



Universidad del  
**Rosario**

POTENCIALES EVOCADOS MOTORES: CARACTERIZACIÓN  
ELECTROFISIOLÓGICA DE UN GRUPO DE PACIENTES ATENDIDOS EN UN  
HOSPITAL DE ALTA COMPLEJIDAD EN BOGOTÁ, COLOMBIA.

Autora:  
Natalia Gómez Salazar

Director de tesis:  
Dr. Jesús Hernán Rodríguez

Asesoras:  
Laura Liseth Oviedo Naranjo  
Luisa Fernanda Murcia

Trabajo presentado como requisito para optar por el  
título de Neuróloga

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud  
Especialización en neurología  
Universidad del Rosario

Bogotá - Colombia  
2024

## **Identificación del proyecto**

Institución académica: Universidad del Rosario

Dependencia: Neurología

Título de la investigación: Potenciales Evocados Motores: Caracterización Electrofisiológica De Un Grupo De Pacientes Atendidos En Un Hospital De Alta Complejidad En Bogotá, Colombia.

Instituciones participantes: Hospital Universitario Mayor Méderi

Tipo de investigación: Estudio retrospectivo descriptivo

Investigador principal: Natalia Gómez Salazar

Investigadores asociados: Laura Liseth Oviedo Naranjo

Asesor clínico o temático: Dr. Jesús Hernán Rodríguez

Asesor metodológico: Dra. Luisa Fernanda Murcia

## Tabla de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.3 JUSTIFICACIÓN	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS</b>	<b>18</b>
<b>6. METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
6.1 TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO	19
6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	19
6.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	19
6.3.1 <i>Criterios de inclusión:</i>	19
6.3.2 <i>Criterios de exclusión:</i>	19
6.4 TAMAÑO DE MUESTRA	19
6.5 MUESTREO	19
6.6 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	20
6.6.1 <i>Definiciones:</i>	20
6.6.2 <i>Operacionalización de variables:</i>	20
6.7 TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS	23
6.8 PLAN DE PROCESAMIENTO DE MUESTRAS BIOLÓGICAS	24
6.9 PLAN ANÁLISIS DE DATOS	24
6.10 ALCANCES Y LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN	25
<b>7. ASPECTOS ÉTICOS</b>	<b>27</b>
7.1 EQUIPO DE INVESTIGACIÓN	27
7.2 CATEGORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	27
7.3 POBLACIÓN SUJETA DE INVESTIGACIÓN	28
7.4 PROCESO DE OBTENCIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO	28
7.5 USO DE DATOS PERSONALES	28
7.6 RIESGOS Y BENEFICIOS	29
7.7 TITULARIDAD DE LA INFORMACIÓN/ CONSIDERACIONES ADICIONALES	30
7.8 CRITERIOS QUE SE TENDRÁ EN CUENTA PARA DEFINIR LA AUTORÍA DE LOS PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN	30
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>9. DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
9.1 CONCLUSIONES	45
<b>10. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>46</b>
10.1 PRESUPUESTO	46
10.2 CRONOGRAMA	47
<b>11. REFERENCIAS</b>	<b>48</b>

## **Resumen**

### *Introducción:*

Los Potenciales Evocados Motores (PEM) son una herramienta diagnóstica fundamental en neurología para evaluar las respuestas musculares provocadas por la estimulación de la corteza motora cerebral. Son especialmente útiles para detectar lesiones en la vía piramidal, útil en el diagnóstico de enfermedades como la ELA. Dada su importancia en la práctica clínica, se considera fundamental realizar estudios locales que exploren sus aplicaciones.

### *Objetivo:*

Describir las características electrofisiológicas de los pacientes en los que se realizaron pruebas de PEM en un hospital de alta complejidad en Bogotá, Colombia, entre 2017 y 2023. Metodología: Estudio observacional descriptivo que incluyó pacientes que consultaron al servicio de neurología para la realización de PEM. Los datos se recopilaron retrospectivamente de las historias clínicas e incluyeron variables demográficas y clínicas relacionadas con los resultados de los PEM.

### *Resultados:*

Se incluyeron 70 pacientes (proporción similar de hombres y mujeres) con una media de edad de 56 años. De ellos, el 40% mostró hallazgos anormales en los PEM. Los PEM facilitaron decisiones clínicas en el 50% de los casos, como el egreso o la remisión del paciente. En el 25.7% de los casos, los resultados llevaron a ajustes en el tratamiento farmacológico. Además, el 75,72% de los pacientes requirió evaluaciones complementarias: el 56,6% estudios electrodiagnósticos y el 58,4% estudios imagenológicos.

### *Conclusiones:*

Los PEM son una herramienta valiosa para evaluar objetivamente la función de la vía motora piramidal. Su aplicación debe ser estratégica y guiada por la sospecha clínica para confirmar o descartar diagnósticos específicos.

## **Abstract**

### *Introduction:*

Motor Evoked Potentials (MEP) are a fundamental diagnostic tool in neurology to evaluate muscle responses triggered by the stimulation of the cerebral motor cortex. They are especially useful for detecting lesions in the pyramidal tract and for diagnosing diseases such as Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS). Given their clinical significance, it is essential to conduct local studies exploring their applications.

### *Objective:*

To describe the electrophysiological characteristics of patients who underwent MEP testing at a high-complexity hospital in Bogotá, Colombia, between 2017 and 2023.

### *Methodology:*

This descriptive observational study included patients who consulted the neurology department for MEP testing. Data were collected retrospectively from medical records and included demographic and clinical variables related to MEP results.

### *Results:*

The study included 70 patients (with a similar proportion of men and women) with an average age of 56 years. Of these, 40% showed abnormal MEP findings. MEPs facilitated clinical decision-making in 50% of cases, such as discharge or referral of the patient. In 25.7% of cases, the results led to adjustments in pharmacological treatment. Additionally, 75,72% of patients required further evaluations, including 56,6% for electrodiagnostic studies and 58,4% for imaging studies.

### *Conclusions:*

MEPs are a valuable tool for objectively assessing the function of the pyramidal motor pathway. Their application should be strategic and guided by clinical suspicion to confirm or rule out specific diagnoses.

## 1. Introducción

### *1.2 Planteamiento del problema*

Los potenciales evocados son manifestaciones de actividad eléctrica en el sistema nervioso que se generan en respuesta a estímulos externos, como la estimulación de un nervio periférico o sus receptores (1). Dentro de esta categoría, los potenciales evocados motores (PEM) se refieren específicamente a las respuestas musculares que se generan cuando se estimula la corteza motora cerebral con impulsos magnéticos o eléctricos. Su principal objetivo es detectar de manera objetiva lesiones en la vía piramidal en cualquier punto de su recorrido (1,2).

Estos PEM tienen una amplia gama de aplicaciones en el ámbito clínico. Debido a su capacidad para evaluar las lesiones de la vía motora, se han convertido en una herramienta invaluable en el monitoreo de procedimientos neuroquirúrgicos, como cirugías craneales en áreas elocuentes, cirugía de médula espinal y cirugías de columna vertebral específicas (3). En neurología, desempeñan un papel fundamental en el diagnóstico, siendo de utilidad en patologías diversas como la esclerosis múltiple (EM), enfermedad de la neurona motora, mielopatías y trastornos del movimiento como el Parkinson, entre otros (4).

El grupo del Dr. Barraza publicó en 1992 uno de los pocos estudios en Colombia sobre PEM. Este trabajo introduce un estimulador eléctrico de diseño y fabricación local para registrar PEM en 42 sujetos normales, validando su confiabilidad y utilidad en el diagnóstico de disfunciones motoras. La investigación destacó la relevancia de los PEM como método objetivo y reproducible para evaluar las vías motoras, tanto centrales como periféricas (5).

### *1.3 Justificación*

Dado que los PEM son una herramienta diagnóstica accesible que puede contribuir de manera significativa a la orientación y confirmación de diagnósticos neurológicos, resulta fundamental evaluarlos en nuestro medio. Por ello, este proyecto de investigación tiene como objetivo realizar una descripción electrofisiológica en pacientes a quienes se les realizaron PEM en un hospital de alta complejidad en Bogotá, Colombia, entre los años 2017 y 2023

## 2. Marco Teórico

### Marco conceptual

Los potenciales evocados corresponden a la actividad eléctrica correspondiente al cambio del potencial eléctrico en el sistema nervioso, que se genera como respuesta a un estímulo externo producido por la estimulación de un nervio periférico o de sus receptores (1). Se denomina potenciales evocados motores (PEM) a la respuesta muscular generada por la activación de un cierto número de unidades motoras, como respuesta a la estimulación magnética o eléctrica de la corteza motora cerebral y su finalidad consiste en detectar objetivamente lesiones de la vía piramidal en cualquier punto de su trayecto (1,2).

La historia de los PEM data desde 1831 cuando Faraday establece las propiedades de la electricidad para formar un campo magnético. En 1870 Frish y Hitzig estimularon la corteza de perros en diferentes regiones cerebrales y en 1875 David Ferrier Neuropatólogo y psicólogo inglés, estimuló centros pre y pos rolándicos con corriente entre 30 y 50 Hz, logrando resultados similares en animales. A finales de 1928, Wilder Penfield con sus investigaciones descubrió lo que se le conoce como el homúnculo cortical o de Penfield. En 1980, Merton y Morton implementan el primer método eficaz de estimulación eléctrica transcraneal en el que estimularon la corteza visual sobre el cuero cabelludo, a través de una corriente eléctrica de alto voltaje, produciendo fosfenos; además estimularon de esta misma forma la corteza motora, actuando directamente sobre el axón de las neuronas piramidales de la capa V a su salida del soma y a la altura del primer internodo. Generando así un potencial de acción que viaja por la vía piramidal, se decusa e nivel de las pirámides en el bulbo y finalmente, produce contracción de los músculos contralaterales (1,3).

En 1985 Barker introdujo la técnica de la estimulación magnética transcraneal (EMT), el cual a diferencia de la estimulación eléctrica era menos dolorosa para los pacientes, utilizando un condensador y una bobina (1).

Históricamente han existido dos tipos de PEM:

- Estimulación eléctrica transcraneal (Merton and Morton en 1980): Presenta gran atenuación por el cráneo y el cuero cabelludo, por lo que requiere un campo eléctrico paralelo y perpendicular a la superficie de la corteza para así lograr mayor profundización y estimulación más difusa. Una de sus desventajas es que se caracteriza por activar receptores dolorosos en la piel y por lo tanto es molesto para el paciente y ya no se utiliza rutinariamente (2).

En la actualidad, es útil en la monitorización quirúrgica de procedimientos que puedan comprometer la vía motora, como cirugías craneales en áreas elocuentes motoras, cirugía de medula espinal o en algunos tipos de cirugía de columna vertebral. En esta última uno de los riesgos más importantes es la isquemia espinal, la cual puede evidenciarse por pérdida de los PEM durante el procedimiento quirúrgico, dando un margen importante de actuación para evitarla (3).

- Estimulación magnética transcraneal (Barker et al. en 1985): A diferencia de la estimulación eléctrica, ésta es indolora y por lo tanto mejor tolerada por los pacientes. Además, no presenta atenuación por el cráneo ni el cuero cabelludo, generando una corriente donde la tensión eléctrica inducida en un circuito eléctrico es proporcional a la variación del flujo magnético que lo atraviesa (Ley de Faraday). Requiere un campo eléctrico paralelo a la superficie de la corteza, con menos profundización del estímulo (15 mm). Es más variable en función de la orientación de la bobina y logra una estimulación más focal (2).

#### Aspectos técnicos

El estimulador magnético transcraneal, consiste en un conjunto de condensadores que se descargan utilizando una bobina sobre la cabeza, generando así un campo magnético perpendicular a esta, que alcanza 1 a 2 teslas en aproximadamente 50  $\mu$ s y cae a 0 en los siguientes 50  $\mu$ s. De esta forma estimula la corteza cerebral, donde se induce una corriente eléctrica perpendicular al campo magnético previamente generado. Se pueden utilizar estimuladores de pulsos únicos, pulsos dobles y estimuladores repetitivos (3,4,6).

Existen diferentes tipos de bobinas:

- Circulares o en anillo: Es la bobina más efectiva para la estimulación de la corteza motora, son redondas, grandes con un diámetro estándar de 90 mm. Utiliza una corriente que, al fluir a favor de las manecillas del reloj, excita preferentemente el hemisferio izquierdo; al fluir en contra de las mismas, activa principalmente el hemisferio derecho. De esta forma producen una activación extensa (no focal) (3,6).
- En forma de "8": Se compone de 2 bobinas con sus respectivos campos magnéticos que se encuentran en el punto medio, correspondiente al punto con mayor cantidad de energía y, por lo tanto, ubicado sobre el área motora. El estímulo puede ser relativamente focal y se utiliza para el estudio de mapas corticales de la representación muscular (3,6).
- Doble cono: Se compone también de 2 bobinas que forman un ángulo de 90° entre ellas logrando así, un campo magnético que activa zonas más profundas. Se utiliza para el estudio de la vía motora a las extremidades inferiores (6).

### Aspectos metodológicos

La estimulación magnética de la corteza motora produce una conducción a través de axones corticoespinales de propagación rápida, medido a través de los potenciales evocados motores, que a su vez corresponden a la contracción muscular medida por electromiografía (EMG) en el hemicuerpo contralateral a la estimulación (3).

Las ondas que contribuyen a la respuesta de la EMG son:

- Ondas Directas (Onda D): Es la primera onda y tiene menor latencia (ver más adelante), correspondiendo a la activación directa de los axones de las neuronas motoras corticales (3).
- Ondas indirectas (Onda I): Corresponde a la estimulación de las interneuronas corticoespinales y por lo tanto tienen mayor latencia, apareciendo después de la onda D, con un intervalo de 1,5ms a 2ms durante 10 ms . Según su orden de aparición se enumeran: I1, I2, I3 y I4 (3).

### Conceptos y medidas

Una vez se realiza la estimulación y se recibe la señal en los músculos correspondientes, deben realizarse diferentes medidas que llevarán a la adecuada interpretación de los resultados y a la óptima utilización de esta herramienta clínica.

Los conceptos a tener en cuenta son los siguientes:

- Amplitud del PEM: Describe la cantidad de neuronas motoras espinales que se despolarizan con la estimulación magnética transcraneal y es directamente proporcional a esta: a mayor intensidad de estimulación la amplitud también aumenta (1,3).
- Latencia del PEM: corresponde al tiempo de conducción desde el estímulo en la corteza motora hasta el músculo correspondiente. Tiene un componente periférico y otro central (1).
- Tiempo de conducción periférica (TCP): Corresponde al viaje del impulso generado desde las neuronas motoras alfa de la medula espinal, a través de las raíces y nervios correspondientes hasta el músculo. Este tiempo puede calcularse por estimulación directa de las raíces en la columna cervical o posterior a la estimulación del nervio periférico y el cálculo de la onda F  $((F+M-1)/2)$  (1).
- Tiempo de conducción central o tiempo de conducción de la vía corticoespinal (TCC), como su nombre lo indica, corresponde al tiempo de conducción desde la corteza motora hasta las neuronas motoras alfa de la medula espinal. Consiste en la diferencia del tiempo de conducción desde la corteza hasta el músculo y el tiempo de conducción motor periférico (3).
- Umbral motor (UM): Se define como la intensidad mínima con la cual se obtiene un PEM de una amplitud de al menos 100  $\mu\text{v}$  en el 50% de los estímulos, dejando evidencia la excitabilidad de las membranas neuronales, que depende de la conductividad de los canales iónicos principalmente. Este a su vez se divide en umbral activo y umbral de reposo. El primero, se mide durante la contracción muscular voluntaria y es inferior al UM en reposo. Tiene una gran variabilidad entre individuos y baja variabilidad entre 2 hemisferios de una misma persona (1,3).

Por lo anterior es poco útil para estudios de comparación de grupos, pero puede brindar información importante cuando hay alteraciones de la vía corticoespinal de un lado del cuerpo (3).

- **Período de silencio cortical (PS):** Corresponde al tiempo en que la actividad de la EMG se silencia posterior a la contracción voluntaria del músculo examinado, lo que al parecer general inhibición de las células corticoespinales y/o supresión del impulso voluntario motor. Para lograrlo, el paciente debe mantener una contracción tónica de aproximadamente 10 al 20% de la contracción máxima (3,6). Tiene un componente espinal, evidenciado al principio de este período donde se registra disminución de la onda H. Además tiene un componente supra espinal documentado por su relación directamente proporcional con la estimulación magnética transcraneal y además, evidenciado al recuperarse la onda H al finalizar dicha pausa (6).
- **Mapa Cortical:** Por medio de bobinas de estimulación focal a una intensidad controlada, se logra determinar las áreas de representación motora de los músculos en la corteza cerebral. Para esto se estimulan diferentes puntos y se determina el área de representación cortical del músculo examinado que corresponde al lugar con la mejor amplitud del PEM (6).

### Técnicas

Existen diferentes técnicas que pueden realizarse con la estimulación magnética transcraneal, de acuerdo al objetivo de su aplicación. A continuación se describen algunas de ellas (6):

- **Estimulación pareada:** utiliza 2 estimuladores magnéticos independientes que comparten la misma bobina. La intensidad de cada estímulo y el intervalo entre ellos se puede ajustar independientemente para evaluar el efecto del primer estímulo sobre el segundo: estímulo “condicionante” previo a un nuevo estímulo de prueba supra umbral. Lo característico es que el intervalo interestímulo (ISI) entre 1-5 ms produzca una inhibición en la respuesta y con un ISI entre 7-20 ms se produzca una facilitación. En esta técnica existe una gran variabilidad de la amplitud del PEM con estímulos consecutivos, en parte por fluctuación espontánea del umbral de reposo cortical,

razón por la cual se elaboró el método asistido computacionalmente de “Threshold tracking” (6,7).

- “Threshold tracking”: en este método, se busca un PEM de amplitud constante usando diferentes pares de impulsos de test condicionantes (6).
- Estimulación Bihemisférica: También utiliza 2 estimulados magnéticos, pero a diferencia de la estimulación pareada, utiliza 2 bobinas independientes. Como su nombre lo indica, se estimula el área motora de ambos hemisferios y típicamente uno de ellos es inhibitorio para el PEM contralateral (posterior a un estímulo supra umbral), esto conocido como inhibición interhemisférica (6).
- Técnica de triple estimulación (TST): Es más acertada y menos variable de la excitabilidad cortical que la determinación del umbral motor. No obstante, es una técnica que requiere estimulación eléctrica supramaximal en punto de Erb y puede ser desagradable para algunos pacientes (6).
- Estimulación magnética repetitiva (EMTr): consiste en la aplicación de un tren de impulsos de la misma intensidad y con frecuencia variable en un área determinada del cerebro. Estudios de EMTr y neuroimágenes funcionales han objetivado descenso o incremento del flujo sanguíneo cerebral y el metabolismo en el área estimulada, correspondiente con la depresión o potenciación de la excitabilidad cortical, posterior a los trenes de estimulación a bajas (<1Hz) o altas (>1Hz) frecuencias respectivamente (3,4,6).

### Aplicaciones

- Investigación:

Los PEM representan una herramienta valiosa en la neurociencia, con aplicaciones que trascienden tanto el ámbito científico como el clínico. Investigaciones pioneras, como la de Ilmoniemi et al. (8), han revelado el poder de combinar los PEM con electroencefalografía de alta resolución (HR-EEG), proporcionando una ventana única hacia la dinámica cerebral. Este enfoque no invasivo ha permitido el estudio de la actividad en áreas motoras y visuales en individuos sanos, resaltando el potencial de los PEM para desentrañar la función cerebral en distintos estados de salud y enfermedad.

Además, el trabajo de Massimini et al. (9) ha ampliado nuestra comprensión sobre la conectividad cerebral, mostrando que los PEM son fundamentales para investigar cómo se altera la red neuronal durante el sueño. En etapas donde la conciencia disminuye, se ha observado una notable reducción en la conectividad efectiva del cerebro, sugiriendo que los PEM son cruciales para desvelar los secretos del cerebro en estados de conciencia alterados.

- Herramienta diagnóstica:

- Enfermedades desmielinizantes:

En las lesiones desmielinizantes se observan alargamiento del tiempo de conducción, a diferencia de las enfermedades con pérdida axonal, donde se observa disminución de la amplitud o ausencia de respuesta.

Los PEM pueden ser una herramienta útil para la evaluación y el diagnóstico de pacientes con esclerosis múltiple (EM), sobre todo en los casos en los que su presentación clínica debute con un síndrome medular, pacientes con hallazgos de resonancia poco específicos o que presentan estadios iniciales como síndrome clínico aislado e incluso se han planteado modelos donde sus hallazgos podrían servir como predictor de conversión a esclerosis múltiple (6,10,11).

Los parámetros anormales que pueden observarse en estos casos son: ausencia de respuesta, aumento de latencia del PEM cortical, característicamente con aumento del TCC motor y disminución de la amplitud comparando ambos lados (6).

A pesar de brindar información útil sobre la integridad de la vía motora, hasta el momento los únicos potenciales evocados recomendados para el diagnóstico de EM son los visuales (6).

- Enfermedad de la neurona Motora:

La esclerosis lateral amiotrófica (ELA) es una patología compleja, con una presentación clínica muy variada. Su diagnóstico se basa en la clínica y por lo tanto suele realizarse cuando

los signos son evidentes, con un retraso aproximado de 12 meses desde el inicio de los síntomas (12,13).

Si bien el diagnóstico sigue siendo clínico, el estudio electrodiagnóstico (electromiografía y neuroconducción) ha sido una herramienta de apoyo bastante útil para objetivar signos de neurona motora superior.

Para la detección de signos de compromiso de neurona motora superior previo a su manifestación clínica, se ha estudiado la sensibilidad y la especificidad de la técnica de “threshold tracking” de los PEM, basándose en la teoría de que los pacientes con ELA en estados tempranos presentan una hiperexcitabilidad cortical y en estados tardíos una hipoexcitabilidad, lo que permitiría diferenciarlo de otros cuadros neuromusculares que simulan ELA (13).

En estudios recientes se ha llegado a la conclusión que la presencia de alteraciones en los PEM en una enfermedad de neurona motora inferior generalizada (dos o más regiones del cuerpo) podría ser suficiente para el diagnóstico de ELA, incluso en ausencia de evidencia clínica de signos de neurona motora superior. Lo anterior asegurando un diagnóstico temprano en aproximadamente 70% de esos casos (12).

- Parkinsonismo:

Estudios utilizando la técnica de triple estimulación han buscado encontrar en los PEM una herramienta más sensible, eficaz y sencilla que les permita diferenciar un parkinsonismo vascular de una enfermedad de Parkinson, mediante la evaluación de la afectación de la motoneurona superior.

En un estudio realizado en el 2014 se evidenció disminución significativa de la tasa de la amplitud en pacientes con parkinsonismo vascular, lo cual además se correlacionó directamente con el UPDRS III (United Parkinson’s Disease Rating Scale-III,) que refleja la funcionalidad motora. Representaría no solo una ayuda diagnóstica, sino también una herramienta de seguimiento, útil para evaluar la progresión de la enfermedad (14).

-Mielopatía:

La coexistencia de mielopatía y radiculopatía se correlaciona con el aumento del tiempo de conducción central TCC y aumento de la latencia posterior a estimulación cervical, con una sensibilidad del 100% y especificidad del 85%. Esta patología además es diagnóstico diferencial de la ELA (2).

- Uso Terapéutico

Varios estudios han demostrado que los PEM no solo son útiles para el diagnóstico, sino también como una posible herramienta terapéutica para mejorar la actividad cerebral en distintas condiciones neurológicas.

Tokimura et al. (15), en un estudio realizado con voluntarios sanos y pacientes con dolor crónico, respaldaron el uso de PEM para influir en la actividad cerebral. Encontraron que la estimulación sensorial, como la del nervio mediano y la digital, puede modificar la actividad motora, un hallazgo importante para el control de reflejos musculares que sugiere que los PEM podrían ser útiles en el tratamiento de problemas motores y de dolor.

Por su parte, Stefan et al. (16) demostraron que la estimulación repetitiva y emparejada puede inducir cambios duraderos en la actividad de la corteza motora, lo que ofrece un gran potencial para la rehabilitación, aprovechando la plasticidad cerebral para favorecer la recuperación en personas con trastornos neurológicos.

Finalmente, la revisión de D'Onofrio et al. (17) destacó la creciente evidencia sobre la combinación de PEM con estimulación cerebral profunda (DBS) para modificar la actividad cerebral y su capacidad de adaptación. Aunque se requieren más estudios para comprender completamente la interacción entre estas dos técnicas, su potencial en el tratamiento de trastornos del movimiento es prometedor.

- Uso en Neurocirugía.

Junto con la resonancia magnética funcional, la estimulación magnética transcraneal es una herramienta que se ha utilizado para identificar el hemisferio dominante y las áreas elocuentes (lenguaje o áreas motoras) previas a una intervención quirúrgica. Se propone también su utilización durante dichos procedimientos como complemento a los potenciales somato sensoriales para monitorizar la integridad de la vía motora central, sobre todo en cirugías del tallo cerebral, médula espinal o cirugías con anestesia espinal (dado que los anestésicos inhalados pueden falsear sus resultados) (3).

En cirugía de parkinson, la utilización de los PEM es una opción efectiva en pacientes conscientes durante la estimulación cerebral profunda en el núcleo subtalámico. En particular, los PEM de las extremidades superiores demuestran ser más precisos en comparación con la macroestimulación al predecir el umbral motor, lo que ayuda a evitar interpretaciones erróneas (18). Los PEM intraoperatorios ofrecen una guía adicional en la cirugía de estimulación cerebral profunda (DBS) en pacientes bajo anestesia, donde las grabaciones de microelectrodos y la estimulación de prueba pueden ser menos efectivas (19).

### Seguridad

En general es un estudio muy seguro, con efectos adversos poco comunes, dentro de los cuales se ha reportado (1,3):

- Crisis focales aisladas, que aumentan su incidencia cuando se realiza EMTr a altas frecuencias, por lo que esta modalidad requiere recomendaciones y una guía de aplicación específica. Además, son más frecuentes en personas con antecedente personal o familiar de epilepsia y/o que esté tomando concomitantemente algún fármaco que disminuya el umbral convulsivo.
- Pérdida auditiva, por lo que se recomienda el uso de tapones auditivos sobre todo en niños pequeños, ya que los artefactos acústicos de la bobina del estimulador magnético pueden producir dicho síntoma.
- Cefaleas transitorias agudas de intensidad leve

- Quemaduras en el cuero cabelludo, por lo que se recomienda la utilización de sistemas de refrigeración sobre todo en EMTr.

Contraindicaciones absolutas (1):

- Pacientes con implantes cocleares, estimulados profundos y otros dispositivos electrónicos intracraneales.
- Pacientes con dispositivos o materiales ferromagnéticos.
- Portadores de marcapasos o dispositivos conductores intracardiacos.
- Paciente con antecedente de traumatismos craneales, neurocirugías o ACV reciente.
- Embarazadas, por la ausencia de estudios suficientes en esta población.

### **3. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las características electrofisiológicas de los pacientes a quienes se les realizó la prueba de potenciales evocados motores en un hospital de alta complejidad en Bogotá, Colombia, entre 2017 y 2023?

### **4. Objetivos**

#### *4.1 Objetivo general*

Describir las características electrofisiológicas de los pacientes a quienes se les realizó la prueba de potenciales evocados motores en un hospital de alta complejidad en Bogotá, Colombia, entre 2017 y 2023.

#### *4.2 Objetivos específicos*

1. Describir las características clínicas neurológicas de base de la población de estudio.
2. Describir los resultados obtenidos de los PEM en función de las patologías neurológicas presentadas por la población.

### **5. Formulación de hipótesis**

Dado el carácter netamente descriptivo del presente estudio, no se formula hipótesis de investigación.

## 6. Metodología

### 6.1 Tipo y diseño de estudio

Estudio observacional descriptivo de pacientes adultos a quienes se les realizó la medición de potenciales evocados motores (PEM) en un hospital de alto nivel de complejidad en Bogotá, Colombia, entre 2017 y 2023.

### 6.2 Población y muestra

Pacientes mayores de 18 años atendidos entre 2017 y 2023 a quienes se les realizó la medición de los PEM, por el servicio de neurofisiología del Hospital Universitario Mayor Méderi.

### 6.3 Criterios de inclusión y exclusión

#### 6.3.1 Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 18 años
- Atendidos por el servicio de Neurofisiología (de forma intrahospitalaria y/o ambulatoria) con medición de PEM entre enero de 2017 y noviembre de 2023.

#### 6.3.2 Criterios de exclusión:

- Pacientes sin el reporte derivado de la medición de los PEM realizada.

### 6.4 Tamaño de muestra

Para este estudio no se estimó un tamaño de muestra mínimo. A partir de lo observado en el servicio de neurofisiología, se calculó describir entre 60 a 70 pacientes atendidos en la institución entre 2017 y 2023.

### 6.5 Muestreo

Para este estudio no se utilizaron técnicas de muestreo en vista del carácter descriptivo y se intentó incluir toda la población que cumpliera los criterios de selección definidos.

## 6.6 Definición y operacionalización de variables

### 6.6.1 Definiciones:

Se definieron tanto variables clínicas como sociodemográficas, seleccionadas a partir de una revisión exhaustiva de la literatura científica. Dado que este es un estudio retrospectivo, los datos se obtendrán exclusivamente de las historias clínicas, sin interacción directa con los pacientes. La definición y medición detallada de cada variable se presentan en la tabla 1.

### 6.6.2 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Grupo	Variable	Definición	Naturaleza	Escala	Unidades o Categorías
Características demográficas	Sexo	Condición biológica	Cualitativa	Nominal	- Masculino - Femenino - Sin dato
	Edad	Edad en años cumplidos al momento de la realización de los PEM	Cuantitativa	Discreta	Número entero de años
Características Clínicas	Dx presuntivo	Diagnóstico con el que es remitido al estudio	Cualitativa	Nominal	- Neuropatía/ Polineuropatía/ Neuroradiculopatía - Enf. Desmielinizante - Enf. Neurona motora - Sd. medular - Sd. extrapiramidal/ Movimientos anormales - Sd. sensitivo/ Sd. doloroso

					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sd. debilidad / motor piramidal</li> <li>- Sd. Alteración de la marcha</li> <li>- Otro</li> </ul>
	Dx definitivo	Diagnóstico posterior a la realización del estudio	Cualitativa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neuropatía/ Polineuropatía/ Neuroradiculopatía</li> <li>- Enf. Desmielinizante</li> <li>- Enf. Neurona motora</li> <li>- Mielopatía /Mielitis</li> <li>- Sd. extrapiramidal/ Movimientos anormales</li> <li>- Sd. sensitivo/ Sd. doloroso</li> <li>- Sd. funcional</li> <li>- Otros dx no neurológicos (ej delirium, AR, polimialgia reumatica, Fractura)</li> <li>- ACV</li> <li>- DX no claro /sin dx</li> <li>- Otros dx neurológicos (ej miopatía, ataxia cerebelosa, parálisis de todd...)</li> </ul>
	Relación entre diagnósticos	Relación entre diagnósticos previos y posteriores al estudio	Cualitativa	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mismo diagnóstico (Dx)</li> <li>- Dx relacionado</li> <li>- DX diferente</li> </ul>

	Decisión clínica Neurológica	Conducta tomada después del estudio	Cualitativa	Nominal	- Egreso/Remisión - Intervención farmacológica - Intervención quirúrgica - Terapia de rehabilitación
	Requerimiento de estudios adicionales	Estudios complementarios realizados en el servicio	Cualitativa	Nominal	- No - Si
	Tipo de estudios adicionales	Tipo de estudio complementario se realizó	Cualitativa	Nominal	- Otro Electrodiagnóstico - Tractografía - Otro Imagenológico - Otro
Características electro-fisiológicas	Hallazgo principal	Conclusión general del estudio	Cualitativa	Nominal	- Normal - Anormal
	Latencia corteza (miembros superiores y miembros inferiores)	Tiempo que tarda en viajar el estímulo- Milisegundos	Cuantitativa	Continua	Tiempo en ms
	Amplitud corteza (miembros superiores y miembros inferiores)	Magnitud o altura de la respuesta eléctrica registrada- Microvoltios	Cuantitativa	Continua	Magnitud en microvoltios
	Latencia periférico (miembros superiores y	Tiempo que tarda en viajar el estímulo- Milisegundos	Cuantitativa	Continua	Tiempo en ms

	miembros inferiores)				
	Amplitud periférico (miembros superiores y miembros inferiores)	Magnitud o altura de la respuesta eléctrica registrada- Microvoltios	Cuantitativa	Continua	Magnitud en microvoltios
	Tiempos de conducción central	Tiempo de conducción desde la corteza motora hasta la médula espinal	Cuantitativa	Continua	Tiempo en ms
	Umbral Motor	Nivel mínimo de estimulación eléctrica necesario para generar una respuesta detectable en un nervio o músculo específico	Cuantitativa	Continua	%
	Silencio cortical	Supresión de la actividad eléctrica en la corteza motora del cerebro que ocurre después de la estimulación de un nervio periférico	Cuantitativa	Continua	Tiempo en ms

### 6.7 Técnicas, procedimientos e instrumentos de la recolección de datos

Se define como instrumento de recolección plataforma institucional REDCap institucional, estructurada a partir de la tabla de variables presentadas en la Tabla 1.

Se definió el siguiente proceso de recolección para la información:

- Identificación de pacientes a partir de los listados administrativos del servicio de electrofisiología.
- Verificación de criterios de selección definidos para este estudio para la identificación de la población final.
- Revisión de historias clínicas de la población para la recolección de variables que no se hayan descrito en los reportes del servicio de electrofisiología.
- Sistematización de la información obtenida en REDCap.

#### 6.8 Plan de procesamiento de muestras biológicas

No aplica para el presente estudio

#### 6.9 Plan análisis de datos

Se empleó el programa Stata versión 17 para el análisis descriptivo.

Tabla 2. Plan análisis de datos

Objetivo específico	VARIABLES	Presentación de resultados	Medidas
Describir las características clínicas neurológicas de base de la población de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sexo y Edad</li> <li>• Diagnóstico presuntivo, conductas y diagnóstico posterior a los PEM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tabla con descripción de las variables.</li> </ul>	Frecuencias absolutas y relativas
Describir los resultados obtenidos de los PEM en función de las	- Variables PEM (Ver tabla 2)	Tabla con descripción de las variables por condición neurológica	Medidas de tendencia central y dispersión apropiadas en

patologías neurológicas presentadas por la población.			función de la distribución.
--	--	--	--------------------------------

#### 6.4 Control de sesgos:

Basados en la metodología planteada, se identifican las siguientes fuentes de sesgo:

- a. Sesgos de selección: al ser una institución de alta complejidad, la población atendida en el servicio de electrofisiología puede diferir de la general. Se definieron criterios específicos para la selección y se aclara que no se pretende llevar a cabo inferencias en población general.
- b. Sesgos de información: este estudio se basa en una recolección retrospectiva de información, potencial fuente de sesgos. Como estrategias de minimización del sesgo, se define el diseño del instrumento de recolección y la definición clara de las variables a recolectar.
- c. Sesgo de medición: Se produce por deficiencias en los instrumentos utilizados y en su modo de aplicación o registro, que puede generar sub o sobreestimación de las mediciones de interés. Para la investigación se partirá de mediciones estandarizadas de los PEM realizados por neurólogos del servicio de electrofisiología, realizadas bajo protocolos predefinidos.
- d. Sesgo de confusión: Dada la naturaleza del estudio, este no puede ser controlado ni mitigado. Se presenta como limitante en la discusión de resultados y conclusiones.

#### 6.10 Alcances y límites de la investigación

El presente estudio tiene como objetivo identificar y describir las características de una población específica, evaluando los hallazgos en los potenciales evocados motores (PEM) y su correlación clínica. Esperamos que estos resultados sirvan como fundamento para investigaciones futuras más complejas, permitiendo profundizar en aspectos específicos que no abordaremos en este análisis inicial.

Sin embargo, reconocemos también que nuestro estudio al ser descriptivo, se limita a la observación de datos, sin inferir causalidad. Además, no profundizaremos en factores subyacentes o mecanismos que expliquen los fenómenos observados, lo cual restringe nuestra interpretación a una descripción general de los resultados, sin ofrecer una explicación detallada de sus posibles causas.

## 7. Aspectos éticos

### 7.1 Equipo de investigación

Natalia Gómez Salazar MD

[natalia.gomezsa@urosario.edu.co](mailto:natalia.gomezsa@urosario.edu.co)

ORCID ([0000-0002-0369-1818](https://orcid.org/0000-0002-0369-1818))

Residente de Neurología, Universidad del Rosario- Hospital MEDERI, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, Fundación CardioInfantil, Bogotá, Cundinamarca, Colombia,

Autor principal

Luisa Fernanda Murcia

ORCID ([0000-0003-2998-8561](https://orcid.org/0000-0003-2998-8561))

Hospital Universitario Mayor Méderi, Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Asesora Metodológica

Laura Liseth Oviedo Naranjo

ORCID ([0000-0001-9120-6589](https://orcid.org/0000-0001-9120-6589))

Enfermera, Neurofisiología y sueño, Hospital Universitario Mayor Méderi, Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Jesús Hernán Rodríguez MD

ORCID ([0000-0001-8100-7340](https://orcid.org/0000-0001-8100-7340))

Neurólogo. Neurofisiólogo Hospital Universitario Mayor Méderi, Bogotá, Cundinamarca, Colombia, , Fundación Cardioinfantil, Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Asesor Temático

### 7.2 Categoría de la investigación

Según resolución No 008430 de 1993 del Ministerio de Salud y protección Social Normas Científicas, Técnicas y Administrativas para efectuar investigación en seres humanos en Colombia) la investigación se clasifica sin riesgo teniendo en cuenta que se realiza una

investigación retrospectiva y no se realizará ningún tipo de intervención o modificación en los individuos que participen en el estudio.

### *7.3 Población sujeta de investigación*

Este estudio descriptivo se llevó a cabo sin poblaciones vulnerables, ya que se obtuvieron los datos de forma retrospectiva a partir de las historias clínicas, sin realizar ninguna intervención. Se recopiló una muestra de 70 pacientes, seleccionados sin un límite predefinido, cuyas historias clínicas fueron revisadas en las instalaciones del Hospital Universitario Mayor Méderi

### *7.4 Proceso de obtención de consentimiento informado*

Dado el carácter retrospectivo y el nivel de riesgo del estudio, no se contempla la obtención de un documento de consentimiento informado específico para esta investigación. Por lo anterior, se solicitó al Comité de Ética la autorización para llevar a cabo la revisión de los registros clínicos de los pacientes identificados para su inclusión en el estudio; esto bajo el compromiso de cumplir los lineamientos institucionales y normativos de integridad científica, manejo y confidencialidad de la información, en el marco de una investigación de relevancia clínica.

### *7.5 Uso de datos personales*

#### *Gestión de datos de investigación*

- Tipo de Datos de investigación: a partir de la ejecución del protocolo se generó una base de datos en formato xlsx con el diccionario de variables correspondiente, estructurada en REDCap. Esta base no contendrá información de identificación de los pacientes, se usarán códigos con serial consecutivo (PEM00X) para anonimizar la información.
- Etapas de procesamiento: A partir de los datos de texto “datos brutos”, se usó STATA versión 17, para llevar a cabo el plan de análisis descriptivo, creando el set de “datos procesados”. Posteriormente se definirá una “base final” correspondiente a la utilizada para la estructuración de la presentación de resultados a nivel institucional y la potencial publicación científica. En función de los lineamientos del CIMED, se

ha realizado la entrega de cada base en los tiempos definidos en cronograma o a solicitud institucional.

- **Recolección y almacenamiento:** La recolección se llevó a cabo según lo definido en de Procedimientos de recolección y sistematización de la información. El acceso a esta es limitado a través de clave de seguridad de conocimiento exclusivo del grupo de investigación. La base de datos final codificada se mantendrá durante un tiempo de 5 años justificados en la construcción del documento académico definido y procesos de auditoría o verificación siguiendo los lineamientos de seguridad y acceso definidos por la institución.
- **Uso posterior de información:** En el caso de requerir un análisis posterior con la base de datos consolidada, se elaborará un nuevo protocolo de investigación que será sometido según lineamientos definidos por el CIMED el cual involucra la evaluación del comité técnico de investigaciones y el comité de ética de investigación de la Universidad del Rosario antes de iniciar cualquier proceso de investigación.
- **Custodia final:** Las bases de datos serán remitidas e identificadas al proceso de investigaciones de Méderi –CIMED, para su custodia y almacenamiento según los lineamientos institucionales y normativos.

### *7.6 Riesgos y Beneficios*

Se considera como riesgo, la fuga de la información. Este se minimizará haciendo uso de la plataforma de recolección institucional REDCap, con acceso restringido y manteniendo el anonimato la base de datos a través de la codificación de los pacientes (PEM00X). En caso de que, durante la revisión retrospectiva de la información se identifiquen eventos particulares de desviaciones o registros no claros de la atención, se reportaron los hallazgos a la coordinación de neurología, de manera que puedan realizar las acciones de mejora continua de la institución.

Al tratarse de una investigación retrospectiva, el paciente sujeto de estudio no tendrá un beneficio directo; sin embargo, tendrá relevancia académica y clínica para ser base de hipótesis en el marco diagnóstico basado en la medición de potenciales evocados.

Explique los potenciales riesgos que considera pueden estar relacionados con la conducción del estudio, que pudieran afectar a los sujetos de investigación o al equipo de investigadores. Indicar cómo se podrían mitigar esos riesgos. Explicar los posibles beneficios que tendrían los participantes por participar en el estudio.

#### 7.7 Titularidad de la información/ Consideraciones adicionales

- Informes: El equipo de investigación se comprometió a entregar de manera oportuna y adecuada informes de avance y al finalizar un informe final, según lineamientos de la institución.
- Enmienda: No se llevaron a cabo modificaciones al protocolo del estudio por parte del equipo de investigación sin la aprobación previa. En caso de que se hubiese requerido, se realizaría únicamente por medio de enmienda por escrito al protocolo, que debe ser aprobada por las autoridades que los representan en aspectos de investigación, Comités de ética y otros.
- Confidencialidad y seguimiento: El equipo de investigación se comprometió a mantener la confidencialidad durante el tiempo de ejecución del estudio y posterior a su finalización. Y para responder a procesos de monitoreo y/o verificación de calidad de la información y procesamiento de resultados, por parte de los entes que lo requieran.
- Investigación colaborativa: no se proyecta desarrollar esta iniciativa en el marco de colaboración con otras institución

#### 7.8 Criterios que se tendrá en cuenta para definir la autoría de los productos de investigación

Tabla 3. Responsabilidades de los autores

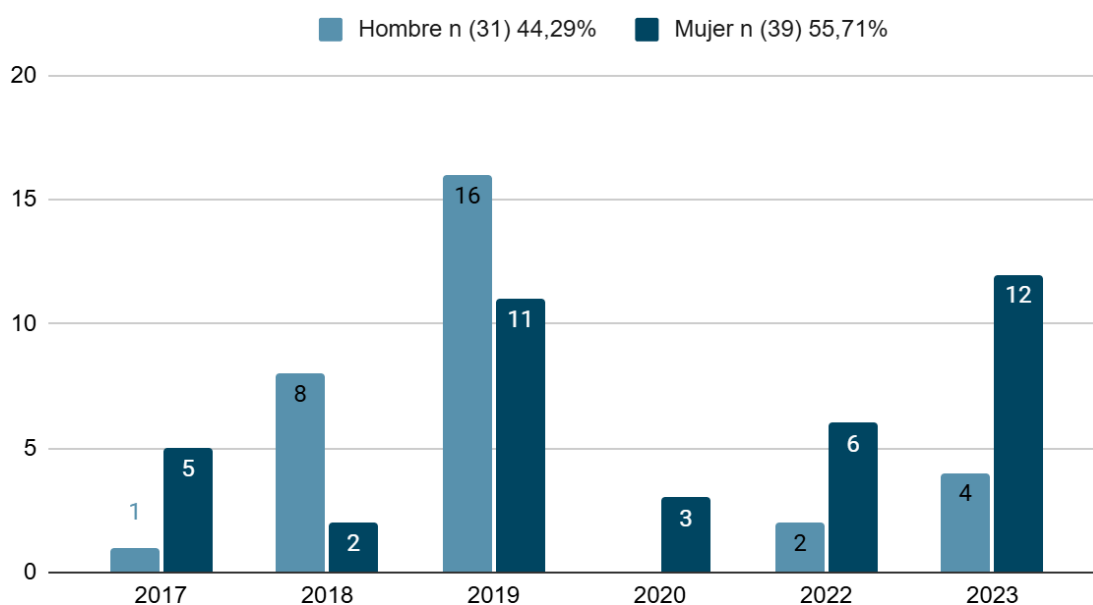
NOMBRE	PERFIL/CARGO	RESPONSABILIDADES
Natalia Gómez Salazar	Residente Neurología / Investigadora principal	Concepción de la idea, estructuración protocolo, revisión registros clínicos,
		recolección información, análisis y discusión de resultados

Jesús Hernán Rodríguez	Neurólogo / Especialista en Neurofisiología/ Jefe servicio de Neurología en La Cardio. Neurólogo y profesor titular en Hospital Universitario Mayor Méderi.	Concepción de la idea, análisis y discusión de resultados
Laura Liseth Oviedo Naranjo	Enfermera / Coinvestigador	Estructuración protocolo, revisión registros clínicos, recolección información
Luisa Fernanda Murcia	Médica epidemióloga/ Asesora metodológica	Estructuración protocolo, análisis y discusión de resultados

## 8. Resultados

Durante los años 2017 al 2023, se atendieron 78 pacientes para la realización de potenciales evocados motores en el servicio de Neurofisiología del Hospital Universitario Mayor Méderi, por atención intrahospitalaria o ambulatoria. Posterior a la aplicación de criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron 70 pacientes. La muestra tuvo una proporción similar de hombres y mujeres (ver **Figura 1**), con una media de edad de 56 años.

**Figura 1:** Población estudio por año de recolección



De los 70 pacientes evaluados, 28 (40%) presentaron hallazgos anormales en los PEM (**Tabla 4**). Respecto a la utilidad en la toma de decisiones clínicas, en el 50% de los casos los PEM facilitaron la determinación del egreso o la remisión de los pacientes, aunque en el 22.86% de los casos no se registraron los resultados en la historia clínica. Tras la realización de los PEM, se ajustaron las intervenciones farmacológicas en el 25,7% de los casos. En un caso particular, un paciente con síndrome sensitivo y hernia discal, la detección de una polineuroradiculopatía en los PEM fue útil para optar por una intervención quirúrgica.(ver **Tabla 5**).

**Tabla 4:** Mediciones de las variables de los PEM en pacientes con hallazgos normales Vs hallazgos anormales

Variables	PEM normal			PEM anormal			Total
	n	X	DE	n	X	DE	
CORTEZA LATENCIA (ms) ABP der	39	19,87	2,28	25	23,56	3,75	64
CORTEZA LATENCIA (ms) ABP izq	39	19,39	2,32	26	24,14	4,36	65
CORTEZA AMPLITUD (mV) ABP der	40	1,58	2,88	24	0,90	0,81	64
CORTEZA AMPLITUD (mV) ABP izq	40	1,71	3,19	25	1,02	1,17	65
PERIFERICO LATENCIA M (ms) ABP der	36	3,30	0,70	24	3,86	0,91	60
PERIFERICO LATENCIA M (ms) ABP izq	36	3,19	0,85	24	3,99	0,83	60
PERIFERICO LATENCIA F (ms) ABP der	38	25,67	4,21	23	25,68	7,07	61
PERIFERICO LATENCIA F (ms) ABP der	38	25,70	2,55	24	25,57	6,85	62
CORTEZA LAT (ms) TA der	38	27,78	2,15	19	33,11	4,08	57
CORTEZA LAT (ms) TA Izq	38	27,94	3,10	16	33,04	4,59	54
CORTEZA AMP (mV)TA der	39	1,66	4,40	19	0,49	0,49	58
CORTEZA AMP (mV)TA izq	39	1,46	4,08	16	0,43	0,37	55
PERIFERICO LAT. M (ms) ABP der	37	3,52	0,87	20	3,88	0,94	57
PERIFERICO LAT. M (ms) ABP izq	37	3,67	1,33	18	3,93	0,87	55
PERIFERICO LAT. F (ms) ABP der	37	34,39	7,77	20	35,02	6,43	57
PERIFERICO LAT. F (ms) ABP izq	37	42,35	48,51	17	33,44	4,46	54
Est TCMC (mS) ABP der	31	5,38	1,30	18	9,22	3,52	49
Est TCMC (mS) ABP Izq	31	6,10	3,65	19	9,48	4,43	50
Est TCMC (mS) TA der	30	9,64	2,02	15	14,28	3,48	45
Est TCMC (mS) TA Izq	30	9,78	1,64	14	14,35	3,24	44

**Tabla 5:** Toma de Decisiones clínicas basadas en los resultados de los PEM

Decisión clínica		
Egreso/		
Remisión	n	%
No Reportado	16	22,86
Si	35	50,00
No	16	27,14
Total	70	100,00
Intervención Farmacológica		
	n	%
No Reportado	23	32,85
Si	18	25,72
No	29	41,43
Total	70	100,00
Intervención quirúrgica		
	n	%
No Reportado	16	22,86
Si	1	1,42
No	53	75,72
Total	70	100,00
Rehabilitación		
	n	%
No Reportado	25	35,71
Si	29	41,43
No	16	22,86
Total	70	100,00

En cuanto a estudios adicionales, el 75,72% (n=53) de los pacientes necesitaron evaluaciones complementarias; de estos, el 56,6% requirió estudios de electrodiagnóstico y el 58,4% otros estudios imagenológicos. Sólo a un paciente se le realizó tractografía y 45,3% requirieron estudios adicionales como estudio electroencefalográfico, punción lumbar entre otros (Ver **tabla 6-7** y **figura 2**).

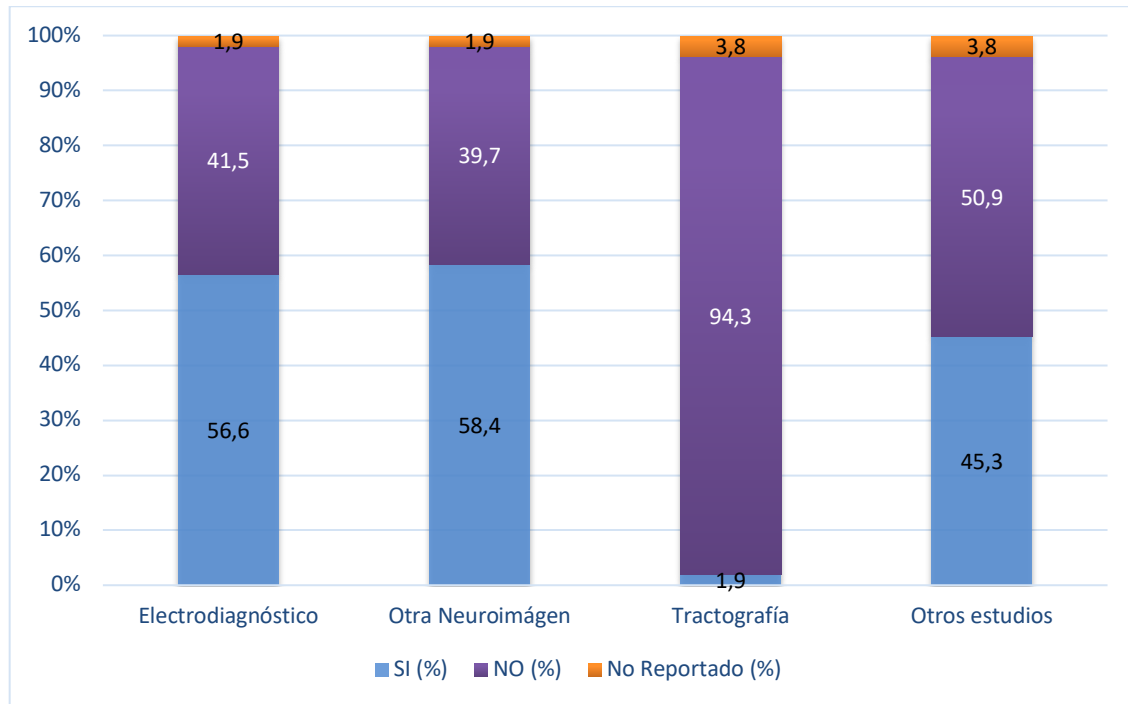
**Tabla 6:** Requerimiento de estudios adicionales basados en los resultados de los PEM

<b>Estudios Adicionales</b>		
Requerimiento de estudios adicionales	n	%
No Reportado	16	22,86
Si	<b>53</b>	<b>75,72</b>
No	1	1,43
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 7:** Estudios adicionales solicitados, basados en los resultados de los PEM

<b>Estudios Adicionales</b>		
<b>Otro Electrodiagnóstico</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
No Reportado	1	1.9
Si	30	56.6
No	22	41.5
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100.0</b>
<b>Neuro Imágenes</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
No Reportado	1	1.9
Si	31	58.4
No	21	39.7
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100.0</b>
<b>Tractografía</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
No Reportado	2	3.8
Si	1	1.9
No	50	94.3
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100.0</b>
<b>Otros estudios</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
No Reportado	2	3.8
Si	24	45.3
No	27	50.9
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>100.0</b>

**Figura 2:** Porcentaje de los estudios adicionales solicitados, basados en los resultados de los PEM



De los 70 pacientes con estudios de PEM completos evaluados, 54 reportaban en la historia clínica un diagnóstico definitivo. De estos, el 27.78% (n=15) mantuvo el diagnóstico presuntivo como diagnóstico definitivo. El 50% (n=27) presentó un diagnóstico definitivo relacionado con el diagnóstico presuntivo inicial, mientras que en el 22.2% (n=12) se estableció un diagnóstico diferente al sospechado originalmente (Ver **tabla 8**).

Por otro lado, en 16 pacientes no se obtuvo un diagnóstico definitivo debido a que continuaron su seguimiento de manera extrainstitucional, lo que impidió acceder a sus historias clínicas para verificar el diagnóstico final.

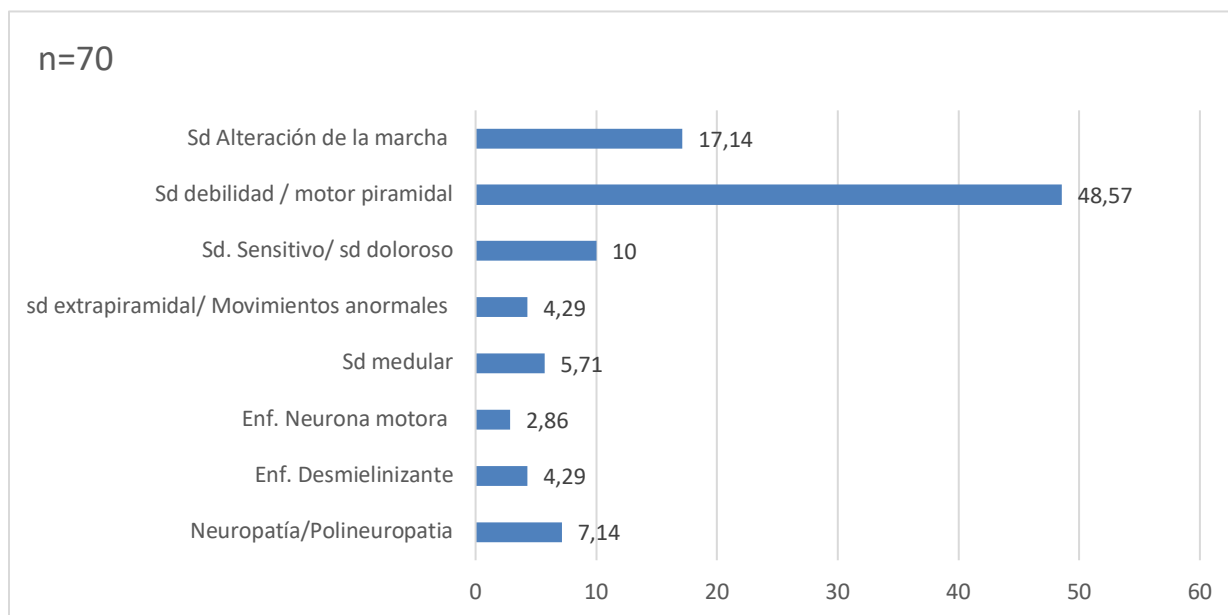
**Tabla 8:** Relación entre diagnóstico (Dx) presuntivo y definitivo

Relación de Diagnóstica	n	%
Coincidencia diagnóstica	15	27,78
Dx definitivo relacionado con dx presuntivo	27	50,00
Dx definitivo diferente al dx presuntivo	12	22,22
Total	54	100,00

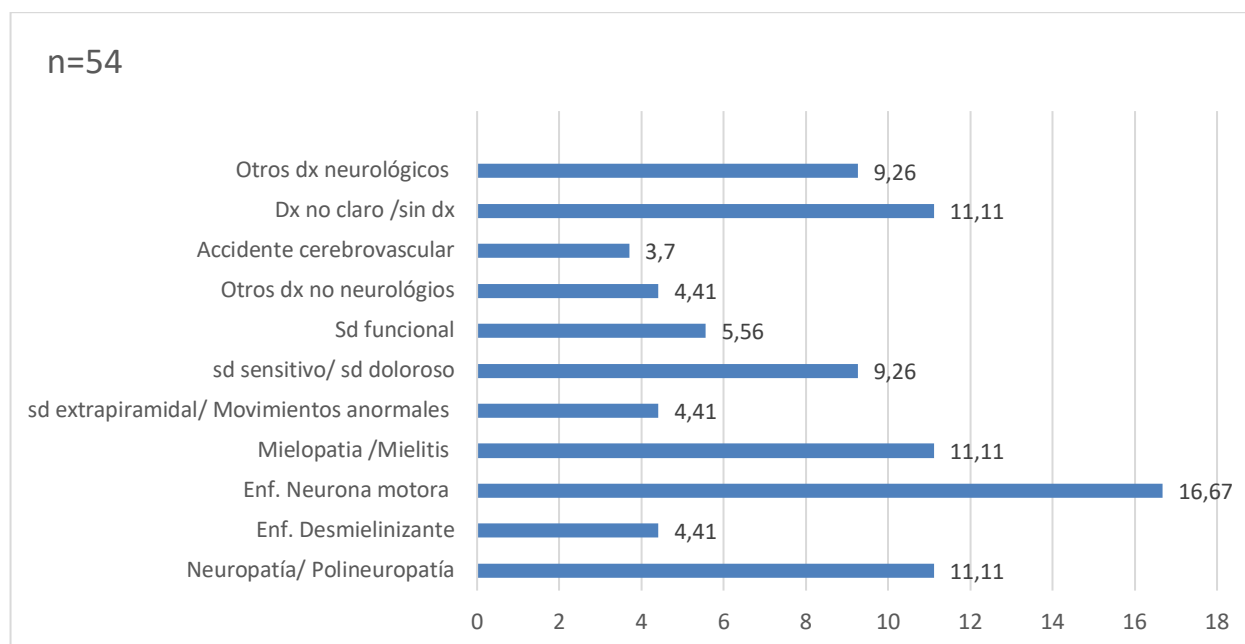
El diagnóstico presuntivo más común fue el de síndrome de debilidad o síndrome motor piramidal, representando el 48.57% de los casos, seguido del síndrome de alteración de la marcha (17.14%) y el síndrome sensitivo o doloroso (10%). En los diagnósticos definitivos, se observó una mayor prevalencia de enfermedad de la neurona motora (16%), seguida de neuropatía/polineuropatía/radiculopatía y mielopatía/mielitis, cada una con una prevalencia del 11%.

En un 9,26 % se evidenciaron síndromes sensitivos/síndrome doloroso y otros diagnósticos neurológicos incluyendo miopatías, ataxia cerebelosa, parálisis de todd entre otros. En un 7,41% se evidenciaron pacientes con enfermedad desmielinizante, siendo estos en su totalidad pacientes con Esclerosis Múltiple. En un 11% de los casos no se determinó un diagnóstico claro posterior a los estudios realizados (Ver **Figuras 3,4**).

**Figura 3: Diagnósticos presuntivos y su frecuencia representada en porcentaje**



**Figura 4: Diagnósticos definitivos y su frecuencia representada en porcentaje**



## 9. Discusión

En los 70 pacientes evaluados, los diferentes resultados de los PEMs influyeron en la toma de decisiones clínicas, ya fuera orientando estrategias terapéuticas o ajustando el enfoque diagnóstico necesario. Estos hallazgos coinciden con la literatura, que subraya la utilidad de los PEM para evaluar la vía motora piramidal con fines diagnósticos y resalta su valor en la toma de decisiones en la práctica clínica (20).

El diagnóstico presuntivo más frecuente que llevó a la realización de los PEM en nuestro estudio fue el síndrome de debilidad/síndrome motor piramidal, representando el 48,5% de los casos. En cuanto a los diagnósticos definitivos, nueve pacientes (16,6%) fueron diagnosticados con enfermedad de la neurona motora, correspondiente a Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA), con una proporción casi equilibrada entre mujeres y hombres (4 y 5 respectivamente).

Aunque el diagnóstico de ELA es clínico, las herramientas electrodiagnósticas, incluidos los PEM, son valiosas para su confirmación. Un estudio retrospectivo evaluó la combinación de reflejos tendinosos y los PEM mediante estimulación magnética transcraneal (T-PEMs) en pacientes con ELA. Este estudio demostró que el tiempo de conducción motora central tenía una alta sensibilidad (82%) y especificidad (93%), permitiendo detectar disfunción de la neurona motora superior en más del doble de los casos en comparación con el examen clínico. Además, la relación entre la respuesta T y la amplitud de respuesta PEM (T/PEM) mostró ser casi igualmente sensible para detectar ELA y mejoró la identificación de hiperreflexia anormal. Los T-PEMs también pudieron detectar asimetrías no observadas en el examen clínico (21).

En nuestro estudio, de los pacientes con diagnóstico definitivo de ELA, únicamente dos tenían este mismo diagnóstico como presuntivo, mientras que los demás presentaban otros diagnósticos iniciales, predominando el síndrome de debilidad. De estos dos casos, en uno se confirmó el diagnóstico, presentando PEM anormal, mientras que en el otro se descartó, observándose PEM normales. Estos hallazgos subrayan la importancia de establecer una adecuada correlación entre el diagnóstico presuntivo y el diagnóstico definitivo, dado que una sospecha y un diagnóstico temprano pueden ser beneficiosos tanto para los pacientes

como para sus familiares.

Un estudio previo reveló que aproximadamente el 70% de los pacientes con ELA de fenotipo de neurona motora inferior presentaron anomalías tempranas en los PEM, a pesar de ser considerados no clasificables según los criterios de Airlie House o Awaji. Además, se encontraron PEM anormales en el 80% de los pacientes con ELA espinal sin signos clínicos de neurona motora superior, quienes desarrollaron dichos signos en un año, en comparación con el 50% de los pacientes con ELA bulbar (12). Estos hallazgos sugieren que los PEM podrían ser útiles para establecer un diagnóstico temprano de ELA, como se evidenció en nuestra cohorte, donde el 100% de los pacientes con diagnóstico definitivo de ELA presentaron PEM anormales.

Recientemente, un estudio ha sugerido una relación pronóstica entre los PEM y el metabolismo cerebral medido por tomografía por emisión de positrones (PET). Los resultados indican que los patrones metabólicos en el cerebro están relacionados con el grado de daño en las neuronas motoras superiores. En particular, el hipometabolismo en las áreas motoras se asocia con alteraciones en los PEM, sugiriendo una conexión entre estos dos biomarcadores en la evaluación del daño de las neuronas motoras superiores (22). Se requieren más estudios para evaluar el impacto en ELA de los PEM en nuestro entorno.

Tras la ELA, los diagnósticos definitivos más comunes fueron neuropatía/ polineuropatía/ neuroradiculopatía y mielopatía/mielitis, cada uno representando el 11.11% de los casos reportados.

Diversos estudios comparativos han demostrado una correlación significativa entre los PEM y los hallazgos obtenidos mediante electromiografía y neuroconducción (EMG + NC) en el diagnóstico de polineuropatías axonales y desmielinizantes (23). Sin embargo, la implementación de los PEM no es una práctica común en nuestro entorno clínico para estas patologías. Esto se evidenció en nuestra cohorte, en la cual la mayoría de los pacientes (83.3%) requirió estudios electrodiagnósticos adicionales (EMG + NC) para confirmar el diagnóstico inicial. En el 16.6% restante (un paciente), el diagnóstico clínico e imagenológico fue de radiculopatía, presentando un estudio de PEM anormal y siendo derivado para manejo quirúrgico por el equipo de neurocirugía. Cabe destacar que, en este grupo de pacientes, la

utilidad de los PEM radica en su capacidad para descartar patología del sistema nervioso central, permitiendo excluir diagnósticos diferenciales.

Para la mielopatía, los PEM son una herramienta eficaz en la evaluación de la integridad funcional de los tractos corticoespinales en mielopatía cervical espondilótica crónica y lesiones de la médula espinal. En la mielopatía cervical, el tiempo de conducción motora central (CMCT) resulta clave para detectar el daño medular, incluso sin signos piramidales, y se correlaciona con resultados de imágenes y recuperación postquirúrgica. En las lesiones medulares, los PEM permiten evaluar la función residual, cambios en la excitabilidad cortical y guiar la rehabilitación (20). Como era de esperarse en nuestra cohorte, la mayoría de los pacientes (83.3%) con estos diagnósticos presentaron anomalías en los PEM y todos (100%) requirieron estudios adicionales para su confirmación.

Un 9.26% de los diagnósticos definitivos correspondió a otras patologías neurológicas, incluyendo miopatía, ataxia cerebelosa y parálisis de Todd, entre otras. Todos estos casos (100%) requirieron estudios diagnósticos complementarios.

Otro 9.26% correspondió a diagnósticos de síndrome sensitivo/doloroso. En estos casos, el 100% de los PEM resultaron normales, y el diagnóstico se obtuvo mediante otras herramientas.

Adicionalmente, cuatro pacientes (7,41%) presentaron diagnóstico definitivo de enfermedad desmielinizante, todos ellos correspondientes a Esclerosis Múltiple (EM). Coincidiendo con la literatura, observamos un predominio de mujeres en el 75% de los casos.

Entendiendo que la EM implica un proceso continuo de neurodegeneración y pérdida axonal, lo que explica la progresión y discapacidad acumulada en estos pacientes, varios autores han evidenciado la utilidad de las mediciones de los potenciales evocados para monitorear el proceso de desmielinización y apoyar la toma de decisiones clínicas, además de servir como base para estudios científicos. En Bélgica, por ejemplo, existe un conjunto de datos de PEM que incluye mediciones realizadas en 5,586 visitas de 963 pacientes a lo largo de seis años,

acumulando aproximadamente 100,000 PEM (24) . Posteriormente, estos datos fueron analizados y publicados por Yperman et al., quienes utilizaron un software especializado en series temporales. Al extraer características adicionales y aplicar modelos de aprendizaje automático, lograron predecir la progresión de la discapacidad a dos años con una mejora significativa en el rendimiento (25).

Varios estudios han evidenciado una correspondencia entre los datos neurofisiológicos y clínicos, como las clasificaciones de la Expanded Disability Status Scale (EDSS) y las imágenes por resonancia magnética (RM) (26) . La fatiga en estos pacientes se ha asociado con disfunciones en áreas motoras corticales, reflejadas en hallazgos anormales durante la estimulación magnética transcraneal, como la falta de facilitación previa al movimiento y una mayor carga lesional en el lóbulo frontal (en RM), especialmente en pacientes con EM de curso remitente-recurrente (24). Además, estos hallazgos se han utilizado para evaluar la respuesta a tratamientos como la fampridina, que está aprobada para el manejo del trastorno de la marcha en estos pacientes; sin embargo, las respuestas en las mediciones de los potenciales evocados motores han mostrado resultados contradictorios (27).

En nuestro estudio, el 100% de los pacientes requirió un estudio imagenológico adicional para confirmar el diagnóstico de EM, en concordancia con los criterios diagnósticos revisandos de McDonald 2024, los cuales resaltan la importancia de la caracterización imagenológica de las lesiones para respaldar el diagnóstico. Aunque los PEM no son útiles para el diagnóstico, podrían resultar beneficiosos para el seguimiento. De hecho, el grupo de Hardmeier et al. (28) proponen los Potenciales Evocados Multimodales (que incluyen los Potenciales Evocados Somatosensoriales, Visuales, Auditivos del Tronco Encefálico, Motores y Miogénicos Vestibulares) como biomarcadores candidatos para pronóstico y respuesta en ensayos clínicos.

En general, los PEM en EM están adquiriendo mayor relevancia en la evaluación del pronóstico de la enfermedad, ya que pueden detectar progresión y se han utilizado para monitorear los efectos de los medicamentos empleados en su tratamiento. Sin embargo, es necesario validar más las mediciones de amplitud de los PEM en términos de validez, confiabilidad y sensibilidad antes de que puedan utilizarse de manera rutinaria en ensayos

clínicos de fármacos para la EM (6).

En nuestra cohorte, el 75% de los pacientes con EM presentaba PEM anormales, mientras que el 25% (un paciente) tenía PEM normales. Sería valioso, en el futuro, ampliar la información con datos clínicos para correlacionar estos hallazgos con la discapacidad y la progresión de la enfermedad. Además, es importante destacar que el volumen de pacientes con EM en este hospital de alta complejidad es significativamente mayor que el presentado en este estudio, lo que demuestra que no a todos los pacientes con esta enfermedad se les realizan los PEM. Esto se debe a que no son necesarios para el diagnóstico, pero debemos sensibilizarnos sobre sus otras utilidades y beneficios clínicos, específicamente en seguimiento y pronóstico.

### *9.1 Conclusiones*

Los PEM son una herramienta valiosa para evaluar objetivamente la función de la vía motora piramidal. Su aplicación debe ser estratégica y ajustarse a la sospecha clínica para confirmar o descartar diagnósticos específicos.

Aunque en este estudio no contamos con el periodo silente ni con técnicas de doble estimulación, se evidenció que los PEM son útiles en la práctica clínica para el diagnóstico de ELA. En otros casos de debilidad donde el diagnóstico clínico es incierto, la utilidad de los PEM radica en descartar el compromiso central, sirviendo como un apoyo en el diagnóstico diferencial. Además, en patologías como la esclerosis múltiple, los PEM pueden correlacionarse con el nivel de discapacidad y el pronóstico del paciente.

Es necesario realizar estudios prospectivos y estandarizar los protocolos de PEM para facilitar comparaciones que fortalezcan su aplicación clínica.

## 10. Administración del proyecto

### 10.1 Presupuesto

DESCRIPCION RUBRO	FINANCIACIÓN*	Contrapartida <i>MÉDERI</i>	Contrapartida	TOTAL/RUBRO
PERSONAL CIENTÍFICO	\$ 0	\$7.367.942	\$8.921.868	\$16.289.810
SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
EQUIPOS				
Subvencionados	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Propios	\$ 0	\$ 500.000	\$ 0	\$500.000
SOFTWARE ESPECIALIZADO	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
PUBLICACIONES	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
MATERIALES / INSUMOS	\$ 0	\$100.000	\$100.000	\$200.000
BIBLIOGRAFIA	\$ 0	\$ 0	\$300.000	\$300.000
VIAJES/VIÁTICOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
EVENTOS Y/O REFRIGERIOS	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
DISEÑO/IMPRESIÓN PÓSTER	\$ 0	\$ 0	\$150.000	\$150.000
TOTAL	\$ 0	\$7.967.942	\$ 9.471.868	\$17.439.810

\*La financiación solicitada a Méderi está supeditada al cumplimiento a los lineamientos estipulados en el manual de investigaciones versión vigente (M-INV-06)

## 10.2 Cronograma

Se presenta a continuación la planeación a 14 meses de la ejecución del proyecto teniendo en cuenta aspectos como el desarrollo del protocolo, la búsqueda de información, el plan de obtención de resultados y análisis de la información, la construcción de los documentos finales y el plan de divulgación de los resultados.

ACTIVIDAD	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M10	M11	M12	M13	M14
<b>Preparación de la investigación</b>														
Escritura y presentación del protocolo de investigaciones	■	■												
Sometimiento comité técnico de investigaciones y evaluación por comité de ética en investigación.			■	■										
Elaboración y firma del acta de inicio.			■	■										
<b>Conducción del estudio</b>														
Recolección de datos					■	■	■							
Análisis de datos							■	■	■					
Reporte de informe de avance										■	■	■		
Estructuración de informe final											■	■	■	
Redacción y sometimiento de artículo													■	■

## 11. Referencias

1. Iriarte Franco J, Artieda González J. Estimulación magnética transcraneal. Manual de neurofisiología clínica. 2013th ed. Vol. 1. España: Médica Panaméricana; 395 p.
2. Rossini PM, Burke D, Chen R, Cohen LG, Daskalakis Z, Di Iorio R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee. Clin Neurophysiol. 2015 Jun;126(6):1071–107.
3. Ibiricu MA, Morales G. Estimulación magnética transcraneal. Sist Sanit Navar. 2009;32.
4. Spampinato DA, Ibanez J, Rocchi L, Rothwell J. Motor potentials evoked by transcranial magnetic stimulation: interpreting a simple measure of a complex system. J Physiol. 2023 Jul;601(14):2827–51.
5. Borrego, José C; Lara, Segundo; Trujillo, Mario; Barraza, Pedro. Potenciales evocados motores. Evaluación no invasiva de la vía motora en sujetos normales y en pacientes con enfermedades neurológicas. Acta Médica Colomb. 1992 Apr;17(2):86–93.
6. Fernández V, Valls-Sole J, Relova JL, Raguer N, Miralles F, Dinca L, et al. Recomendaciones para la utilización clínica del estudio de potenciales evocados motores en la esclerosis múltiple. Neurología. 2013 Sep;28(7):408–16.
7. Vucic S, Howells J, Trevillion L, Kiernan MC. Assessment of cortical excitability using threshold tracking techniques. Muscle Nerve. 2006 Apr;33(4):477–86.
8. Ilmoniemi RJ, Virtanen J, Ruohonen J, Karhu J, Aronen HJ, Näätänen R, et al. Neuronal responses to magnetic stimulation reveal cortical reactivity and connectivity: NeuroReport. 1997 Nov;8(16):3537–40.
9. Massimini, Marcello et a. J. Neural Communication Breaks Down As Consciousness Fades and Sleep Sets In. Science. 2005 Sep 30;309(5744):2228–32.
10. Rico A, Audoin B, Franques J, Eusebio A, Reuter F, Malikova I, et al. Motor evoked potentials in clinically isolated syndrome suggestive of multiple sclerosis. Mult Scler J. 2009 Mar;15(3):355–62.
11. Pallix-Guyot M, Guennoc AM, Blasco H, De Toffol B, Corcia P, Praline J.

Predictive value of motor evoked potentials in clinically isolated syndrome: Motor evoked potentials in clinically isolated syndrome. *Acta Neurol Scand.* 2011 Dec;124(6):410–6.

12. Zoccolella S, Mastronardi A, Scarafino A, Iliceto G, D’Errico E, Fraddosio A, et al. Motor-evoked potentials in amyotrophic lateral sclerosis: potential implications in detecting subclinical UMN involvement in lower motor neuron phenotype. *J Neurol.* 2020 Dec;267(12):3689–95.

13. Menon P, Geevasinga N, Yiannikas C, Howells J, Kiernan MC, Vucic S. Sensitivity and specificity of threshold tracking transcranial magnetic stimulation for diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis: a prospective study. *Lancet Neurol.* 2015 May;14(5):478–84.

14. Jang W, Park J, Kim JS, Youn J, Oh E, Jo KD, et al. Triple stimulation technique findings in vascular Parkinsonism and Parkinson’s disease. *Clin Neurophysiol.* 2014 Sep;125(9):1834–9.

15. Tokimura H, Lazzaro V, Tokimura Y, Oliviero A, Profice P, Insola A, et al. Short latency inhibition of human hand motor cortex by somatosensory input from the hand. *J Physiol.* 2000 Mar;523(2):503–13.

16. Stefan K. Induction of plasticity in the human motor cortex by paired associative stimulation. *Brain.* 2000 Mar 1;123(3):572–84.

17. D’Onofrio V, Manzo N, Guerra A, Landi A, Baro V, Määttä S, et al. Combining Transcranial Magnetic Stimulation and Deep Brain Stimulation: Current Knowledge, Relevance and Future Perspectives. *Brain Sci.* 2023;13:null.

18. Weise LM, McCormick I, Restrepo C, Hill R, Greene R, Hong M, et al. Motor evoked potentials versus Macrostimulation in predicting the postoperative motor threshold in STN Deep brain stimulation. *Clin Neurol Neurosurg.* 2022 Aug;219:107332.

19. Nikolov P, Heil V, Hartmann CJ, Ivanov N, Slotty PJ, Vesper J, et al. Motor Evoked Potentials Improve Targeting in Deep Brain Stimulation Surgery. *Neuromodulation Technol Neural Interface.* 2022 Aug;25(6):888–94.

20. Vucic S, Stanley Chen KH, Kiernan MC, Hallett M, Benninger DavidH, Di Lazzaro V, et al. Clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation in neurological disorders. Updated report of an IFCN committee. *Clin Neurophysiol.* 2023 Jun;150:131–75.

21. Truffert A, Sukockienė E, Desmaison A, Ališauskienė M, Iancu Ferfoglia R, Guy

- N. Combined tendon reflex and motor evoked potential recordings in amyotrophic lateral sclerosis. *Clin Neurophysiol.* 2023 Mar;147:88–98.
22. Tondo G, Mazzini L, Caminiti SP, Gallo C, Matheoud R, Comi C, et al. Coupling motor evoked potentials and brain [18F]FDG-PET in Amyotrophic Lateral Sclerosis: preliminary findings on disease severity. *Neurobiol Dis.* 2024 Sep;199:106579.
23. Takada H, Ravnborg M. Magnetically evoked motor potentials in demyelinating and axonal polyneuropathy: a comparative study. *Eur J Neurol.* 2000 Jan;7(1):63–9.
24. Yperman J, Popescu V, Van Wijmeersch B, Becker T, Peeters LM. Motor evoked potentials for multiple sclerosis, a multiyear follow-up dataset. *Sci Data.* 2022 May 16;9(1):207.
25. Yperman J, Becker T, Valkenburg D, Popescu V, Hellings N, Wijmeersch BV, et al. Machine learning analysis of motor evoked potential time series to predict disability progression in multiple sclerosis. *BMC Neurol.* 2020 Dec;20(1):105.
26. Šoda J, Pavelin S, Vujović I, Rogić Vidaković M. Assessment of Motor Evoked Potentials in Multiple Sclerosis. *Sensors.* 2023 Jan 2;23(1):497.
27. Marion S, Leonid C, Belinda B, Joanne D, Elise H, Leanne C, et al. Effects of modified-release fampridine on upper limb impairment in patients with Multiple Sclerosis. *Mult Scler Relat Disord.* 2020 May;40:101971.
28. Hardmeier M, Fuhr P. Multimodal Evoked Potentials as Candidate Prognostic and Response Biomarkers in Clinical Trials of Multiple Sclerosis. *J Clin Neurophysiol.* 2021 May;38(3):171–80.