroscopía funcional en infrarrojo cercano (fNIRS)	Veintiún pacientes con dolor neuropático tras LME fueron asignados aleatoriamente (2:1) para recibir una sesión de rTMS (10 Hz, un total de 1200 pulsos con una intensidad del 80% en el umbral motor en reposo) o un tratamiento simulado sobre la corteza motora primaria izquierda (M1) correspondiente a la zona de	la intensidad del dolor fue disminuyendo gradualmente tanto en el grupo de tDCS como en el de simulación. La tDCS real, comparada con la simulación, mostró más alivio del dolor entre las dos semanas y las seis semanas, y las activaciones de las

	la mano diariamente durante seis semanas con un intervalo de un día por semana.	áreas relacionadas con el motor M1 y la CMP quedaron notablemente suprimidas.

Tabla 6. Efectos de la aplicación de tDCS en pacientes con lesión medular.

DISCUSIÓN

Como objetivo de la investigación se considera que en analizar los efectos de la estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) sobre la función motora, sensorial y la calidad de vida en pacientes con lesión medular. En base a los resultados se toma en cuenta los siguientes hallazgos en relación con: dolor, función motora, marcha y el estado de ánimo del paciente.

Tan, M (6)., Li, C (10)., Soler, D (70)., Araújo, AVL (76)., Thibaut, A (77). y Sun, X (79). mencionan que al aplicar la estimulación transcraneal puede ayudar a disminuir los niveles de citocinas que favorecen la inflamación, al mismo tiempo que incrementa la presencia de citocinas con efecto antiinflamatorio y de factores que apoyan la salud y el desarrollo de las neuronas en el tálamo y el mesencéfalo. Esto ocurre gracias a su capacidad para influir en la forma en que la microglía adopta distintos estados funcionales.

Según Yozbatiran, N (16)., Lin, B-S (69). y Li, J (11)., describen que la combinación de tDCS anodal y entrenamiento intensivo con un exoesqueleto robótico es una terapia segura, tolerable y factible para mejorar la función del brazo y la mano en personas con lesiones medulares crónicas incompletas. Aunque los resultados son prometedores, se necesitan estudios con muestras más grandes y grupos de pacientes más homogéneos para confirmar su eficacia. En cambio, Chantanachai, T (23)., Kumru, H (15)., Araújo, AVL (76). y Cortés, M (78). dio a conocer una mejoría más eficaz en pacientes que usaron la tDCS conjunto con ejercicio terapéutico en comparación a pacientes que solo recibieron un tratamiento a base de ejercicio, ya que, si bien la tDCS generó efectos de activación en regiones específicas relacionadas con la función motora, el lenguaje y la visión, el rendimiento motor estuvo más influenciado por la forma en que se organizan y conectan las redes atencionales de gran escala en el cerebro.

Según Simis, M (5). y Shankar, R (74)., observaron que la aplicación de 30 sesiones de tDCS activa produjo una mejora significativa en la capacidad de marcha en comparación con la estimulación simulada (sham). En contraste, 15 sesiones no generaron cambios estadísticamente significativos. Asimismo, el aumento en las puntuaciones de la escala WISCI-II podría estar vinculado a distintos procesos del aprendizaje motor, entre ellos la recuperación de funciones motoras y el desarrollo de estrategias compensatorias. Coelho, DB (27). indica que entrenamiento de marcha asistido por robot junto con tDCS contribuye

a la activación neuronal en la motoneurona primaria, en regiones que se encargan de la planificación y ejecución de la marcha mejorando la recuperación de esta.

A diferencia Evans, NH (26). y Chen, H (68)., evidenciaron que el circuito MST contribuyó a mejorar varios aspectos de la marcha, incluyendo la velocidad, la distancia recorrida, la frecuencia de los pasos y la longitud de la zancada bilateral. No obstante, estos efectos no se extendieron a la coordinación articular entre extremidades, y las comparaciones entre grupos no mostraron diferencias estadísticamente significativas, al igual que Klamrven, P (30). a través de la combinación de tDCS anodal con entrenamiento de la marcha produjo una ligera mejora en la velocidad de caminata, este efecto se mantuvo hasta dos meses después de finalizada la intervención. Sin embargo, su impacto sobre los parámetros espaciotemporales de la marcha fue reducido.

Dai, W (71)., muestra la importancia de la tDCS que ayuda en la neuroplasticidad del paciente permitiendo reorganizar y adaptar el aprendizaje del paciente.

Los hallazgos de esta investigación aportan evidencia sólida sobre los beneficios de la estimulación transcraneal por corriente continua en pacientes con lesión medular. En primer lugar, se observó una mejora consistente en el dolor neuropático, señalado luego de la intervención de programas basados en estimulación transcraneal por corriente continua y ejercicio terapéutico aplicados entre 10 sesiones y 3 meses. Asimismo, se evidenciaron mejoras en parámetros funcionales de los miembros superiores, destacándose movimientos propios del paciente con ayuda de exoesqueletos que mejorar el rendimiento del paciente, de la misma manera, en patrones de la marcha se puede notar un incremento en la velocidad al caminar, mejorando significativamente. Finalmente, dentro de los efectos positivos sobre el estado de ánimo de los pacientes, con la aplicación de esta terapia se ha podido notar una ayuda en pacientes que presentan depresión, disminución del estado depresivo en el que se encuentra el paciente ya que no solo llega a presentar dificultad a nivel físico sino también emocional, por ello es necesario el apoyo el equipo multidisciplinario, mejorando el estado psico biosocial del paciente lo cual subraya el impacto sensorial del entrenamiento y su potencial en la rehabilitación integral de esta población.

A pesar de los beneficios descritos, los estudios incluidos presentan varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Existen variaciones entre investigaciones, ya que algunos trabajos no evidenciaron mejoras significativas en la utilización de la tDCS por sí solo sino siempre debe ser complementario a otro tipo de terapia

adicional. Además, la notoria variabilidad metodológica que existe, en cuanto al tiempo usado en la terapia con tDCS, la duración de los programas, la intensidad del entrenamiento y el uso de dispositivos como KI-BCI, exoesqueletos robóticos, entre otros; dificulta la comparación directa y limita la posibilidad de establecer un protocolo generalizado. También se identificó heterogeneidad en los instrumentos de evaluación empleados, lo cual representa un desafío para unificar resultados y medir efectos de manera estandarizada. Además, en muchos estudios se pudo notar que, a pesar de la mejora en la velocidad de la marcha, existieron parámetros que no variaban como el pasar de sedestación a bipedestación. Por otra parte, aunque varias investigaciones mostraron mejoras entre cada grupo, estas no siempre tuvieron un cambio significativo entre grupos, especialmente en terapias que aplicaban solamente tDCS por si sola. Finalmente, los diseños presentan limitaciones adiciona les como tamaños muestrales pequeños, ausencia de seguimientos longitudinales y variaciones en el tipo y severidad de las lesiones medulares evaluada, factores que restringen la generalización de los hallazgos.

CONCLUSIONES

Existen mejores resultados de la terapia con tDCS cuando trabaja con otras técnicas de rehabilitación principalmente cuando se trabaja con ejercicio terapéutico y exoesqueletos robóticos, llegando incluso a superar más de 60% en comparación del uso de esta técnica por si sola.

En base a los artículos analizados se considera que la aplicación de tDCS genera resultados efectivos en pacientes con LM, contribuyendo a la disminución del dolor neuropático en 6 artículos analizados, mejora la función motora con 9 artículos revisados, llegando incluso a mejorar la marcha del paciente en base a 6 artículos analizados, favoreciendo su rehabilitación y calidad de vida.

A pesar de la evidencia científica favorable que respalda el uso terapéutico de la tDCS, la heterogeneidad de los protocolos, la falta de seguimiento a largo plazo y un tamaño de muestra reducido, provocan una limitación en cuanto a generar resultados generalizados y un uso delimitado en su aplicación clínica.

RECOMENDACIONES

Implementar la técnica de tDCS complementaria a tratamientos multidisciplinarios en pacientes con lesión medular, con la adherencia con distintas intervenciones fisioterapéuticas que favorezcan a la recuperación funcional del paciente.

Promover el uso de instrumento que ayuden a una mejor evaluación y la investigación de variables poco analizadas, como el caso de la fatiga muscular y la función sensorial, para obtener una comprensión que no delimite los efectos de la tDCS en paciente con lesión medular.

Para investigaciones futuras es indispensable desarrollar investigaciones con metodologías más rigurosas, implementar muestras más amplias para eliminar sesgos de selección y seguimiento prolongado que permitan realizar protocolos adaptados para el paciente en su aplicación y determinar su beneficio a largo plazo.

BIBLIOGRÁFIA

1. Jinnson Francisco Cañar Camacho. Factores de riesgo y prevalencia de la lesión medular en adultos: una revisión sistemática. Universidad Católica De Cuenca. Edu.ec. [Internet]. 2023. Disponible en: https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/381529fb-d6f4-4e7a-bd61-e92a3f02ca03/content
2. Jinnson Francisco Cañar, Andrés Alexis Ramírez, Andrés Alexis Ramírez, et al. Vista de Factores de riesgo y prevalencia de la lesión medular en adultos: una revisión sistemática. Revmic.com. 2023. [Internet]. Disponible en: https://revmic.com/index.php/IC/article/view/30/69
3. Estimulación transcraneal: qué es, cómo funciona y en qué casos puede ayudarte en fisioterapia [Internet]. Barrena Craus. 2025. Disponible en: https://www.barrenacraus.com/tecnicas/estimulacion-transcraneal-que-es-como-funciona-y-en-que-casos-puede-ayudarte-en-fisioterapia/
4. Hispanidad. Estimulación Transcraneal por Corriente Directa (tDCS) [Internet]. Fisioterapia Hispanidad | Clínica de fisioterapia en Fuengirola. Fisioterapia Hispanidad; 2024. Disponible en: https://fisioterapiahispanidad.es/estimulacion-transcraneal-por-corriente-directa-tdcs-innovacion-en-fisioterapia/
5. Simis, M., Fregni, F. & Battistella, L.R. Estimulación transcraneal de corriente continua combinada con entrenamiento robótico en lesión medular incompleta: un ensayo clínico aleatorizado y controlado simulado. Casos de Ser de la Médula Espinal 7, 87 (2021). https://doi.org/10.1038/s41394-021-00448-9
6. Tan M, Feng Z, Chen H, Min L, Wen H, Liu H and Hou J (2023) Transcranial direct current stimulation regulates phenotypic transformation of microglia to relieve neuropathic pain induced by spinal cord injury. Front. Behav. Neurosci. 17:1147693. doi: 10.3389/fnbeh.2023.1147693
7. Who.int. Lesión de la médula espinal [Internet]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury
8. Ionclinics. Estimulación Transcraneal por Corriente Directa TDCS [Internet]. 2023. Disponible en: https://ionclinics.com/tecnicas/estimulacion-transcraneal-por-corriente-directa-tdcs/

9. Mohabbat A, Bannazadeh Baghi H. Chronic neuroplasticity changes following neurotropic viral infection: Mechanisms and implications. Cell Mol Neurobiol [Internet]. 2025;45(1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s10571-025-01622-5
10. Li C, Jirachaipitak S, Wrigley P, Xu H, Euasobhon P. Estimulación transcraneal de corriente continua para dolor neuropático asociado a lesión medular. Korean J Pain [Internet]. 2021; 34(2):156–64. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3344/kjp.2021.34.2.156
11. Li J, Chen T, Yan X, Luo L. El efecto de la neuromodulación basada en dispositivos en la recuperación motora de pacientes con lesión medular. Médula Espinal [Internet]. 2025; 63(12):621–32. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41393-025-01133-6
12. Wang S. Dosis y seguridad de la estimulación magnética transcraneal y la estimulación por corriente continua transcraneal para el manejo de pacientes con dolor musculoesquelético crónico: un protocolo de revisión con alcance [Internet]. Registros OSF; 2025. Disponible en: http://dx.doi.org/10.17605/OSF.IO/8HFBZ
13. Yang S, Chang MC. Estimulación transcraneal de corriente continua para el manejo del dolor neuropático: una revisión narrativa. Médico del Dolor [Internet]. 2021; 24(6): E771–81. Disponible en: http://dx.doi.org/10.36076/ppj.2021.24.e771
14. Simis M, Fregni F, Battistella LR. Transcranial direct current stimulation combined with robotic training in incomplete spinal cord injury: a randomized, sham-controlled clinical trial. Spinal Cord Ser Cases. 2021;7(1):87. doi:10.1038/s41394-021-00448-9
15. Kumru, H. Flores, A. Rodríguez-Cañón, M. Soriano, I. García, J. Vidal-Samsó, I. Non-invasive brain and spinal cord stimulation for motor and functional recovery after a spinal cord injury. Rev Neurol. 2020;70(12):461–477. doi:10.33588/rn.7012.2019453
16. Yozbatiran N, Keser Z, Davis M, Stampas A, O'Malley MK, Cooper-Hay C, et al. Estimulación transcraneal por corriente continua (tDCS) de la corteza motora primaria y entrenamiento del brazo asistido por robot en lesión crónica incompleta de la médula espinal cervical: un estudio clínico simulado y simulado de prueba de concepto. NeuroRehabilitación [Internet]. 2016; 39(3):401–11. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3233/NRE-161371

17. Carpenter L, Aaronson S, Hutton TM, Mina M, Pages K, Verdoliva S, et al. Comparación de los resultados clínicos con dos protocolos de tratamiento de Estimulación Magnética Transcraneal para el trastorno depresivo mayor. Estimulación cerebral [Internet]. 2021; 14(1):173–80. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.brs.2020.12.003
18. Lefebvre S, Liew SL. Anatomical parameters of tDCS to modulate motor recovery. Neuroimage. 2022; 237:118141. doi: 10.1016/j.neuroimage.2021.118141
19. Orr MB, Gensel JC. Spinal cord injury scarring and inflammation. Exp Neurol. 2021; 338:113605. doi: 10.1016/j.expneurol.2020.113605
20. Bauman WA, Korsten MA, Radulovic M, et al. Metabolic changes after spinal cord injury. J Spinal Cord Med. 2021;44(6):873–890. doi:10.1080/10790268.2020.1774621
21. Craig A, Guest R, Tran Y, Middleton J. Cognitive impairment and mood disorders after spinal cord injury. J Neurotrauma. 2022;39(9-10):571–582. doi:10.1089/neu.2021.0325
22. Zhou D, Li X, Wei S, Yu C, Wang D, Li Y, et al. Estimulación transcraneal de corriente continua combinada con estimulación magnética transcraneal repetitiva para la depresión: un ensayo clínico aleatorizado. JAMA Netw Open [Internet]. 2024; 7(11): e2444306. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.44306
23. Chantanachai T, Apiworajirawit I, Klamruen P, Aneksan B, Auvichayapat P, Lackmy-Vallée A, et al. Tele-rehabilitación mediante estimulación transcraneal de corriente continua combinada con ejercicio en personas con lesión medular: un ensayo controlado aleatorizado. J Rehabil Med [Internet]. 2025; 57: jrm42353. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2340/jrm.v57.42353
24. Ming Z, Yu W, Fan J, Ling G, Fengming C, Wei T. Efficacy of kinesthetic motor imagery-based brain computer interface combined with tDCS on upper limb function in subacute stroke. Sci Rep [Internet]. 2025;15(1):11829. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-96039-x
25. Salazar CA, Welsh JM, Lench D, Harmsen IE, Jensen JH, Grewal P, et al. Concurrent tDCS-fMRI after stroke reveals link between attention network organization and motor improvement. Sci Rep [Internet]. 2024;14(1):19334. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-70083-5

26. Evans NH, Field-Fote EC. A pilot study of intensive locomotor-related skill training and transcranial direct current stimulation in chronic spinal cord injury. J Neurol Phys Ther [Internet]. 2022;46(4):281–92. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1097/NPT.0000000000000403
27. Coelho DB, Aquino Dos Santos AC, Sato JR, Simis M, Fregni F, Battistella LR. Neurorehabilitation in spinal cord injury: Increased cortical activity through tDCS and robotic gait training. Clin Neurophysiol [Internet]. 2025; 173:199–204. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2025.03.027
28. Is EE, Aksu S, Karamursel S, Ketenci A, Sindel D. Effectiveness of transcranial direct current stimulation in chronic pain and neurogenic claudication related to lumbar spinal stenosis. Neurol Sci [Internet]. 2024;45(2):769–82. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s10072-023-07248-z
29. Charvet L, Goldberg JD, Li X, Best P, Lustberg M, Shaw M, et al. Home-based transcranial direct current stimulation paired with cognitive training to reduce fatigue in multiple sclerosis. Sci Rep [Internet]. 2025;15(1):4551. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-88255-2
30. Klamruen P, Suttiwong J, Aneksan B, Muangngoen M, Denduang C, Klomjai W. Effects of anodal transcranial direct current stimulation with overground gait training on lower limb performance in individuals with incomplete spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil [Internet]. 2024;105(5):857–67. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2023.09.025
31. Betancur DFA, da Graça Lopes Tarragó M, França BR, Bueno GB, Gomes J, Coelho ML, et al. Cortical excitability and analgesic effects of multisite transcranial direct current stimulation targeting the motor cortex and cerebellum in fibromyalgia. Sci Rep [Internet]. 2025;15(1):37067. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-20769-1
32. Lu Y, Shang Z, Zhang W, Hu X, Dai Y, Shen R, et al. Global incidence and characteristics of spinal cord injury since 2000–2021: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med.* 2024; 22:285. doi:10.1186/s12916-024-03514-9.
33. Martínez-Torija M, et al. Focus on pressure injury in individuals with spinal cord injury. *J Clin Med.* 2025;14(5):1556.
34. Kulmaç HB. Recent therapeutic approaches for spinal cord injury. Medical Journal of Bakirkoy. 2024.

35. Margetis K, et al. Spinal cord injuries. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
36. Oña A, Yánez C, Barzallo AP, et al. Epidemiological profile of people with spinal cord injury in Ecuador. J Spinal Cord Med. 2025. https://doi.org/10.1080/10790268.2025.2460298
37. Badhiwala JH, Wilson JR, Fehlings MG. Global burden of traumatic brain and spinal cord injury. Lancet Neurol. 2022;21(4):323–334.
38. Kirshblum S, Waring W, Biering-Sorensen F, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (Revised 2019). J Spinal Cord Med. 2021;44(S1): S50–S100.
39. Fehlings MG, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Acute Spinal Cord Injury. Global Spine J. 2021;11(1S):3S–90S.
40. Carreira Rodríguez J. Fisioterapia en lesiones medulares. Revisión sistemática cualitativa. Rev Portales Médicos. 2025;20(18):988. Disponible en: https://www.revista-portalesmedicos.com/revista-medica/fisioterapia-en-lesiones-medulares-revision-sistematica-cualitativa/
41. Badhiwala JH, Wilson JR, Fehlings MG. Global burden of traumatic brain and spinal cord injury. Lancet Neurol. 2022;21(4):323–334.
42. Ahuja CS, et al. Traumatic spinal cord injury—repair and regeneration. Nat Rev Neurol. 2023;19(4):233–248.
43. Singh A, et al. Spinal cord injury: clinical features and functional outcomes. J Neurorehabil. 2022;39(2):145–158
44. Adams MM, et al. Management of spasticity after spinal cord injury. Spinal Cord J. 2023;61(4):312–320.
45. Panicker JN, et al. Lower urinary tract dysfunction in spinal cord injury. Nat Rev Urol. 2022;19(5):293–306.
46. Krassioukov A, et al. Neurogenic bowel management in spinal cord injury. Spinal Cord. 2021;59(3):201–210
47. Eldahan KC, Rabchevsky AG. Autonomic cardiovascular dysfunction in spinal cord injury. Auton Neurosci. 2022; 235:102–110.
48. Alexander MS, et al. Sexual dysfunction after spinal cord injury. J Spinal Cord Med. 2023;46(2):150–160.
49. Giangregorio LM, et al. Bone health after spinal cord injury. Osteoporos Int. 2022;33(4):701–712.

50. Finnerup NB, et al. Neuropathic pain after spinal cord injury. Lancet Neurol. 2021;20(10):816–828.
51. Wyndaele JJ, et al. Infections in spinal cord injury patients. Spinal Cord. 2022;60(6):521–530.
52. Harel NY, Carmel JB. Neuroplasticity after spinal cord injury: mechanisms and therapeutic implications. Nat Rev Neurosci. 2022;23(6):345–359.
53. Courtine G, Sofroniew MV. Spinal cord repair: advances in biology and technology. Nat Med. 2021;27(3):349–361.
54. Freund P, Thompson AJ. Cortical reorganization after spinal cord injury. Lancet Neurol. 2022;21(5):421–433.
55. Bhattacharya A, et al. An overview of noninvasive brain stimulation: basic principles and clinical applications. Can J Neurol Sci. 2022;49(4):479–492.
56. Villota Rodríguez PA, et al. Revisión bibliográfica en neuromodulación no invasiva. Rev Latinoam Cs Soc Hum. 2024;6(1):3332.
57. Zhang H, et al. Restoring sensorimotor function through neuromodulation after spinal cord injury. Front Neurosci. 2021; 15:749465.
58. Iddings JA, et al. Non-invasive neuromodulation and rehabilitation in spinal cord injury. Curr Opin Neurol. 2021;34(6):812–818.
59. Lefaucheur JP, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation. Clin Neurophysiol. 2021;132(9):2140–2172.
60. Kuo MF, Nitsche MA. Effects of transcranial electrical stimulation on cognition and motor function. Nat Rev Neurosci. 2022;23(5):1–15
61. Nitsche MA, Paulus W. Mechanisms of transcranial direct current stimulation. J Physiol. 2021;599(3):657–667.
62. Chen JM, et al. Effects of non-invasive brain stimulation on motor function after spinal cord injury. J NeuroEng Rehabil. 2023;20(3):1–15.
63. Bikson M, et al. Safety guidelines for transcranial direct current stimulation. Brain Stimul. 2021;14(4):917–929.
64. Villamar MF, et al. technical aspects and clinical applications of tDCS in neurorehabilitation. NeuroRehabilitation. 2023;52(2):215–228.
65. Hernández-Navarro A, et al. Non-invasive cerebral and spinal cord stimulation for motor and gait recovery in incomplete spinal cord injury: systematic review and meta-analysis. J Neuroeng Rehabil. 2025; 22:53.

66. Portaro S, et al. Neuromodulation approaches for pain relief in spinal cord injury: systematic review and meta-analysis. Neurol Sci. 2025; 46:2995-3020.
67. Saballete P, et al. Combined tDCS interventions for neuropathic pain after spinal cord injury: pilot study. Spinal Cord Ser Cases. 2024; 10:83.
68. Chen H, Xia C, Yao W, Ren X, Zhang C, Fan Y, entre otros. Impacto del preacondicionamiento catódico de tDCS en alta definición en la mejora de la eficacia terapéutica de iTBS combinado con FES para mejorar la función de caminar en pacientes con lesión medular: un ensayo controlado aleatorizado. Neurociencia del SNC Allí. 2026; 32(5): e70932. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1002/cns.70932
69. Lin B-S, Zhang Z, Peng C-W, Chen S-H, Chan WP, Lai C-H. Eficacia de la estimulación magnética transcraneal repetitiva combinada con estimulación eléctrica transespinal en la excitabilidad corticoespinal en personas con lesión medular incompleta: un estudio piloto. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng [Internet]. 2023; 31:4790–800. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2023.3338226
70. Soler D, Moriña D, Kumru H, Vidal J, Navarro X. Estimulación transcraneal de corriente continua y efecto de ilusión visual según fenotipos sensoriales en pacientes con lesión medular y dolor neuropático. J Pain [Internet]. 2021; 22(1):86–96. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.jpain.2020.06.004
71. Dai W, Zhang Y, Cheng Y, Dong M, Qian Y, Wang X, entre otros. Importan los tiempos: Efectos precondicionados de la estimulación por corriente directa transcraneal catódica sobre la neuroplasticidad inducida por estimulación theta-burst intermitente en la corteza motora primaria. Neuromodulación [Internet]. 2025; 28(3):520–31. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.neurom.2025.01.006
72. Liao W-W, Lin C-Y, Horng Y-S, Chen C-L, Lee T-H, Wu C-Y. La estimulación transcraneal por corriente continua sobre la corteza motora y premotora con terapia espejo mejora el control motor, la función muscular y la actividad cerebral en el ictus crónico: un ensayo controlado simulado aleatorizado doble ciego. J Neuroeng Rehabil [Internet]. 2025; 22(1):98. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1186/s12984-025-01635-7
73. Ruas CV, Carlos BM, Feitosa S, Silva MV, Vázquez P, Pontes LL, entre otros. Los efectos de la estimulación transcraneal por corriente continua durante ejercicios de realidad extendida para la recuperación cortical, neuromuscular y clínica de supervivientes de ictus. Neural Plast [Internet]. 2025; 2025(1):5688648. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1155/np/5688648

74. Shankar R, Wen KSW, Goh Z, Tan B, Chandran G. Eficacia de la estimulación transcutánea de la médula espinal para la rehabilitación de la extremidad inferior en lesiones medulares: una revisión sistemática. J Neuroeng Rehabil [Internet]. 2025; 23(1):30. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1186/s12984-025-01775-w
75. García-Alén L, Ros-Alsina A, Sistach-Bosch L, Wright M, Kumru H. Neuromodulación electromagnética no invasiva del sistema nervioso central y periférico para la fuerza y funcionalidad motora de las extremidades superiores en individuos con lesión medular cervical: revisión sistemática y metaanálisis. Sensores (Basilea) [Internet]. 2024; 24(14):4695. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/s24144695
76. Araújo AVL, Ribeiro FPG, Massetti T, Potter-Baker KA, Cortes M, Plow EB, et al. Eficacia de la estimulación de corriente continua transcraneal anodal para mejorar la fuerza muscular y la funcionalidad motora tras una lesión incompleta de la médula espinal: una revisión sistemática y metaanálisis. Médula Espinal [Internet]. 2020; 58(6):635–46. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41393-020-0438-2
77. Thibaut A, Carvalho S, Morse LR, Zafonte R, Fregni F. Disminución retardada del dolor tras M1 tDCS en lesión medular: Un ensayo clínico controlado aleatorizado. Neurosci Lett [Internet]. 2017; 658:19–26. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2017.08.024
78. Cortes M, Medeiros AH, Gandhi A, Lee P, Krebs HI, Thickbroom G, entre otros. Mejora de la función de agarre con estimulación transcraneal de corriente continua en lesión crónica de la médula espinal. NeuroRehabilitación [Internet]. 2017; 41(1):51–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3233/NRE-171456
79. Sun X, Long H, Zhao C, Duan Q, Zhu H, Chen C, et al. Efectos potenciadores de la analgesia de la estimulación magnética transcraneal repetitiva sobre el dolor neuropático tras una lesión medular: un estudio fNIRS. Restor Neurol Neurosci [Internet]. 2019; 37(5):497–507. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3233/RNN-190934