











ORIGINAL

## Neural Plasticity after Traumatic Brain Injuries. Importance of neurological rehabilitation

### Plasticidad Neural tras Lesiones Traumáticas Cerebrales. Importancia de la rehabilitación neurológica

Piedad Elizabeth Acurio Padilla<sup>1</sup>  , Fernanda Latorre Barragán<sup>1</sup>  , Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero<sup>1</sup>  , Cristina Elizabeth Barragán Martínez<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>Universidad Regional Autónoma de los Andes, Sede Ambato. Ecuador.

**Citar como:** Acurio Padilla PE, Latorre Barragán F, Altamirano Guerrero OE, Barragán Martínez CE. Neural Plasticity after Traumatic Brain Injuries. Importance of neurological rehabilitation. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias. 2024; 3:.771. <https://doi.org/10.56294/sctconf2024.771>


Recibido: 03-01-2024

Revisado: 18-05-2024

Aceptado: 03-09-2024

Publicado: 04-09-2024

Editor: Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Piedad Elizabeth Acurio Padilla 

#### ABSTRACT

The research aimed to deepen the understanding of the role of neuroplasticity in post-traumatic injuries that cause physical damage to neuronal tissue. The study focused on how the brain, through epigenetic remodeling, adapts and responds to these initial injuries to facilitate recovery. The methodology included a descriptive bibliographic review, limited to articles in English and Spanish published between 2019 and 2023, using databases such as Clinical Key, PubMed, Scopus, Science Direct, Web of Science, and Google Scholar. Relevant scientific articles, books, and recognized guides were included. Additionally, five clinical cases of patients with traumatic brain injury were evaluated through a review of medical histories and interviews with the medical care team to analyze the effectiveness of neurorehabilitation. The results highlighted that neuronal plasticity, the ability of the nervous system to adapt and reorganize, is fundamental for recovery after a traumatic brain injury. It was observed that neuroplasticity processes, both structural and functional, allow the formation of new synapses and the strengthening of existing ones, facilitating the recovery of motor and cognitive functions. Neurorehabilitation, which includes techniques such as physical therapy, occupational therapy, speech therapy, and neurostimulation, proved effective in improving the quality of life of patients. The research concluded by emphasizing the importance of neuroplasticity and neurorehabilitation in the recovery of patients with post-traumatic brain injuries, recommending the implementation of individualized and advanced therapeutic approaches to optimize outcomes.

**Keywords:** Neuroplasticity; Brain Trauma; Neurorehabilitation; Cognitive Rehabilitation.

#### RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo profundizar en la comprensión de la función de la neuroplasticidad en lesiones postraumáticas que provocan daño físico al tejido neuronal. El estudio se centró en cómo el cerebro, a través de la remodelación epigenética, se adapta y responde a estas lesiones iniciales para facilitar la recuperación. La metodología incluyó una revisión bibliográfica descriptiva, limitada a artículos en inglés y español publicados entre 2019 y 2023, utilizando bases de datos como Clinical Key, Pubmed, Scopus, ScienceDirect, Web of Science y Google Scholar. Se incluyeron artículos científicos relevantes, libros y guías reconocidas. Además, se evaluaron cinco casos clínicos de pacientes con traumatismo craneoencefálico mediante revisión de historial y entrevistas con el equipo de atención médica para analizar la efectividad de la neurorrehabilitación. Los resultados destacaron que la plasticidad neuronal, es la capacidad del sistema

nervioso para adaptarse y reorganizarse, es fundamental para la recuperación tras un traumatismo craneoencefálico. Se observó que los procesos de neuroplasticidad, tanto estructural como funcional, permiten la formación de nuevas sinapsis y el fortalecimiento de las existentes, facilitando la recuperación de funciones motoras y cognitivas. La neurorrehabilitación, que incluye técnicas como la fisioterapia, terapia ocupacional, terapia del lenguaje y neuroestimulación, demostró ser efectiva en la mejora de la calidad de vida de los pacientes. En sus conclusiones la investigación subraya la importancia de la neuroplasticidad y la neurorrehabilitación en la recuperación de pacientes con lesiones cerebrales postraumáticas, recomendando la implementación de enfoques terapéuticos individualizados y avanzados para optimizar los resultados.

**Palabras clave:** Neuroplasticidad; Trauma Cerebral; Neurorrehabilitación; Rehabilitación Cognitiva.

## INTRODUCCIÓN

El cerebro es la estructura más compleja y fundamental del Sistema Nervioso Central (SNC). Se encarga de procesar la información sensorial, coordinar el movimiento y regular funciones vitales como la respiración, el ritmo cardíaco y el equilibrio hormonal. Además, es el centro de las emociones, pensamientos y memoria, permitiendo razonar, aprender y adaptarse a nuevos desafíos. Compuesto por miles de millones de neuronas interconectadas a través de sinapsis, el cerebro se organiza en diferentes regiones, cada una especializada en tareas específicas. Por ejemplo, la corteza cerebral es crucial para funciones cognitivas superiores como el lenguaje y la toma de decisiones, mientras que el cerebelo se encarga de la coordinación motora y el equilibrio. La plasticidad cerebral, o la capacidad del cerebro para reorganizarse y formar nuevas conexiones, es vital para la recuperación después de lesiones y para el aprendizaje a lo largo de la vida.<sup>(1)</sup>

En comparación con la recuperación de otros tipos de tejido, las lesiones en el Sistema Nervioso Central (SNC) presentan una mayor dificultad para ser revertidas de manera efectiva. En este caso, las respuestas inflamatorias, bioquímicas y de neurogénesis juegan un papel dominante tras una lesión en el SNC. Las cascadas inflamatorias, que incluyen la activación de células inmunitarias y la liberación de citoquinas, contribuyen a un entorno hostil que dificulta la regeneración neuronal. A su vez, los cambios bioquímicos pueden alterar la homeostasis celular, agravando el daño y comprometiendo la funcionalidad del tejido nervioso.<sup>(2)</sup> La neurogénesis, o la formación de nuevas neuronas, aunque activa, suele ser insuficiente para contrarrestar el extenso daño causado por la lesión primaria y sus secuelas subsecuentes. Esta complejidad en la respuesta del SNC subraya la necesidad de enfoques terapéuticos más sofisticados para mejorar la recuperación después de una lesión cerebral.

La plasticidad neural, también conocida como neuroplasticidad, es la capacidad del sistema nervioso para adaptarse y reorganizarse en respuesta a experiencias, aprendizaje, daños o cambios en el entorno. Este proceso implica la formación de nuevas conexiones sinápticas entre las neuronas, el fortalecimiento o debilitamiento de las existentes y, en algunos casos, la generación de nuevas neuronas. La plasticidad neural permite al cerebro compensar lesiones, ajustar sus actividades en respuesta a nuevas situaciones o experiencias y optimizar el funcionamiento cognitivo y motor. Es un mecanismo fundamental para el desarrollo cerebral, el aprendizaje y la memoria, así como para la recuperación funcional tras lesiones neurológicas.<sup>(3)</sup>

La neuroplasticidad cerebral no solo es vital durante el desarrollo infantil, cuando el cerebro está en su fase más moldeable, sino que también desempeña un papel fundamental a lo largo de toda la vida. Esta capacidad adaptativa permite al cerebro responder a nuevas experiencias, aprender habilidades y memorizar información. En adultos, la neuroplasticidad se manifiesta a través del aprendizaje continuo y la capacidad de adaptarse a cambios en el entorno. Por ejemplo, al aprender un nuevo idioma o instrumento musical, las redes neuronales se reorganizan para optimizar la eficiencia y el rendimiento en estas nuevas actividades. Este proceso de adaptación y reconfiguración neuronal es esencial para la resiliencia cognitiva y la capacidad de superar desafíos mentales.<sup>(4)</sup>

La neurorrehabilitación es un proceso de recuperación que busca mejorar la calidad de vida de las personas que han sufrido una LCT. En los últimos años, se han desarrollado diversas tecnologías que pueden ayudar en este proceso de recuperación. En el contexto de la rehabilitación neurológica, la neuroplasticidad es la base sobre la cual se diseñan las terapias y programas de recuperación para pacientes con daños cerebrales, como los causados por un traumatismo craneoencefálico (TCE).

Las terapias de rehabilitación, como la fisioterapia, la terapia ocupacional y la terapia del lenguaje, están dirigidas a estimular la plasticidad neuronal para restaurar las funciones perdidas o deterioradas. La repetición de ejercicios específicos y la exposición a estímulos adecuados fomentan la formación de nuevas sinapsis y la reestructuración de las redes neuronales dañadas. Este enfoque terapéutico no solo mejora las capacidades motoras y cognitivas del paciente, sino que también contribuye a su bienestar emocional y calidad de vida, destacando la importancia de la neuroplasticidad en la recuperación integral del individuo.<sup>(5)</sup>

## OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta investigación es desarrollar y profundizar el entendimiento sobre la función de la neuroplasticidad en lesiones postraumáticas que causan daño físico al tejido neuronal, lo cual puede resultar en la muerte de células. Se centra en cómo el cerebro, a través de la remodelación epigenética, se adapta y responde a estas lesiones iniciales para facilitar la recuperación.

## MÉTODOS

El tipo de investigación realizado fue de carácter cualitativo y descriptivo, enfocado en el análisis de casos clínicos y la revisión bibliográfica. En el estudio se emplearon diversos métodos de nivel teórico que facilitaron un análisis profundo y una comprensión adecuada de la neuroplasticidad y su impacto en la rehabilitación de pacientes con traumatismos craneoencefálicos (TCE)

Investigación cualitativa: este enfoque se centra en entender fenómenos complejos a través del análisis detallado de casos individuales. En este estudio, se utilizaron entrevistas y revisiones de historiales médicos para obtener una visión integral de cada caso, lo cual es fundamental para entender las experiencias y respuestas individuales de los pacientes a la neurorrehabilitación.

Investigación descriptiva: se realizó una revisión bibliográfica descriptiva en la que se actualizaron los temas relacionados con la plasticidad neural y neurorrehabilitación, limitada a los idiomas inglés y español, se tomaron en cuenta artículos científicos de relevancia médica, libros y guías reconocidas dentro de la comunidad científica. Según la metodología Prisma se realizó un análisis de la literatura a través de la base de datos Clinical Key, PubMed, Scopus, Science direct, Web of Science y Google Scholar; se utilizaron como palabras clave: “Plasticidad neuronal” (*Neuronal plasticity*), “Trauma cerebral” (*Traumatic Brain Injury*), “Neurogenesis” (*Neurogenesis*), “Rehabilitación Cognitiva” (*Cognitive Rehabilitation*), “Traumatismo craneoencefálico” (*Cranioencephalic trauma*), “Neurona” (*Neuron*), “Realidad Virtual” (*Virtual Reality*), “Neurotransmisores” (*Neurotransmitters*), “Receptor Sináptico” (*Synaptic Receptor*), “Aprendizaje” (*Learning*) y “Rehabilitación” (*Rehabilitation*). La investigación se realizó durante el mes de octubre del año 2023.

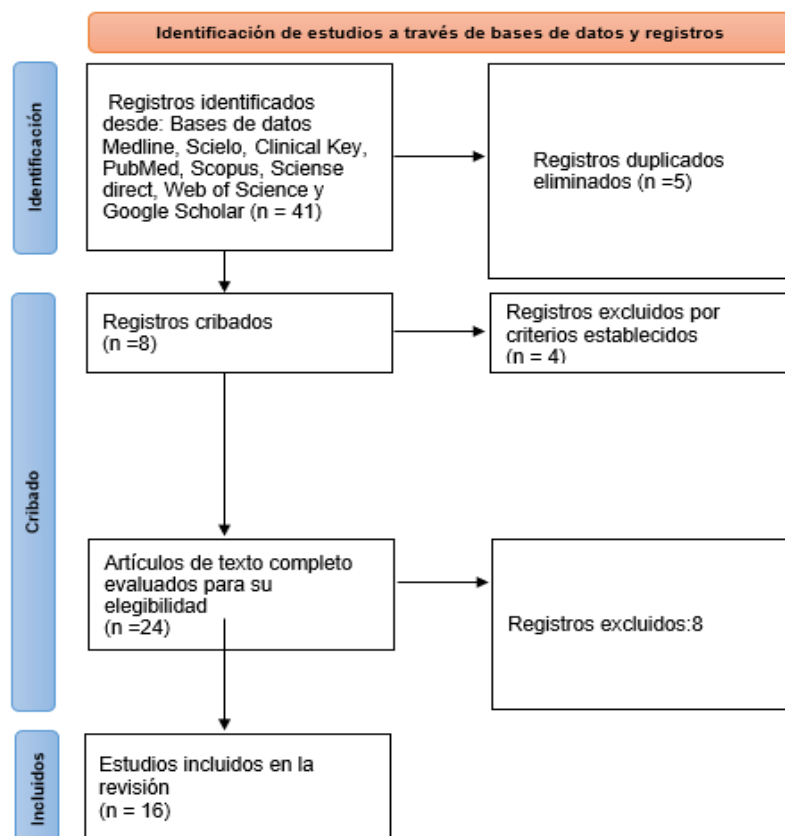


Figura 1. Metodología Prisma

Además de la revisión bibliográfica, se llevó a cabo un estudio de casos con una muestra de cinco pacientes que habían sufrido traumatismos craneoencefálicos. El objetivo fue realizar un análisis exhaustivo y evaluar los efectos de la neurorrehabilitación, así como las manifestaciones de plasticidad cerebral en estos pacientes. Para este análisis, se revisaron detalladamente los historiales médicos de los pacientes y se realizaron entrevistas

estructuradas con su equipo de atención médica. Se contó con la experiencia y criterio de tres especialistas: un neurólogo y dos especialistas en neurorrehabilitación y terapia cognitiva, para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados.

## RESULTADOS

### Formas de plasticidad neuronal

#### *Neurogénesis:*

La recuperación de los pacientes con lesiones cerebrales depende de la neuroplasticidad, que incluye mecanismos estructurales, funcionales y bioquímicos. La “proliferación axonal” es otra forma de reestructurar el cerebro. En este caso, los axones no dañados pueden crear nuevas terminaciones nerviosas y conectarse con otras neuronas no dañadas para crear vías neuronales nuevas.

La neurogénesis es el proceso de síntesis de nuevas neuronas a partir de células madre y progenitoras. Se ha demostrado que ocurre en el hipocampo y en el bulbo olfatorio de mamíferos adultos, lo que indica que las células troncales neuronales (precursores primarios) existen durante toda la vida. Los nichos neurogénicos son áreas especializadas donde se encuentran los precursores primarios. Se ha demostrado que la glía radial no solo es la precursora de las células troncales neuronales del cerebro adulto, sino que también produce astrocitos, neuronas, oligodendrocitos y células endoteliales.

La célula que produce nuevas neuronas en el cerebro adulto también expresa marcadores de células gliales. Durante la etapa prenatal y postnatal temprana, las células madres naturales (NSC) se diferencian en neuronas y migran hacia el bulbo olfatorio, donde se integran a las redes neuronales existentes. Las alteraciones en estos procesos dificultan la neurogénesis y pueden causar daño cerebral permanente o irreversible, dado por neurodegeneración con el consecuente deterioro cognitivo.

La evidencia concluye que la neurogénesis juega un papel importante en la plasticidad neuronal y la cognición, principalmente durante el período postnatal, una variedad de factores extrínsecos e intrínsecos pueden alterar este proceso y su impacto puede ser perjudicial, esto se observa en situaciones de daño cerebral, como las seculares a traumatismos craneoencefálicos o enfermedad cerebrovascular.<sup>(6)</sup>

#### *Plasticidad Sináptica:*

Los procesos de aprendizaje y memoria son los principales temas relacionados con la plasticidad sináptica. La transmisión sináptica se fortalece con el aprendizaje porque el cerebro establece conexiones neuronales que sirven como rutas de intercomunicación.<sup>(7)</sup> La plasticidad neuronal podría constituir el aprendizaje, sin olvidar su relación con la plasticidad sináptica por las conexiones interneuronales, la evidencia ha demostrado sobre los cambios morfológicos como la ramificación neuronal en la corteza cerebral y su capacidad adaptativa para modificarse en función y estructura.<sup>(8)</sup>

Hace algunos años se creía que la plasticidad neuronal estaba presente únicamente en la edad temprana de vida como en la infancia hasta la adolescencia, pero se ha demostrado que este mecanismo está presente en la adultez. Aunque con el paso del tiempo va decreciendo, en el caso de los adultos este proceso está limitado a realizarse en el hipocampo y en el sistema olfatorio. Durante el desarrollo cerebral de la infancia, existen periodos críticos de plasticidad neuronal, llamados ventanas de plasticidad los cuales favorecen la organización y refinamiento de las conexiones sinápticas. Por tanto se establecen circuitos sinápticos que permiten una correcta fisiología del organismo en el paciente adulto.<sup>(6)</sup>

El entorno juega un papel esencial, al nacer, a medida que se ganan experiencias algunas conexiones sinápticas se fortalecen mientras que otras son eliminadas a lo que se conoce como poda sináptica. Las neuronas utilizadas con frecuencia desarrollan conexiones más fuertes y las que no se utilizan mueren, el cerebro se adapta a cambios del entorno mediante este proceso.<sup>(9)</sup>

#### *Plasticidad neuronal en la infancia*

La plasticidad neuronal inicia desde el período prenatal, a partir de la séptima semana de gestación el cerebro comienza a reaccionar junto con los movimientos del feto, a las 20 semanas se diversifican las ondas cerebrales y las neuronas crecen rápidamente, específicamente 250 000 por minuto. Para la semana 36 el Sistema Nervioso está totalmente desarrollado.<sup>(3)</sup> Una etapa importante del desarrollo cerebral en humanos se lleva a cabo desde la etapa prenatal hasta los 5 años de vida. Aquí el aprendizaje y la estimulación externa del medio ambiente cumplen un rol fundamental para las conexiones neuronales establecidas en número y fuerza, a través de la experiencia algunas conexiones serán eliminadas y otras fortalecidas, responsables de los cambios conductuales en el niño.

En los primeros años de vida el cerebro está en un proceso de desarrollo donde se establecen conexiones neuronales y crecimiento de estructuras. La plasticidad neuronal es importante en el proceso de desarrollo cerebral, en este periodo de la infancia, conforme pasa el tiempo la plasticidad neuronal se reduce

progresivamente aunque nunca se llega a detener por completo.<sup>(7)</sup>

#### *Mecanismos de plasticidad neuronal*

- Neuroplasticidad estructural: este tipo de neuroplasticidad implica cambios en la síntesis de proteínas dentro de las neuronas o en la sinapsis neuronal con la formación de dendritas, dichos cambios ocurren durante el desarrollo embrionario y la migración neuronal desde el tubo neural hasta el lugar correspondiente en la corteza cerebral.
- Neuroplasticidad funcional: este proceso está en relación principalmente con los procesos de memoria y aprendizaje más simples, en los cuáles ocurren cambios en la sinapsis de neuronas por las diferentes variaciones bioquímicas dentro de las células y en la estructura de la respectiva red neuronal. La plasticidad neuronal se da gracias a que las neuronas sinápticas comparten neurotransmisores de mayor y menor cantidad.<sup>(9)</sup>

#### *Fenómenos que favorecen la neuroplasticidad:*

El proceso de plasticidad neuronal se estimula debido a causas espontáneas por los cambios fisiológicos normales del organismo durante su desarrollo. Cuando se presenta un daño neurológico post lesional, la neuroplasticidad dependerá de varios factores, de ellos los no modificables como la edad, el sexo y la cantidad de tejido cerebral destruido en la lesión, Dentro de los factores modificables se mencionan la estimulación neurosensorial posterior a la lesión y las comorbilidades previas del paciente.<sup>(2)</sup>

Rehabilitación física o psíquica: se pretende conservar la reserva cerebral cognitiva para evitar la aparición de factores de riesgo que influyen sobre la neuroplasticidad, la reserva cognitiva a través de un óptimo funcionamiento biológico del cerebro desde ámbitos metabólicos .

Acción farmacológica: se trata de fármacos agonistas o antagonistas, los agonistas inhiben o bloquean la acción del neurotransmisor al unirse al receptor o impiden la función del neurotransmisor. El antagonista en cambio actúa desorganizando la acción del neurotransmisor que da lugar a la neuroplasticidad.<sup>(3)</sup>

Por patologías: varias patologías pueden lesionar la corteza cerebral y este daño estimular la neuroplasticidad, entre las cuales se encuentran: lesiones cerebrales primarias, traumáticas, tumorales, infecciosas, vasculares como aneurismas o malformaciones cerebrales, y lesiones secundarias especialmente posteriores a encefalopatías.<sup>(7)</sup>

Por zonas corticales afectadas: posterior a injurias cerebrales ocasionadas especialmente por traumatismos craneoencefálicos en dependencia de la dominancia, el lóbulo y la zona cortical afectada se estimulara el desarrollo de neuroplasticidad a nivel cortical motor, somato sensorial, del lenguaje y la memoria. La enfermedad cerebrovascular y el traumatismo craneoencefálico son las lesiones cerebrales más frecuentes y las principales causantes del daño cerebral adquirido. Luego del cual, el organismo pone en marcha mecanismos de neuroplasticidad encargados de compensar la pérdida funcional que se ha establecido. Los mismos se enmarcan en cambios moleculares hasta modificaciones estructurales complejas a nivel cerebral.<sup>(8)</sup>

El concepto de plasticidad, integra la idea de que la red neuronal permanece abierta al cambio y la contingencia lo cual es beneficioso para el cerebro. Sin embargo esta capacidad puede ser modulada por el traumatismo craneoencefálico en dependencia del tipo y las fuerzas externas que actúan sobre el cerebro, lo que modifica el estado anterior a la lesión.<sup>(10)</sup>

Cambios neuroplásticos inmediatos: la respuesta del cerebro a una lesión cerebral se produce por mecanismos de adaptación cerebral inmediatos, donde intervienen alteraciones celulares y plasticidad sináptica. Las investigaciones han demostrado la diferencia entre la fuerza de la sinapsis y la liberación de diferentes neurotransmisores en los circuitos neuronales que se ven afectados.<sup>(11)</sup>

Cambios neuroplásticos tardíos: una vez sucedida la lesión, el cerebro continúa adaptándose y cambiando durante un tiempo considerable. Esta manifestación puede abarcar alteraciones estructurales como el brote axonal y la remodelación dendrítica, que generan aumento de la ramificación axonal y la síntesis en las zonas corticales afectadas durante semanas o meses después del traumatismo, lo que ayuda a una compensación funcional.<sup>(12)</sup>

Neurorrehabilitación cognitiva: la rehabilitación cognitiva y motora en personas con lesión cerebral traumática (LCT) ha permitido el desarrollo de nuevos enfoques en la rehabilitación. A través de dispositivos robóticos y herramientas innovadoras que impulsan la neuroplasticidad.<sup>(13)</sup>

#### *Realidad virtual*

La realidad virtual (VR) consiste en un entorno virtual e interactivo donde los pacientes interactúan con gráficos generados por computadora con grados distintos de sensaciones e inmersión. Gracias a la configuración lúdica de la realidad virtual, el cumplimiento y adhesión al tratamiento rehabilitador por parte del paciente aumenta e incrementa sus efectos y permite la individualización según cada paciente así como mejores resultados y avances en la lesión secuelear.<sup>(13,14)</sup>



En una revisión publicada se concluyó que los juegos de realidad virtual para el tratamiento de la lesión cerebral traumática moderada son herramientas que pueden mejorar la memoria, la función ejecutiva, las habilidades de conducción, el rendimiento cognitivo y los síntomas neuroconductuales; demuestran así mejoras significativas en la memoria de trabajo y búsquedas visual/atención selectiva.<sup>(13)</sup>

Neuromodulación: este enfoque se centra en la interfaz entre la tecnología y el Sistema Nervioso mediante la neuroplasticidad adaptativa. Se cree que estas técnicas restauran la función alterada del cerebro, lo que resulta en un mejor funcionamiento y disminución significativa de la sintomatología.<sup>(14)</sup>

Estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr): crea un campo magnético a través de una bobina electromagnética colocada cerca del cuero cabelludo, pero sin contacto directo; inducen la excitación cortical debajo del sitio de estimulación y en áreas alejadas a través de conexiones sinápticas, su uso ayuda en los trastornos cerebrales como el dolor crónico y afasia post-ictus.

Estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS): el neuromodulador implica contacto directo con el cuero cabelludo y tiene el potencial de cambiar la excitación espontánea en el cerebro al alterar el potencial de reposo de la membrana a través de corriente, se emiten de 1-2 miliamperios que fluyen entre los electrodos de goma colocados en el cuero cabelludo. El ánodo eleva la estimulación cortical y el cátodo la disminuye, hasta la actualidad este neuromodulador ha demostrado tener un impacto positivo en enfermedades psiquiátricas como la depresión o adicción a sustancias, trastorno de estrés postraumático, ansiedad generalizada y trastorno obsesivo compulsivo TOC.<sup>(14)</sup>

Neuro retroalimentación EEG: el neurofeedback que utiliza la neuro electroencefalografía (EEG) implica el registro de la actividad eléctrica cortical del cerebro por medio de electrodos colocados en la superficie del cuero cabelludo, el paciente recibe la señal auditiva y visual para guiar su actividad cortical dentro de un rango saludable medido a través de EEG. Se ha demostrado que favorece las funciones ejecutivas y cognitivas, de memoria, atención, recuperación motora y las convulsiones después de una lesión cerebral traumática leve, moderada y grave, además se ha evidenciado mejoras en la anisotropía fraccionada y volumen de materia gris y blanca en pacientes con TCE.<sup>(14)</sup>

### Estudio de casos

Se evaluaron 5 casos de pacientes que fueron atendidos por haber sufrido distintos tipos de traumatismos craneoencefálicos, y que fueron sometidos a rehabilitación. A continuación, se presentan los casos:

#### Caso 1

Paciente masculino, 48 años de edad, con antecedentes de hipertensión arterial y diabetes mellitus tipo 2, además de traumatismo craneoencefálico (TCE).

Diagnóstico: Hemiparesia post-traumática, manifestada por debilidad parcial del lado izquierdo del cuerpo como consecuencia del TCE.

Tratamiento: el paciente fue sometido a un régimen de rehabilitación física intensiva y ejercicios terapéuticos diseñados para mejorar la movilidad y fortalecer la musculatura afectada. Se emplearon técnicas de terapia ocupacional y electroestimulación muscular para optimizar los resultados.

#### Caso 2

Paciente femenina, 56 años de edad, con antecedentes de migraña crónica y osteoartritis, que sufrió un accidente donde se produjo un TCE

Diagnóstico: Afasia post-traumática, que resultó en dificultades significativas para la comunicación verbal y la comprensión del lenguaje tras el TCE.

Tratamiento: se implementó un programa de terapia de lenguaje y comunicación dirigido a recuperar las habilidades lingüísticas y mejorar la capacidad de expresión y comprensión verbal. Además, se incluyó la utilización de tecnologías asistivas para la comunicación y sesiones de terapia ocupacional para facilitar la integración social y laboral.

#### Caso 3

Paciente femenina, 35 años de edad, con antecedentes de asma y un episodio previo de fractura de tobillo.

Diagnóstico: Trastorno de la marcha post-traumática, caracterizado por problemas en la locomoción y el equilibrio debido al TCE.

Tratamiento: la paciente recibió terapia de neuroestimulación no invasiva combinada con ejercicios de rehabilitación física enfocados en mejorar la coordinación y la estabilidad. El tratamiento incluyó sesiones de fisioterapia en piscina para reducir el impacto articular y mejorar la fuerza muscular.

#### Caso 4

Paciente masculino, 60 años de edad, con antecedentes de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

y artritis reumatoide.

Diagnóstico: Disartria post-traumática, un trastorno que afecta la articulación del habla debido al daño neurológico causado por el TCE.

Tratamiento: se llevó a cabo una terapia de lenguaje y comunicación con el objetivo de mejorar la claridad del habla y la capacidad comunicativa del paciente. Se incorporaron ejercicios de respiración y fortalecimiento de los músculos orofaciales, junto con el uso de dispositivos de comunicación aumentativa y alternativa.

#### Caso 5

Paciente masculino, 65 años de edad, con antecedentes de enfermedad cardíaca isquémica y hipercolesterolemia.

Diagnóstico: Hemiplejía post-traumática, que resultó en parálisis completa del lado derecho del cuerpo como consecuencia del TCE.

Tratamiento: el tratamiento incluyó un programa integral de rehabilitación física intensiva, combinado con terapia ocupacional para fomentar la recuperación funcional y la reintegración a las actividades diarias. Además, se utilizó terapia robótica y realidad virtual para mejorar la plasticidad cerebral y la recuperación motora.

#### Entrevistas a los Especialistas:

El análisis de los casos presentados en el estudio muestra cómo los tratamientos aplicados, fundamentados en el conocimiento sobre neuroplasticidad, han permitido adaptar terapias específicas a las necesidades de cada paciente, logrando así avances significativos en su recuperación. A continuación, el criterio de los especialistas en cada caso.

- En el caso 1, el paciente masculino de 48 años con hemiparesia post-traumática mostró mejoras notables gracias a un régimen intensivo de rehabilitación física y ejercicios terapéuticos. Los especialistas señalaron que la repetición de movimientos específicos y el uso de técnicas de terapia ocupacional y electroestimulación muscular contribuyeron a la reactivación y fortalecimiento de nuevas vías neuronales. Esto permitió al paciente recuperar parte de la movilidad y fortalecer la musculatura afectada, demostrando así la eficacia de los enfoques basados en la plasticidad neuronal.

- Para el caso 2, la paciente femenina de 56 años con afasia post-traumática experimentó avances significativos en su capacidad de comunicación gracias a la terapia de lenguaje y el uso de tecnologías asistivas. Los neurólogos indicaron que estos métodos estimularon la plasticidad cerebral en las áreas responsables del lenguaje, facilitando la formación de nuevas conexiones neuronales. La práctica continua y los ejercicios específicos permitieron a la paciente mejorar tanto en la expresión como en la comprensión verbal, resaltando la importancia de las terapias adaptadas a las necesidades lingüísticas.

- En el caso 3, la paciente de 35 años con trastorno de la marcha post-traumática se benefició de la neuroestimulación no invasiva y ejercicios de rehabilitación física. Este tratamiento conjunto mejoró la coordinación y la estabilidad, entrenando al cerebro para optimizar estas funciones motoras. La inclusión de fisioterapia en piscina también jugó un papel esencial, reduciendo el impacto articular y aumentando la fuerza muscular. Los resultados mostraron una mejoría notable en la marcha y el equilibrio de la paciente.

- Para el caso 4, el paciente masculino de 60 años con disartria post-traumática mejoró su articulación y claridad del habla mediante una terapia específica de lenguaje y comunicación. Los ejercicios de respiración y fortalecimiento de los músculos orofaciales, junto con el uso de dispositivos de comunicación aumentativa, fueron claves en su progreso. Los especialistas destacaron que estas intervenciones favorecieron la formación de nuevas conexiones neuronales, mejorando así la capacidad comunicativa del paciente.

- En el caso 5, el paciente de 65 años con hemiplejía post-traumática se benefició de un programa integral de rehabilitación física intensiva y terapia ocupacional. La combinación de neuroestimulación no invasiva y realidad virtual permitió aprovechar la neuroplasticidad para mejorar la recuperación motora y la funcionalidad diaria. Este enfoque multifacético ayudó al paciente a reentrenar su cerebro, optimizando el uso de energía y mejorando la estabilidad y la capacidad de caminar.

Los especialistas coincidieron en que la combinación de técnicas de neurorrehabilitación, ajustadas a las particularidades de cada caso, ha sido determinante para el progreso de los pacientes. La aplicación de principios de neuroplasticidad ha permitido alcanzar resultados satisfactorios, subrayando el valor terapéutico y la efectividad de estas intervenciones en la rehabilitación de pacientes con TCE.

#### DISCUSIÓN

La neuroplasticidad y la neurorrehabilitación son fundamentales para la recuperación de pacientes con

traumatismo craneoencefálico (TCE). La neuroplasticidad es la capacidad del cerebro para reorganizarse y formar nuevas conexiones neuronales en respuesta a daños o cambios. Esta adaptabilidad permite al cerebro compensar las funciones afectadas por el TCE, facilitando la recuperación de habilidades cognitivas, motoras y sensoriales. La neurorehabilitación, por su parte, utiliza técnicas específicas para aprovechar y estimular la neuroplasticidad. Estas técnicas incluyen terapia de estimulación cognitiva, rehabilitación física, terapia ocupacional, terapia de lenguaje y comunicación, y neuroestimulación no invasiva. Cada una de estas intervenciones se adapta a las necesidades individuales del paciente.<sup>(12)</sup>

La realidad virtual inmersiva se ha utilizado en la rehabilitación cognitiva de daño cerebral, proporcionando una herramienta avanzada y efectiva para la recuperación. Esta tecnología permite al paciente sumergirse en entornos tridimensionales interactivos que reproducen ambientes y situaciones de la vida real, ofreciendo una experiencia más atractiva y motivadora. Al recrear escenarios cotidianos, los pacientes pueden practicar tareas específicas que enfrentan en su vida diaria, como hacer compras, cocinar o cruzar la calle, lo que ayuda a enfocar la terapia en las limitaciones particulares causadas por los déficits neuropsicológicos.

Además, la realidad virtual inmersiva facilita un enfoque personalizado en la rehabilitación, adaptando los niveles de dificultad y los objetivos terapéuticos a las necesidades individuales de cada paciente. Los terapeutas pueden monitorear en tiempo real el desempeño del paciente, ajustando el programa de rehabilitación según el progreso observado. Esta modalidad también permite la repetición constante de actividades en un entorno controlado y seguro, lo cual es fundamental para la neuroplasticidad y la recuperación cognitiva.<sup>(15)</sup>

Estudios han demostrado que la neuromodulación es una de las técnicas más eficaces para abordar las secuelas neurofisiológicas de un daño cerebral. En particular, ha sido efectiva para disminuir la actividad excesiva del EEG de la onda delta, una frecuencia cerebral asociada con el sueño profundo y la inactividad cortical. En pacientes con conmociones cerebrales, la hiperactividad de estas ondas puede ser indicativa de un estado cerebral anómalo, que contribuye a una variedad de síntomas debilitantes.<sup>(14)</sup>

La neuromodulación, que incluye técnicas como la estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) y la estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS), ha demostrado reducir eficazmente síntomas como el dolor y las cefaleas crónicas, que son comunes tras una lesión cerebral. Además, estas técnicas pueden mitigar otros síntomas post-conmocionales como mareos, depresión y ansiedad, que afectan significativamente la calidad de vida de los pacientes. Por ejemplo, un estudio sobre “Neuromodulación en cefaleas Y neuralgias craneofaciales” encontró que la EMTr mejoró los síntomas de depresión y ansiedad en pacientes con lesión cerebral traumática, al mismo tiempo que redujo la actividad anómala del EEG (16).

Es importante destacar que la neurorrehabilitación debe ofrecer todo tipo de alternativas de tratamiento como sea posible en términos de frecuencia, duración e intensidad. Además, es fundamental que los profesionales sanitarios identifiquen las tecnologías que pueden ser útiles en el proceso de recuperación de cada paciente, individualizar el tratamiento y lograr adherencia al mismo por parte del paciente. La neurorehabilitación juega un papel decisivo en la recuperación de pacientes con traumatismo craneoencefálico (TCE), dado que estas lesiones afectan tanto la estructura como la función del cerebro.

A través de intervenciones específicas, como la fisioterapia, la terapia ocupacional y la terapia del lenguaje, se puede estimular la plasticidad neuronal. Estudios han demostrado que programas intensivos de rehabilitación física pueden mejorar significativamente la movilidad y la coordinación en pacientes con hemiparesia post-traumática.<sup>(5)</sup> Investigaciones recientes han mostrado que la estimulación cognitiva y las terapias basadas en la neuroplasticidad pueden promover la recuperación funcional en áreas afectadas por el TCE. Por ejemplo, la terapia de lenguaje ha demostrado ser eficaz en pacientes con afasia post-traumática, mejorando su capacidad para comunicarse y comprender el lenguaje.<sup>(17)</sup>

Además, la neurorehabilitación personalizada, que se adapta a las necesidades específicas de cada paciente, puede optimizar los resultados terapéuticos. La inclusión de técnicas avanzadas, como la neuroestimulación no invasiva y la realidad virtual, ha mostrado mejoras significativas en la recuperación de funciones motoras y cognitivas. Estas intervenciones no solo facilitan la recuperación física, sino que también contribuyen al bienestar emocional y la reintegración social del paciente, subrayando la importancia de un enfoque holístico en la neurorehabilitación tras un TCE.<sup>(12)</sup>

## CONCLUSIONES

La neuroplasticidad es una herramienta fundamental para la recuperación de lesiones cerebrales post traumáticas, debido a la capacidad para regenerarse estructural y fisiológicamente en dependencia de los factores que presente el paciente.

Existen dos tipos de plasticidad que dependen de mecanismos estructurales, funcionales y bioquímicos.

En las injurias post traumáticas el tratamiento de elección es la neurorrehabilitación que ha implementado avances tecnológicos individualizados a cada paciente para favorecer su calidad de vida después de la lesión cerebral a la que fueron sometidos.

Los especialistas entrevistados han coincidido en que la combinación de técnicas de neurorrehabilitación



ha favorecido la mejoría de los pacientes, logrando avances significativos en su recuperación. La selección de técnicas personalizadas según el diagnóstico ha resultado de manera satisfactoria, destacando el valor terapéutico de la neuro rehabilitación.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Moya-Salazar J, Contreras-Pulache H. ¿Qué neurociencia se va a enseñar cuando se enseña neurociencia? Dos modelos explicativos del cerebro humano. *latreia*. 2022;35(3):349-55. <http://www.scielo.org.co/pdf/iat/v35n3/0121-0793-iat-35-03-349.pdf>
2. Echavarría-Restrepo LG, Gallego-Mejía A, Gómez-Londoño M, Merino-Correa SC. Efectos de las lesiones del sistema nervioso sobre la fisiología de la micción. *Ces Medicina*. 2019;33(3):182-91. <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v33n3/0120-8705-cesm-33-03-182.pdf>
3. Ríos IDP, Collazos JEM. Envejecimiento neural, plasticidad cerebral y ejercicio: Avances desde la óptica de fisioterapia. *Archivos de Medicina (Manizales)*. 2020;20(1):188-202. <https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/archivosmedicina/article/view/3459/5451>
4. Rodríguez-García ME, Marín-Arriaga N, Macías-Arriaga SG, Salazar-Cárdenas B, Ramírez-Rodríguez T, Aparicio-Jiménez VH, et al. Técnicas de Neuroimagenología en la Cuantificación de la Neuroplasticidad en Pacientes con Enfermedad Vasculare Cerebral. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*. 2023;44(2):52-73. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmib/v44n2/2395-9126-rmib-44-02-1345.pdf>
5. Noé E, Gómez A, Bernabeu M, Quemada I, Rodríguez R, Pérez T, et al. Guía: Principios básicos de la neurorrehabilitación del paciente con daño cerebral adquirido. Recomendaciones de la Sociedad Española de Neurorrehabilitación. *Neurología*. 2021;39(3):261-81. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485321001377>
6. Jiang M, Jang SE, Zeng L. The effects of extrinsic and intrinsic factors on neurogenesis. *Cells*. 2023;12(9):1-30. <https://www.mdpi.com/2073-4409/12/9/1285>
7. Rosselli M. Bilingüismo, Cognición y Plasticidad Cerebral. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*. 2021;21(1):1-24. <http://revistaneurociencias.com/index.php/RNNN/article/view/4/2>
8. Morales-Morales LA, Lucio-Ramos YJ. Plasticidad cerebral y gamificación en el proceso de enseñanza aprendizaje dentro de las ciencias sociales. *CIENCIAMATRIA*. 2022;8(3):583-96. <https://www.ojs.cienciamatriarevista.org.ve/index.php/cm/article/view/792/1281>
9. Suárez DLO, Márquez DDB, España VEM, Méndez ASV. Plasticidad cerebral: Como el cerebro se adapta y cambia en repuestas a diferentes estímulos. *E-IDEA 40 Revista Multidisciplinar*. 2023;5(17):16-28. <https://revista.estudioidea.org/ojs/index.php/mj/article/view/282/381>
10. Torrealba E, Aguilar-Zerpa N, Garcia-Morales P, Díaz M. Compensatory mechanisms in early Alzheimer's disease and clinical setting: the need for novel neuropsychological strategies. *Journal of Alzheimer's disease reports*. 2023;7(1):513-25. <https://content.iospress.com/download/journal-of-alzheimers-disease-reports/adr220116?id=journal-of-alzheimers-disease-reports%2Fadr220116>
11. de la Victoria Rosales M. Neurociencias y salud mental: presentación teórica del concepto plasticidad neuronal. *VidayÉtica*. 2023;25(1):25-33. <https://e-revistas.uca.edu.ar/index.php/VyE/article/view/4755/4874>
12. Rebolledo FA. ¿ La rehabilitación mejora la función del cerebro dañado a través de la plasticidad cerebral y la regeneración neurológica? Parte 1. *Plasticidad y Restauración Neurológica*. 2021;8(1):19-27. <https://www.medigraphic.com/pdfs/plasticidad/prn-2021/prn211d.pdf>
13. Bonanno M, De Luca R, De Nunzio AM, Quartarone A, Calabrò RS. Innovative technologies in the neurorehabilitation of traumatic brain injury: a systematic review. *Brain sciences*. 2022;12(12):1-21. <https://www.mdpi.com/2076-3425/12/12/1678>
14. Buhagiar F, Fitzgerald M, Bell J, Allanson F, Pestell C. Neuromodulation for mild traumatic brain injury rehabilitation: a systematic review. *Frontiers in human neuroscience*. 2020;14:1-13. <https://www.frontiersin.org>

org/journals/human-neuroscience/articles/10.3389/fnhum.2020.598208/full

15. Prieto PC, García DS, Carral JMC, Fuentes GR. Estado actual de la realidad virtual inmersiva como herramienta de rehabilitación física y funcional en pacientes con enfermedad de Parkinson: Revisión sistemática. Revista de neurología. 2021;73(10):358-67. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8161993>

16. Belvís R, Irimia P, Seijo-Fernández F, Paz J, García-March G, Santos-Lasaosa S, et al. Neuromodulación en cefaleas Y neuralgias craneofaciales: Guía de la Sociedad Española de Neurología Y de la Sociedad Española de Neurocirugía. Neurología. 2021;36(1):61-79. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485320301316>

17. Calderón-Chagualá JA, Montilla-García MÁ, Gómez M, Ospina-Viña JE, Triana-Martínez JC, Vargas-Martínez LC. Rehabilitación neuropsicológica en daño cerebral: uso de herramientas tradicionales y realidad virtual. Revista mexicana de neurociencia. 2019;20(1):29-35. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmn/v20n1/1665-5044-rmn-20-1-29.pdf>

### FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

*Conceptualización:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez. *Curación de datos:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Análisis formal:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Investigación:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Metodología:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Administración del proyecto:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Redacción - borrador original:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.

*Redacción - revisión y edición:* Piedad Elizabeth Acurio Padilla, Fernanda Latorre Barragán, Olivia Elizabeth Altamirano Guerrero, Cristina Elizabeth Barragán Martínez.