



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
SUPERIORES UNIDAD LEÓN**

**TEMA:**

**“APLICACIÓN DE TERAPIA DE ESPEJO POR MEDIO DE  
LENTE DE REALIDAD VIRTUAL EN MIEMBRO SUPERIOR  
PARÉTICO SUBSECUENTE A EVENTO VASCULAR  
CEREBRAL: UN ESTUDIO CUASIEXPERIMENTAL”**

**MODALIDAD DE TITULACIÓN:**

***ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN***

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

***LICENCIADO EN FISIOTERAPIA***

**P R E S E N T A:**

**LUZ REGINA MANRIQUE GUTIÉRREZ**

**TUTORA:**

**MTRA. LAURA NATALIA CASAS CASTILLO**

**ASESORA:**

**DRA. ALINE CRISTINA CINTRA VIVEIRO**



**ENES UNAM  
UNIDAD LEÓN**

**LEÓN, GUANAJUATO. 2024**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

A la UNAM, la máxima casa de estudios y mi alma mater, por haberme dado la oportunidad de formar parte de la comunidad estudiantil e infundirme con tanta pasión el orgullo puma.

A la ENES León, mi segundo hogar, por permitirme formarme como profesional de la salud dentro de sus instalaciones y generar en mí el gusto por investigar y nunca dejar de aprender.

A la Clínica de Fisioterapia, por permitir la realización de este estudio y por haber sido testigo de cómo me enamoré profundamente de la Fisioterapia durante cada terapia, cada paciente, cada práctica y cada momento dentro de ella.

A la Licenciatura en Fisioterapia, por haberme enseñado a soñar tan alto, por confirmarme mi vocación y mi pasión de vivir al servicio de los demás.

A la Revista Mexicana de Fisioterapia, por haberme dado el honor de publicar mi artículo científico en su edición número 13.

A la Dra. Laura Susana Acosta, por ser un ejemplo de los lejos que se puede llegar como mujer y profesional de la salud.

A la Dra. Aline Viveiro, por haber sembrado en mí el amor y la pasión por la Fisioterapia Neurológica.

A la Mtra. Natalia Casas, por haberme dado la oportunidad de materializar este sueño.

A los Maestros Adrián Elías y Rodolfo Vilches, por haber creído en mí proyecto y ayudarme a concretarlo.

A mi hermano Gabriel, por contagiarme las ganas de siempre superarme y guiarme en la correcta redacción de este manuscrito.

A mis amigas y compañeras del Servicio Social y a cada uno de los alumnos de la Licenciatura en Fisioterapia, por todo el apoyo que me brindaron durante la realización del protocolo.

## DEDICATORIAS

---

A Dios, por haber plantado este sueño en mi mente y en mi corazón, por haberme dado las herramientas para hacerlo suceder en su tiempo perfecto.

A mi familia, por ser mi motor, mi hogar, mi refugio.

A mi mamá, la guerrera más grande que se ha cruzado en mi camino, por resurgir de la adversidad, por darme el mayor ejemplo de lucha, fortaleza y resiliencia. Todo esto fue por ti.

A mi papá, mi proveedor más grande de alas, la raíz más fuerte de mis cimientos y el amor más grande de mi vida. Gracias por siempre creer en mí e impulsarme para salir adelante.

A mi abuela, por su apoyo económico y moral en este proyecto, por tenerme siempre en sus oraciones y por haberme brindado consuelo cuando las cosas se pusieron difíciles.

A mis hermanos, por ser mis compañeros de vida y el mejor regalo que la vida me ha dado.

A mis pacientes, por confiar y creer conmigo, por darme la oportunidad de hacer la magia suceder, por su gran disposición y tiempo brindado en pro de la ciencia.

A mis mejores amigas, por acompañarme incondicionalmente en el camino.

A la Fisioterapia, por haberme elegido, por darme las mayores satisfacciones de mi vida. Prometo seguir poniendo tu nombre muy en alto.

A mi niña interior, porque hoy le puedo decir que lo logramos.

***-Lo "imposible" sólo cuesta un poco más.***

## ÍNDICE

---

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
MARCO TEÓRICO.....	10
<b>Evento Vascular Cerebral</b> .....	10
<b>Plasticidad cerebral</b> .....	11
<b>Neuronas espejo</b> .....	12
<b>Circuito de activación de neuronas espejo</b> .....	13
<b>Terapia de espejo</b> .....	14
<b>Realidad virtual</b> .....	16
<b>Fisiología</b> .....	17
ANTECEDENTES .....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	22
JUSTIFICACIÓN .....	24
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	26
HIPÓTESIS.....	27
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	28
<b>Objetivo general</b> .....	28
<b>Objetivos específicos</b> .....	28
METODOLOGÍA.....	29
<b>Tipo de estudio</b> .....	29
<b>Criterios de selección</b> .....	29
<b>Aspectos éticos</b> .....	29
<b>Descripción de la intervención</b> .....	29
<b>Descripción de las variables</b> .....	31
<b>Estadística</b> .....	32
RESULTADOS .....	33
DISCUSIÓN.....	38
<b>Limitaciones del estudio</b> .....	40

CONCLUSIÓN .....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS .....	50

## RESUMEN

---

**Objetivo:** Determinar la efectividad de la aplicación de la terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual como tratamiento neurorrehabilitador para pacientes con secuelas crónicas motoras del miembro superior subsecuente a un EVC. **Método:** Se realizó un estudio cuasiexperimental longitudinal prospectivo en 8 pacientes con diagnóstico de EVC y hemiparesia de miembro superior. Durante la intervención se utilizaron lentes de realidad virtual acoplados a un smartphone a través de los cuales la imagen observada era invertida en espejo, por lo tanto, el movimiento realizado por el miembro superior sano era visualizado como si el miembro superior parético fuera el que lo ejecutara, provocando su activación neuromuscular y replicación del movimiento debido a la ilusión óptica generada por la observación del entorno en espejo. El estudio se llevó a cabo a lo largo de 8 semanas, con un total de 18 sesiones de terapia. **Resultados:** Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los rangos de movimientos de hombro, codo y muñeca posterior al tratamiento; en la fuerza muscular en movimientos de hombro y muñeca; en el tono muscular en la articulación de hombro; y del reflejo tricipital. Considerando un nivel de significancia estadística de  $\alpha \leq 0.05$ . De igual manera, se hallaron cambios clínicos durante cada sesión de terapia como presencia de fasciculaciones, hipertermia, hiperestesia, hiperhidrosis en palma y dorso de la mano, así como activación neuromuscular y replicación del movimiento con el miembro superior parético. **Conclusión:** Acorde a los datos obtenidos en este estudio, la aplicación de la terapia de espejo a través de lentes de realidad virtual resulta efectiva para la recuperación de las secuelas del miembro superior parético, y su aplicación a futuro podría representar una alternativa terapéutica en la neurorrehabilitación de pacientes con EVC crónico, abriendo la brecha a continuar investigándose debido a que es una intervención novedosa.

**Palabras clave—** Terapia de espejo, realidad virtual, neurorrehabilitación, miembro superior parético, EVC.

## ABSTRACT

---

**Objective:** To determine the effectiveness of the application of mirror therapy using virtual reality glasses as a neurorehabilitation treatment for patients with chronic motor sequelae of the upper limb following stroke. **Method:** A prospective longitudinal quasi-experimental study was performed in 8 patients with diagnosis of stroke and upper limb hemiparesis. During the intervention, virtual reality glasses attached to a smartphone were employed to invert the observed image, therefore, the movement performed by the healthy upper limb was visualized as if the paretic upper limb was the one executing it, causing its neuromuscular activation and replication of the movement due to the optical illusion generated by the observation of the mirrored environment. The study was conducted over 8 weeks, with a total of 18 therapy sessions. **Results:** Statistically significant differences were found in post-treatment range of shoulder, elbow and wrist movements; muscle strength in shoulder and wrist movements; muscle tone in the shoulder joint; and tricipital reflex. Considering a statistical significance level of  $\alpha \leq 0.05$ . Also, clinical changes were found during each session, such as fasciculations, hyperthermia, hyperesthesia, hyperhidrosis in the palm and dorsum of the hand, as well as neuromuscular activation and replication of movement with the paretic upper limb. **Conclusion:** According to the data obtained in this study, the application of mirror therapy through virtual reality glasses is effective for the recovery of the sequelae of the paretic upper limb, and its future application could represent a therapeutic alternative in the neurorehabilitation of patients with chronic CVE, opening the way for further research due to the innovative factor of the intervention.

**Keywords—** Mirror therapy, virtual reality, neurorehabilitation, paretic upper limb, stroke.



## INTRODUCCIÓN

---

El Evento Vascular Cerebral (EVC) es una afección de origen vascular, ya sea isquémico o hemorrágico, que se presenta de forma aguda con signos clínicos focales o globales produciendo disfunción cerebral (1, 2). Cada año alrededor de 15 millones de personas en el mundo sufren un EVC, provocando la muerte de 5 millones y dejando secuelas permanentes en otros 5 millones (3). Se estima que 1 de cada 4 adultos sufrirá un EVC a lo largo de su vida, siendo esta la segunda causa de muerte a nivel global y la primera causa de discapacidad a largo plazo (4).

Posterior a un EVC se presentan diversas secuelas tanto a nivel físico, cognitivo y/o emocional, produciendo pérdida o deficiencia de las habilidades motoras de miembros superiores, miembros inferiores o ambos, dando lugar a debilidad/paresia o parálisis/plejía del hemicuerpo contralateral al lado afectado a nivel cerebral (5). La rehabilitación es un componente importante para la recuperación de las secuelas, ya que facilita el proceso de reintegración del paciente a sus actividades de la vida diaria humana (AVDH), aumentando su calidad de vida (6). Dicho mecanismo de recuperación se da por medio de la neuroplasticidad, que es la capacidad que tiene el tejido nervioso para remodelar y generar nuevas conexiones neuronales, mediante estímulos constantes y continuos, a través de actividades y ejercicios que pueden ser dados por medio de la neurorrehabilitación (7).

La terapia de espejo (TE) es una alternativa terapéutica, diseñada en primera instancia por Ramachandran y colaboradores para disminuir el dolor fantasma en amputados (8). Posteriormente Altschuler, et al. (1999) adaptó la terapia de espejo para la recuperación de la hemiparesia subsecuente a un EVC, la cual se basa en la estimulación visual para asistir la recuperación del sistema motor por medio de la ilusión óptica que se genera en el espejo por el miembro sano, supliendo la representación motora del miembro páretico (9). La ilusión óptica del espejo aumenta la excitabilidad de la vía corticoespinal y los patrones de activación concuerdan con aquellos que son activados al llevar a cabo una tarea motora manual, los cuales son el giro precentral (M1) y postcentral (S1) de manera bilateral, así como el giro frontal medio-superior, la unión entre el surco frontal superior y el surco precentral, y el cerebelo (10).

La neurorrehabilitación está pasando por una revolución tecnológica y busca potenciar el reaprendizaje de las habilidades motoras dañadas o perdidas del paciente neurológico a través de sistemas innovadores de realidad virtual (RV) con el fin de apoyar los procesos de recuperación, generando entornos de estimulación multimodal que provocan mayor activación motora que los tratamientos convencionales (11), como la observación de imágenes en espejo con RV que al crearse una representación coherente del entorno virtual se integran dentro del esquema corporal con la misma sensación de pertenencia como cuando se observan imágenes en espejo en la TE convencional (12).

Sin embargo, a través de la TE por medio de RV se genera una experiencia simulada lo más parecida a la vida real, logrando una mayor integración del movimiento a nivel encefálico, por medio de la vía visual que activa el área somatosensorial, premotora y motora, para generar

movimiento voluntario (13). De igual manera el cerebelo activa sus funciones tanto de equilibrio, coordinación y premonición de movimiento que junto con el hipocampo potencian el proceso de aprendizaje, siendo la activación de estas áreas las responsables de que exista mejora asociada a la RV (14).

### Evento Vascular Cerebral

El Evento Vascular Cerebral (EVC) es un disturbio caracterizado por un rápido desarrollo de signos clínicos focales o globales de disfunción cerebral, con duración mayor a 24 horas que puede resultar en la muerte sin mayor causa aparente que de origen vascular (1).

Cada año alrededor de 15 millones de personas en el mundo sufren un EVC, provocando la muerte de 5 millones y dejando secuelas permanentes en otros 5 millones (3). Se estima que 1 de cada 4 adultos sufrirá un EVC a lo largo de su vida, siendo esta la segunda causa de muerte a nivel global y la primera causa de discapacidad a largo plazo (4).

Existen factores de riesgo modificables y no modificables que pueden conducir a que se presente un EVC. Dentro de los factores no modificables se encuentran la edad, con mayor prevalencia después de los 39 años y mayor incidencia después de los 49 años, así como el sexo y factores genéticos (15). Mientras que los factores modificables son hipertensión arterial sistémica (HAS), diabetes mellitus (DM), hiperlipidemias, cardiopatías, sedentarismo, obesidad, dieta no balanceada, tabaquismo, alcoholismo, estrés, depresión. Siendo la HAS el factor de riesgo más importante (16).

El EVC se clasifica como isquémico y hemorrágico, siendo el primero el de mayor incidencia ya que representa un 71% de los EVC que ocurren a nivel global, este se describe como un infarto cerebral, mientras que el hemorrágico da lugar a hemorragias a nivel intracerebral y subaracnoideo (2).

La fisiopatología de un EVC se explica ya que este genera una reducción en el suministro de oxígeno al cerebro, lo cual genera severas consecuencias a nivel celular y molecular, ya que afecta la función tanto neuronal como glial y genera inflamación y alteraciones vasculares, puesto que la función neuronal depende de la disponibilidad de ATP, la cual a la vez requiere del suministro constante de oxígeno y glucosa al cerebro, por lo tanto cuando este suministro se ve interrumpido las neuronas no pueden mantener su gradiente transmembranal provocando una disfunción de su señalización habitual (17). Por otro lado la despolarización anóxica de las terminales presinápticas, que se da de manera súbita cuando el suministro sanguíneo hacia el cerebro se ve discontinuado, produce la liberación de distintos neurotransmisores como glutamato que en concentraciones mayores a lo habitual resulta ser citotóxico (18), asimismo el receptor NMDA que regula el potencial de membrana se ve afectado ya que en condiciones normales el canal para abrir el receptor NMDA se encuentra cerrado por medio del magnesio extracelular, sin embargo en la despolarización súbita el magnesio es retirado y aumenta significativamente la conducción, provocando liberación de calcio sin restricción, resultando en concentraciones elevadas de calcio a nivel intracelular lo cual activa procesos dependientes del calcio como la síntesis de óxido nítrico cuyo desecho es la producción de radicales libres provocando muerte celular por apoptosis, necrosis, necroptosis y autofagocitosis (6\_19).

Posterior a un EVC se presentan diversas secuelas según el área donde haya ocurrido la lesión cerebral, así como la severidad y duración del EVC. Estas secuelas pueden presentarse tanto a nivel físico, cognitivo y/o emocional, siendo que a nivel físico se presenta la pérdida o deficiencia de las habilidades motoras de miembros superiores, miembros inferiores o ambos, dando lugar a debilidad/paresia o parálisis/plejía del hemicuerpo correspondiente al lado afecto a nivel cerebral. Otro tipo de secuelas provocadas por el EVC son pérdida de la percepción visual y del campo visual, disfagia, apraxia de lenguaje, incontinencia urinaria, dolor articular y neuropático, ya que el cerebro pierde la capacidad de interpretar correctamente la señales sensitivas a los estímulos generados sobre el miembro afectado. Las secuelas cognitivas son afasia de Broca o de Wernicke, pérdida de la memoria, demencia vascular, incapacidad para leer, pensar o razonar; provocando que las actividades mentales de la vida diaria sean todo un reto, lo cual suele generar problemas emocionales como cuadros depresivos, desmotivación y fatiga mental (5).

Entre muchos otros factores, la severidad del EVC está relacionada al tipo de vaso sanguíneo afectado, siendo los EVCs corticales en los que se suele afectar una arteria de gran calibre como la arteria carótida interna o la arteria cerebral media, y en los subcorticales una arteria perforante o arteriola. Por la naturaleza y tamaño del área implicada, los pacientes con EVCs corticales tienen una menor funcionalidad y una debilidad motora más severa (20, 21).

Alrededor de un tercio de los pacientes que sufren un EVC quedan permanentemente discapacitados y la mitad queda con secuelas motoras y movilidad reducida, secundario a la hemiplejía o hemiparesia, tono muscular anormal y afección somatosensorial (22, 23), siendo el miembro superior el más afectado por ser la arteria cerebral media la más frecuentemente involucrada (24). Se ha observado que iniciar tempranamente la terapia de rehabilitación tiene un impacto positivo en el nivel funcional del paciente (25), al promover la plasticidad neuronal, siendo este el principal mecanismo de recuperación neuronal (26). Algunas técnicas utilizadas incluyen el entrenamiento intensivo bimanual mano-brazo, la terapia de restricción del lado sano y entrenamiento sensoriomotor (27, 28).

## **Plasticidad cerebral**

Como se mencionó anteriormente, las secuelas generadas posterior a un EVC son dadas según la extensión y región de isquemia cerebral, por lo tanto la rehabilitación es un componente importante para la recuperación de estas, ya que facilita el proceso de reintegración del paciente a sus AVDH, aumentando su calidad de vida, así como la de sus cuidadores, familia y de la sociedad en general (6).

Dicho mecanismo de recuperación se da por medio de la plasticidad cerebral o neuroplasticidad, la cual es la capacidad que tiene el tejido nervioso para remodelar y generar nuevas conexiones neuronales, por medio de las áreas no afectadas, sanas y conservadas con el fin de relevar la parte dañada y reemplazar aquellas funciones que se perdieron a causa del EVC. La plasticidad cerebral se produce a través de brotación neuronal local, sinaptogénesis y fortalecimiento de la transmisión

sináptica residual, dadas por medio de proteínas de factor de crecimiento neuronal que juegan un papel importante para la transmisión sináptica y la síntesis de neurotransmisores (7).

Para generar mayor neuroplasticidad es necesario someter al tejido cerebral a estímulos constantes y continuos, a través de actividades y ejercicios que pueden ser dados por medio de la rehabilitación en fisioterapia (29).

Cabe mencionar que subsecuente a un EVC las áreas circundantes a la lesión entran en un estado llamado “penumbra” que consiste en una disminución del flujo sanguíneo, lo cual genera un riesgo de isquemia, sin embargo se puede preservar una vez que la reperfusión ocurra, dando lugar a una reorganización tanto funcional como estructural, ya que durante este periodo aumenta la neuroplasticidad por medio de neurogénesis y migración de neuronas inmaduras desde el área subventricular (30).

Posterior a una lesión cerebral, existen distintos tipos de mecanismos de neuroplasticidad cerebral que se pueden generar, por ejemplo: Diasquisis, donde la recuperación funcional se da por medio de la activación de áreas remotas al sitio de lesión (31). Supersensibilidad de denervación, donde incrementa la respuesta neuronal por un aumento de la sensibilidad a ciertos neurotransmisores, como consecuencia de la disminución de las aferencias (32). Desenmascaramiento, donde ciertas redes neuronales que habitualmente se encuentran inhibidas se activan por medio de antagonistas del GABA en respuesta a una lesión cerebral (33). Potenciación a largo plazo, donde se genera una reorganización sináptica que fortalece las conexiones ya existentes y genera el brotamiento de nuevas redes neuronales, a través del glutamato que se une a receptores postsinápticos para la entrada de Calcio, generando cambios intracelulares que consolidan la neurogénesis (34). Ramificación o sinaptogénesis reactiva, donde se genera interconexión neuronal a través de proteínas como laminina, integrina y cadherinas, que guían el desarrollo dendrítico (35). Y neurotransmisión por difusión sináptica, donde aumenta el número de receptores de membrana extrasinápticos posterior a la destrucción de vías dopaminérgicas, dadas por un EVC (36).

## **Neuronas espejo**

Rizzolatti y colaboradores (37) reportaron la existencia de una nueva clase de neuronas en monos macacos, fueron localizadas en la corteza premotora, particularmente en el área F5, las cuales se activaban cuando el mono realizaba una tarea en particular (como tomar un objeto con la mano) así como cuando el mono observaba la realización de la acción por parte de otro individuo. Este tipo de neuronas visomotoras fueron nombradas como “neuronas espejo” y se les atribuye el entendimiento del comportamiento, ya que proveen información relacionada a la interpretación de las intenciones y objetivos de las acciones realizadas por el individuo al que se observa (38).

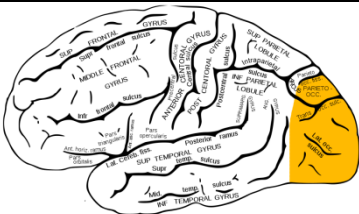
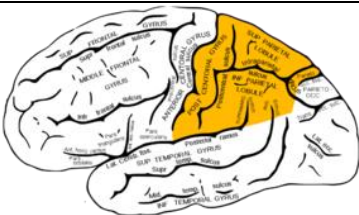
De igual manera, en humanos se ha demostrado que existe activación de la corteza motora a la observación de una acción realizada por otro humano, esto a través de estudios neurofisiológicos

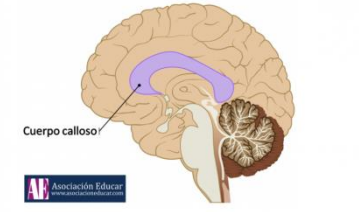
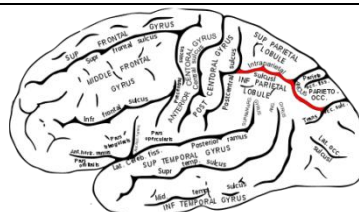
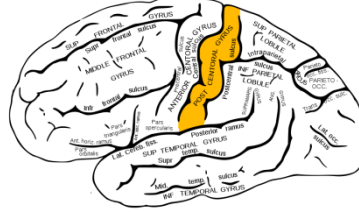
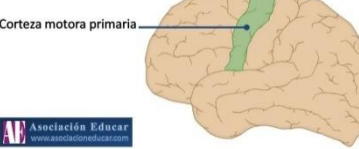
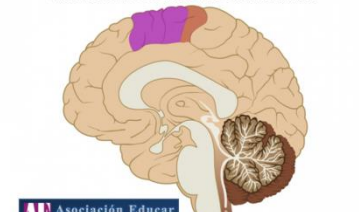
realizados por Gastaut (39) en los años 50, en los cuales por medio de electroencefalograma (EEG) observó un cambio en el ritmo mu (que es la expresión de actividad eléctrica que se registra en el área motora del cerebro), ya que las derivaciones centrales del EEG muestran una desincronización similar al llevar a cabo una acción específica y al observar la misma acción realizada por otro individuo.

El mecanismo por el cual las neuronas espejo logran traducir y entender las acciones realizadas por otro individuo se basa en lo siguiente, cada vez que un individuo observa la realización de cierta acción, las neuronas que representan la acción observada se activan en la corteza premotora del individuo que observa, lo cual automáticamente genera la representación de la acción observada, así como cuando se lleva a cabo el movimiento de manera activa, este mecanismo activa toda un red neuronal en el lóbulo occipital, temporal, áreas visuales del parietal, parte rostral del lóbulo parietal inferior, parte inferior del giro precentral y parte posterior del giro frontal inferior, todas estas regiones forman el sistema de neuronas espejo (40).

### Circuito de activación de neuronas espejo

La activación de dicho circuito se da en primera instancia a través de la vía visual durante la observación de una acción, esta información visomotora llega al giro occipital superior para luego ascender hacia la corteza parietal posterior donde se encuentra la primera área de procesamiento visomotor. Esta información decusa a través de la conexión interhemisférica del cuerpo calloso para llegar al surco intraparietal anterior donde se localiza la segunda área de procesamiento visomotor. La corteza somatosensorial es activada de manera inmediata, mientras que la corteza motora primaria se activa de manera variable y conforme a la exposición prolongada de repeticiones mantenidas en el tiempo se genera la activación de la corteza premotora (41) (tabla 1).

Información visomotora	Giro occipital superior	
Primer área de procesamiento visomotor	Corteza parietal posterior	

Conexión interhemisférica	Activación del cuerpo calloso	
Segunda área de procesamiento visomotor	Surco intraparietal anterior	
Activación inmediata	Activación de corteza somatosensorial	
Activación variable	Activación de corteza motora primaria	
Activación por repeticiones mantenidas	Activación de corteza premotora	

**Tabla 1.-** Se muestra gráficamente el mecanismo y el área de activación que se produce dentro del circuito de las neuronas espejo.

## Terapia de espejo

Se estima que del 55 al 75% de supervivientes a un EVC presentan un miembro superior parético que puede mejorar conforme el paso de los meses, sin embargo del 30 al 60% de los individuos no recuperan la función del brazo y únicamente del 5 al 20% logran una recuperación funcional total (41), sin embargo un entrenamiento intensivo puede mejorar aún más la función motora ya que se genera una mayor reorganización cortical (42). Por lo tanto la TE es una alternativa apropiada, la cual fue diseñada en primer lugar por Ramachandran y colaboradores (9) para disminuir el dolor fantasma en amputados, puesto que el reflejo en el espejo del miembro superior afectado daba la percepción al paciente de poder mover ambos brazos lo cual generaba una disminución del dolor,

y en 1999 Altschuler y colaboradores (43) adaptaron la terapia de espejo para la recuperación de la hemiparesia subsecuente a un EVC.

La TE ha sido propuesta como una alternativa de tratamiento para la rehabilitación subsecuente a un EVC, la cual se basa en la estimulación visual para asistir la recuperación del sistema motor por medio de la ilusión óptica que se genera por el miembro sano supliendo la imagen motora del miembro pártico, el cual simula tener movimiento normal ya que al colocar un espejo en el plano medio-sagital del paciente se refleja el miembro sano como si fuera el miembro pártico (9).

Cabe destacar que la TE se sustenta neurofisiológicamente ya que se ha demostrado que la observación de una acción y la realización de esta, comparten una activación similar de áreas motoras corticales, además el reflejo del movimiento de un hemicuerpo a través de un espejo genera una activación del hemisferio contralateral del miembro que genera el movimiento y adicional a esto la ilusión óptica del espejo aumenta la excitabilidad de la vía corticoespinal. Asimismo ya que la percepción visual del miembro pártico en movimiento a través del espejo es percibido como propio, se puede prevenir y hasta revertir el “fenómeno de no uso” del miembro pártico y adicional a esto la modulación corticomuscular que se da, genera que se estimule la recuperación motora (12).

Durante la TE los patrones de activación esperados concuerdan con aquellos que son activados al llevar a cabo una tarea motora manual, ya que se activan el giro precentral (M1) y postcentral (S1) de manera bilateral, el giro frontal medio-superior, la unión entre el surco frontal superior y el surco precentral, así como el cerebelo (10).

Se ha demostrado a través de estudios de neuroimagen que la TE puede provocar la activación cortical del hemisferio contralateral del brazo reflejado aunque no exista movimiento, así como distintos cambios a nivel cortical inducidos por medio de este abordaje terapéutico, provocando la recuperación de la función motora del miembro afectado en pacientes crónicos con discapacidad de leve a moderada, razón por la cual se ha promovido la utilización de la TE como herramienta terapéutica para la rehabilitación sensoriomotora posterior a un EVC (44).

De hecho, algunos estudios han encontrado que la TE tiene efectos positivos ante las secuelas somatosensoriales provocadas por el EVC y de igual manera reduce la negligencia visoespacial unilateral por medio del constante estímulo visual que genera la observación del movimiento a través del espejo, asimismo la normalización sensorial a nivel central que se produce al proveer una imagen fisiológica y funcional dentro del esquema corporal genera disminución de dolor provocado por el fenómeno del “miembro fantasma” (45).

Una de las ventajas de la TE es que se ha demostrado que es un tratamiento efectivo para la hemiparesia subsecuente a un EVC (43), y recientemente se ha descrito una variante de la TE por medio de video o una imagen a través de gráficos computarizados que simulan el movimiento de la extremidad, presentada como si fuera la opuesta (46).



## Realidad virtual

La neurorrehabilitación está pasando por una revolución tecnológica en la cual grupos multidisciplinarios están trabajando en conjunto para desarrollar sistemas y aparatos innovadores con el fin de apoyar los procesos de recuperación del paciente neurológico, ya que se ha observado que a pesar de que los programas convencionales de rehabilitación son efectivos para la recuperación posterior a un EVC, siguen quedando remanentes de las secuelas, provocando limitaciones que generan discapacidad en mayor o menor grado, por lo tanto se está buscando potenciar el reaprendizaje de las habilidades motoras a través de RV (11).

En términos generales dentro del ámbito de la neurorrehabilitación, la RV se ha utilizado como una herramienta que potencia la integración multisensorial, ya que esta ofrece la estimulación de diversos canales sensoriales a la par, provocando mayor activación que los tratamientos convencionales, debido a que la activación motora producida a través del entrenamiento con RV tiene la capacidad de producir recuperación motora y funcional significativas, puesto que aumenta el reaprendizaje de patrones motores en pacientes con alteraciones neurológicas (47, 48).

Específicamente los entornos propiciados por la RV se basan en la estimulación sensorial multimodal, lo cual promueve la integración simultánea a nivel cerebral de varios inputs sensoriales, por lo tanto es una herramienta terapéutica prometedora ya que genera una integración multisensorial, esto quiere decir que se combinan entre sí los sistemas visual, auditivo, táctil, propioceptivo, entre otros, mediante procesos “bottom-up” por medio de las aferencias que van del sistema nervioso periférico (SNP) hacia el sistema nervioso central (SNC), así como procesos “top-down” con eferencias del SNC hacia el SNP, y a través de ellos y las experiencias previas se genera una representación coherente del entorno virtual (49). Sin embargo se ha observado que el feedback visual proporcionado por algunas herramientas de RV, es suficiente para crear la ilusión virtual y activar los procesos mencionados anteriormente (50).

La observación de imágenes en espejo por medio de RV es procesada de manera similar al movimiento real, ya que estas son integradas dentro del esquema corporal con la misma sensación de pertenencia como cuando se observa el reflejo de la extremidad opuesta en movimiento en la TE convencional, siempre y cuando los factores de tiempo y espacio en los cuales se transmite la RV no se desfasen y permanezcan dentro del umbral del medio real (12).

Por lo tanto generar entornos adaptados por medio de RV con el objetivo de potenciar los procesos de feedback sensorial, control motor y cognitivos, resulta ser una intervención óptima en pacientes neurológicos ya que acelera los procesos de reaprendizaje motor y mejora la motivación y apego al tratamiento ya que es una intervención novedosa (51).

Cabe mencionar que la RV tiene distintas vertientes entre las cuales se encuentra la no inmersiva, inmersiva y mixta. La RV no inmersiva se da por medio de aparatos electrónicos que asisten o simulan una realidad a través de una pantalla, como lo es por ejemplo las consolas de videojuegos, plataforma wii, Kinect, etc., siendo que el usuario imita los movimientos y acciones que ve a través de la pantalla (52). La RV inmersiva es aquella que envuelve al usuario en una realidad

completamente fuera de la realidad y el entorno de la vida diaria, esto se lleva a cabo por medio de lentes de RV, casco virtual, guantes, etc., los cuales al ser colocados transportan al usuario a un ambiente controlado, con visión 360°; en este tipo de RV el usuario logra percibir los movimientos como propios, ya que es este quién controla al sistema operativo y los movimientos no ocurren por imitación sino que son realizados por el usuario, por lo tanto se genera una experiencia simulada lo más parecida a la vida real, logrando una mayor integración del movimiento a nivel encefálico, por medio de la vía visual que activa el área somatosensorial, premotora y motora, para generar movimiento voluntario (13). De igual manera el cerebelo activa sus funciones tanto de equilibrio, coordinación y premonición de movimiento que junto con el hipocampo potencian el proceso de aprendizaje, siendo la activación de estas áreas las responsables de que exista mejora asociada a la RV (14). Por último la RV mixta, combina el entorno real con componentes de RV, esto quiere decir que por medio de gafas de RV mixta el usuario observa su entorno real a la par del componente virtual que se desea utilizar, un ejemplo sería la utilización de las gafas, las cuales con un programa determinado genera una inversión de la imagen observada, por lo tanto se podría trabajar una variante de TE por medio de este componente de inversión, ya que el paciente con secuelas posteriores a un EVC podría experimentar la simulación de movimiento del miembro superior parético, por medio del movimiento generado por el miembro superior sano (53, 54).

## **Fisiología**

Las conexiones sinápticas son sumamente dependientes a la repetición y uso constante de ellas, por lo tanto, si estas no se utilizan ni se estimulan, se genera una reducción de la representación sensoriomotora a nivel cortical, siendo un efecto del fenómeno de no uso, el cual ocurre en aquellos pacientes con hemiparesia/hemiplejía crónica de miembro superior, provocando una disminución de mejoría clínica a nivel sensoriomotor, ya que la falta de movimiento y la parálisis perpetuados a lo largo del tiempo generan un componente aprendido de desuso (55).

La reorganización efectiva de las áreas involucradas para el funcionamiento del brazo ocurre como respuesta a la realización de ejercicio de manera activa y repetitiva, así como a la inclusión del brazo afectado en su componente motor y de atención orientada a movimientos cuyo objetivo es realizar tareas específicas (56), lo cual genera el reaprendizaje motor debido a los cambios a nivel morfológico de las redes y conexiones neuronales a través de la plasticidad cerebral (14).

Se ha encontrado que la TE genera el reclutamiento de las vías ipsilaterales así como de los tractos corticoespinales que son proyectados de manera contralateral desde la corteza motora, mismos que se piensa deben aprovecharse para generar mayor recuperación motora (8).

Existen ciertos factores determinantes para lograr que la rehabilitación del paciente neurológico sea óptima, como por ejemplo la intensidad, o sea la cantidad de veces que se toma terapia, sin embargo el tipo de terapia también es importante debido a que el aprendizaje y la plasticidad a nivel cortical tiene estrecha relación con la práctica, así como con tareas orientadas a un objetivo

en específico. Sin embargo se ha observado que la especificidad de la tarea es significativamente más importante que la intensidad con la que se realiza (57, 58).

Por otro lado, los ejercicios orientados a una tarea específica también deben variar, ya que es más efectivo realizar ejercicios donde la tarea sea alcanzar algún objeto en distintas posiciones, comparado con alcanzar el objeto yendo únicamente del punto A al punto B en cada repetición. Asimismo es importante proporcionar una constante retroalimentación a lo largo de la terapia por parte del terapeuta, a través de comandos verbales y corrección de la técnica con el fin de que el movimiento sea aprendido de manera correcta, a través de tareas que requieran atención y sean significativas durante las AVDH (59, 60).

## ANTECEDENTES

---

Dentro del ámbito fisioterapéutico existen ciertos factores fundamentales que deben propiciarse para lograr una recuperación funcional, cada uno de estos factores es pieza clave para ello y en conjunto trabajan para dar paso a mayor neuroplasticidad, entre ellos se encuentra el aprendizaje motor, alta intensidad de entrenamiento, buena motivación y apego al tratamiento, así como una retroalimentación positiva entre el estímulo y la respuesta que genera (14).

Tener conocimiento acerca de los distintos abordajes terapéuticos, así como de su aplicación y los efectos que producen, es de suma importancia ya que de esto depende dar pauta a qué tipo de tratamiento o combinación de ellos se pueden utilizar, para de esta manera individualizar la intervención fisioterapéutica según las necesidades particulares de cada paciente (41).

El ejercicio terapéutico tiene la capacidad de inducir nuevas conexiones neuronales y reorganización cortical, a través de ejercicios realizados de manera activa cuyo objetivo sea llevar a cabo tareas motoras funcionales como por ejemplo aquellas que impliquen prensión fina y gruesa, transferencias y descargas de peso, etc., logrando mayor funcionalidad y mejor desenvolvimiento en las AVDH (61).

En pacientes con EVC el ejercicio aeróbico y de fortalecimiento muscular es útil ya que mejora el control motor y el reclutamiento neuromuscular, ayuda a regular el tono muscular y favorece la propiocepción y el equilibrio, el ejercicio resistido puede ser administrado mediante el propio peso corporal del paciente y se puede progresar por medio de pesos ligeros o bandas elásticas según sea el avance acorde a un protocolo individualizado y estandarizado a las necesidades de cada paciente (62).

La terapia de restricción del lado sano tiene como objetivo impedir que el miembro superior sano sea utilizado, mismo que es inmovilizado para dar paso a que el miembro superior parético sea utilizado de manera intensiva realizando actividades funcionales de manera repetitiva, con el fin de evitar el aprendizaje por desuso del miembro superior afectado (63). Este tipo de intervención logra generar activación a nivel de cerebelo y corteza somatosensorial del hemisferio lesionado, de igual manera genera disminución de la inhibición transcallosa interhemisférica que ejerce el hemisferio sano sobre la corteza motora perilesional contralateral (64).

Se ha observado que trabajar el patrón de marcha en la banda sin fin tiene beneficios en pacientes crónicos por EVC, incrementando los potenciales motores evocados de miembros inferiores, así como la excitación de las vías motoras en el SNC, esto genera modificaciones a nivel cortical de áreas relacionadas a la dorsiflexión de tobillo (65). De igual manera la suspensión axial del peso durante la marcha en caminadora promueve la integración del ciclo rítmico y automatizado de la marcha, mejorando la cadencia del paso, el patrón, la velocidad y la simetría de la marcha, debido a que la corteza sensoriomotora es activada de manera más uniforme y equilibrada (66).

La terapia a través de dispositivos robóticos ofrece un feedback sensorial a través de la práctica repetitiva e intensiva que se lleva a cabo a través de ellos, los más utilizados para miembro superior son el Robot MIT-Manus, el Robot MIME, el Bi-Manu-Track y el Myomo e100, cuyo objetivo es permitir la libertad de ciertos grados de movimiento para realizar ejercicios de manera pasiva o activo-asistida para pacientes con paresia de leve a severa, y cuentan con softwares que permiten ajustar la asistencia, resistencia, rango y velocidad de movimiento según las necesidades del paciente (31).

Por otro lado, se ha demostrado que para que exista aprendizaje y reaprendizaje motor es necesario que se generen cambios en la arquitectura neuronal, lo cual se logra a través de actividades funcionales realizadas a lo largo del tiempo de manera repetitiva y recompensada, mismas que pueden ser abordadas por medio de RV ya que es una herramienta terapéutica complementaria cuyo fin es ayudar a mejorar la función motora (67).

En los últimos años la RV se ha utilizado con mayor frecuencia en patologías de origen neurológico, por lo tanto Mundy et. al., concluyen que la RV ciertamente tiene un futuro prometedor ya que es una herramienta que permite la realización de tratamientos más intensivos, específicamente en pacientes con EVC se ha demostrado mejoras significativas y reaprendizaje motor (68).

De igual manera Laver et. al., evaluaron los efectos de la RV tanto en miembro superior como en miembro inferior, así como la función motora global, función cognitiva y calidad de vida en pacientes crónicos por EVC, encontrando que la RV mejora la recuperación motora y las ADVH (53).

Da Silva Jaques et. al. realizaron un estudio comparativo entre TE convencional vs. TE con RV inmersiva, donde se incluyeron un total de 45 pacientes con secuelas moderadas subsecuentes a un EVC, y observaron que el tratamiento por medio de RV proporciona una inversión completa de la lateralidad corporal, generando una ilusión más eficaz que la TE convencional. De igual manera la inmersión con RV minimiza la probabilidad de distracciones y la ilusión del movimiento del miembro superior parético a través de los lentes de RV activa la corteza motora facilitando el reaprendizaje motor y la neuroplasticidad (69).

Hao et. al. llevaron a cabo una revisión sistemática sobre los efectos de la RV en procesos neuroplásticos para la rehabilitación del EVC, donde se incluyeron 24 estudios, 3 de ellos enfocados a la función del miembro inferior, 1 al entrenamiento del equilibrio y los 20 restantes a la función del miembro superior. Reportan que tras un periodo de intervención con RV los hallazgos neurofisiológicos que se encuentran son mejora de la conexión interhemisférica, mayor conectividad entre distintas áreas funcionales, aumento de la representación cortical de las extremidades afectadas, así como activación del sistema de neuronas espejo (70).

En el estudio de Wei et. al. 32 sujetos fueron divididos de manera aleatoria en dos grupos, ambas intervenciones dadas por medio de TE con RV, en un grupo con asistencia robótica y en otro sin ella. Se concluye que ambas intervenciones resultan prometedoras para mejorar la disfunción

motora del miembro superior en pacientes con EVC, sin embargo la aplicación combinada de TE con RV más asistencia robótica teóricamente podría generar mayor activación neuronal pero resaltan que es necesario seguir investigando antes de que la asistencia robótica pueda utilizarse en la práctica clínica (71).

Asimismo, Jo et. al. investigaron la inmersión 360° de TE con RV en 45 pacientes con EVC en etapa crónica, fueron divididos de manera aleatoria en tres grupos, uno control con terapia convencional y dos experimentales donde se aplicó TE tradicional en uno y TE con RV inmersiva 360° en otro. Los resultados mostraron que este último parece ser un tratamiento prometedor para la recuperación del miembro superior posterior a un EVC, ya que proporciona mejores resultados, mayor funcionalidad del miembro superior, mayor satisfacción en los pacientes debido a la motivación que genera la intervención y mayor apego al tratamiento. No obstante se hace énfasis en realizar futuras investigaciones que sustenten y refuercen los datos obtenidos en este estudio (72).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

El EVC es considerado un problema a nivel mundial, ya que estadísticamente es la causa número uno de discapacidad a largo plazo en adultos y la tercera causa de muerte en occidente (73).

Se estima que el número de casos a nivel global ronda alrededor de los 16 millones y se espera que para el año 2030 aumenten hasta 23 millones con 7.8 millones de decesos debido a esta causa (74). Según datos de la OMS, se proyecta que entre el año 2000 y el año 2025 la incidencia de EVC aumente 27% en países europeos (75).

Asimismo, cada año el número de casos nuevos de EVC va de entre 50,000 y 140,000, y su incidencia por año es de entre 120 y 350 casos por cada 100,000 habitantes, siendo en hombres más prevalente que en mujeres, sin embargo la mortalidad en mujeres es más frecuente (76).

La secuela por EVC que se presenta con más frecuencia es la reducción de la funcionalidad del miembro superior, la cual es altamente discapacitante, ya que limita severamente la realización de las AVDH como los son comer, vestirse, bañarse, etc., asimismo el miembro superior afectado llega a deteriorarse en más del 80% de pacientes que sufrieron un EVC (77).

Se ha reportado que la incidencia de EVC en países desarrollados se ha mantenido estable e incluso ha disminuido, sin embargo en países en vías de desarrollo los casos han aumentado hasta duplicarse (78).

En México la incidencia de EVC es de 143 por cada 100,000 habitantes y la prevalencia va de 78 por cada 100,000 habitantes, con una tasa de mortalidad de 28 en cada 100,000 habitantes y se ingresan 143 por cada 100,000 adultos de 25 años en adelante a los servicios médicos de urgencias a causa de un EVC (79).

Por lo tanto, el EVC en México ha pasado de ser la cuarta causa de muerte a nivel nacional con más de 25,000 decesos en el año 2000, a ser la tercera causa de mortalidad con más de 30,000 casos de muerte para el año 2018, periodo en el cual se determinó la cuarta causa de muerte en adultos mayores de 65 años y la séptima causa de fallecimiento en personas de entre 15 y 65 años (80).

Cabe mencionar que las instituciones de salud en México únicamente cuentan con cobertura a corto plazo para la atención de enfermedades como el EVC, esto quiere decir que la atención que se brinda se da durante los periodos iniciales y fases agudas, aunado a eso, existe escaso seguimiento para el manejo de la discapacidad que generan las secuelas del EVC, lo cual limita la recuperación funcional de los pacientes ya que sus familias no cuentan con la orientación suficiente para ello (81). De igual manera, se ha reportado que únicamente 12.5% de la población que sufrió un EVC realizó un cambio en el estilo de vida implementando una mejor nutrición y la realización de actividad física, mientras que el otro 69.7% no tomó acción posterior al EVC, lo cual resulta en índices elevados de morbilidad y calidad de vida (82).

Por lo tanto, resulta importante abordar esta problemática de salud pública por medio de herramientas terapéuticas que brinden alternativas para la recuperación de las secuelas por EVC, a través de intervenciones novedosas como lo es la TE y la RV (9, 51), que puedan generar mayor apego al tratamiento, que puedan ser aplicados tanto en entornos hospitalarios como fuera de ellos y que en caso de que el sistema de salud público no pueda costearlos estos lleguen a ser accesibles para la población en general, con el fin de brindar atención de calidad no únicamente en las fase aguda de la enfermedad, sino también en las fase crónica y así evitar que las secuelas se instauren permanentemente (68).



## JUSTIFICACIÓN

---

Debido a que el EVC es la primera causa de discapacidad a nivel mundial y la tercera causa de muerte en México, es sumamente necesario colocar el foco de atención ante este padecimiento, puesto que aunque el número de casos de EVC en países desarrollados se mantiene, en países subdesarrollados los casos van en aumento, generando una problemática a nivel mundial (4), ya que el estilo de vida actual se inclina demasiado al sedentarismo, así como ritmos de vida acelerados que mantienen a la población en estados de estrés constantes, tienen como consecuencia mayor probabilidad de padecer un EVC (16), y sumado a eso, están implicados los factores no modificables que predisponen en mayor o menor grado a la población a sufrir un EVC según la región geográfica y el sexo (80).

Desafortunadamente el EVC es un padecimiento, que según la región cerebral que se vea afectada, genera secuelas permanentes en más del 50% de la población que haya sufrido un evento como este, provocando una disminución significativa en la calidad de vida tanto del paciente como de su familia, así como de su entorno y por supuesto la sociedad en general. Por otro lado, la incapacidad que generan las secuelas por un EVC, genera gastos mayores a nivel gubernamental (20).

Las secuelas que se presentan con mayor predominancia subsecuente a un EVC son hemiparesias o hemiplejias, las cuales incapacitan severamente al paciente, particularmente cuando se trata del miembro superior, mismo que si se encuentra implicado tiene menor porcentaje de probabilidad de mejoría, aunado a esto, los sistemas de salud en México no se encuentran capacitados para dar seguimiento en etapas tardías o crónicas, ya que el nivel de atención está dirigido a la etapa inicial en los servicios de urgencias, y posteriormente no se cuentan con programas que puedan ayudar a la recuperación del paciente, ni con asesorías que puedan guiar a las familias a propiciar la recuperación posterior al EVC (81).

Por lo tanto la hemiparesia y hemiplejia del miembro superior del paciente que ha cursado un EVC, es una secuela que permanece a lo largo del tiempo (5), es por eso que la neurorrehabilitación ha desarrollado técnicas de intervención para potenciar la recuperación funcional, sin embargo ciertos remanentes de las secuelas suelen permanecer (55).

La terapia de espejo es un tipo de intervención que se ha demostrado es efectiva para la recuperación del MS parético tanto en etapas tempranas como en estados crónicos. Y debido a que la neurorrehabilitación se encuentra revolucionando a la par del mundo tecnológico, se ha desarrollado el uso de la RV en combinación con la rehabilitación, con el fin de potenciar la recuperación de pacientes neurológicos a través de las ventajas que esta ofrece (43).

Sin embargo, es importante mencionar que debido a que la RV es muy novedosa aún, actualmente no se cuenta con muchos estudios acerca de esta, sin embargo existen grupos que están utilizando esta tecnología para crear un feedback visual por medio de RV en lugar de espejos (83). Por lo

tanto, realizar investigación dentro de esta rama es una oportunidad de crecimiento para el ámbito fisioterapéutico, puesto que se ha encontrado que la RV brinda beneficios similares a la TE convencional (46). Y el poder implementar un protocolo donde ambas herramientas terapéuticas previamente señaladas puedan ser utilizadas en conjunto para brindar un tratamiento para mejorar las secuelas del miembro superior, el cual por lo general resulta con mayor afectación posterior a un EVC (77), podría abrir la brecha a la implementación de una nueva alternativa terapéutica dentro del ámbito de neurorrehabilitación.

## ***PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN***

---

¿La aplicación de terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual es un método efectivo para la recuperación del miembro superior parético subsecuente a un Evento Vascular Cerebral en fase crónica y puede generar cambios significativos en el rango de movimiento articular, fuerza muscular, tono muscular y reflejos osteotendinosos?

## *HIPÓTESIS*

---

**H1:** La terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual es efectiva como tratamiento fisioterapéutico para la recuperación del miembro superior parético subsecuente a un EVC crónico.

**H0:** La terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual no es efectiva como tratamiento fisioterapéutico para la recuperación del miembro superior parético subsecuente a un EVC crónico.

## ***OBJETIVOS DEL ESTUDIO***

---

### **Objetivo general**

Implementar la terapia de espejo con lentes de realidad virtual como tratamiento de neurorrehabilitación para pacientes con secuelas motoras crónicas del miembro superior subsecuente a un EVC.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la evolución respecto al rango de movimiento articular, fuerza muscular, tono muscular y reflejos osteotendinosos.
- Comparar el nivel funcional del miembro superior parético antes y después del tratamiento.

### **Tipo de estudio**

Se realizó un estudio cuasiexperimental longitudinal prospectivo, en el cual se implementó la aplicación de la terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual en 8 pacientes con diagnóstico de EVC y hemiparesia de miembro superior, que asistieron a la Clínica de Fisioterapia de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad León, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

### **Criterios de selección**

Los criterios de inclusión comprendieron: pacientes con diagnóstico de EVC isquémico o hemorrágico, en fase crónica (>6 meses de evolución), con hemiparesia de miembro superior, cuyo tono muscular del miembro superior parético fuera menor a 4 de acuerdo a la escala de Ashworth modificada, que pudieran seguir instrucciones, que aceptaron participar en el estudio y se encontraran médicamente estables. Criterios de exclusión: pacientes con diagnóstico de EVC en fase aguda, tono muscular del miembro superior parético mayor a 4 en la escala de Ashworth modificada, limitaciones musculoesqueléticas, déficit cognitivo o enfermedades neurológicas adicionales. Criterios de eliminación: abandono del protocolo, asistencia <80%, presencia de mareo o fatiga visual durante la aplicación de la terapia.

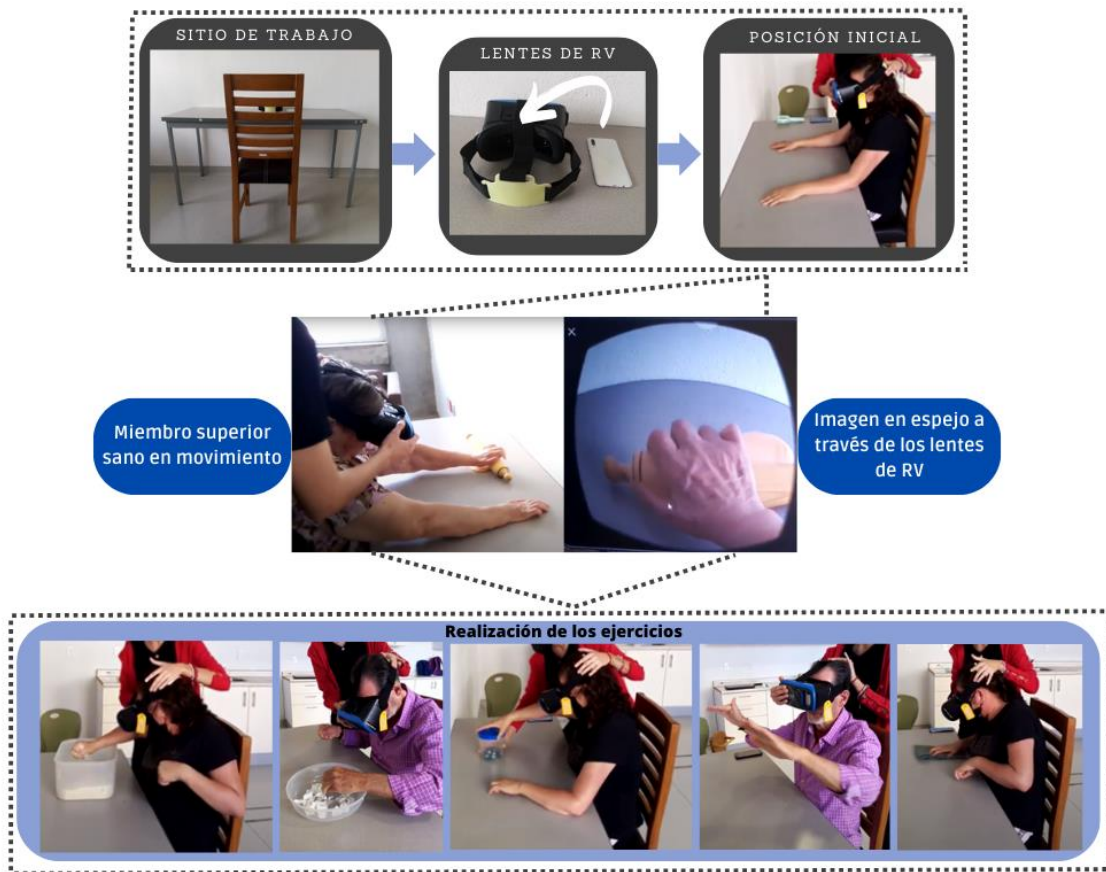
### **Aspectos éticos**

Los pacientes que acudieron a la Clínica de Fisioterapia de la ENES UNAM León y que cumplieron con los criterios de inclusión, fueron evaluados. Posteriormente les fue otorgado el consentimiento informado (anexo 1), el cual indicaba que la intervención respetaba los principios bioéticos y la Declaración de Helsinki; mismo que debió ser firmado voluntariamente.

### **Descripción de la intervención**

El estudio fue llevado a cabo a lo largo de 8 semanas. La primera semana fue utilizada para realizar la valoración inicial; las sesiones de terapia se efectuaron con una frecuencia de 3 veces por semana y una duración de 30 minutos durante 6 semanas; en la octava semana se llevó a cabo la valoración final. Cabe destacar que las valoraciones fueron realizadas de manera ciega por alguien ajeno a la investigación, asimismo, los sujetos no fueron intervenidos por medio de ninguna otra modalidad terapéutica que implicara el miembro superior durante el estudio.

La aplicación de la TE por medio de RV se realizó a través de lentes de realidad virtual mixta de la marca BNext. Dentro de ellos fue colocado un smartphone que ejecutando la app “MirrorBox” permitía invertir la imagen del entorno real, dando la ilusión óptica de que el miembro superior que realizaba la acción era el contrario al que se encontraba en movimiento, con ello el sujeto identificaba visualmente al miembro superior parético como el miembro efector del movimiento (Figura 1).



**Figura 1.-** La terapia fue llevada a cabo sobre una mesa de trabajo encontrada contra una pared blanca. Dentro de los lentes de RV fue colocado un smartphone que invertía las imágenes del entorno real, por lo tanto, los pacientes trabajaban con el miembro superior sano y observaban a través de los lentes la imagen en espejo, creando la ilusión óptica de que el miembro superior parético realizaba los ejercicios, generando su activación y replicación del movimiento.

Las sesiones de terapia se llevaron a cabo sobre una mesa de trabajo colocada contra una pared blanca, donde se realizaron los siguientes ejercicios que implicaron pinza gruesa, pinza fina y movimientos funcionales del miembro superior: limpiar una mesa, soltar y apretar una pelota, amasar un pedazo de plastilina con la mano y un rodillo, tomar un vaso y llevarlo a la boca, abrir y cerrar la tapadera de un contenedor, meter y sacar canicas de un envase, subir y bajar de una caja una botella, saludar con apretón de mano al terapeuta, seguir con el dedo índice el contorno de

un círculo, pellizcar plastilina entre el pulgar y cada dedo de la mano alternadamente. La intervención fue dividida en 4 bloques de 5 ejercicios cada uno, entre bloque y bloque era permitido un descanso de entre 10 - 20 segundos con la finalidad de evitar mareo o fatiga visual. La duración de cada ejercicio fue de 1 minuto cronometrado.

Durante la intervención fue requerida la asistencia de un terapeuta colocado a un costado de los pacientes en todo momento, para liderar la terapia a través de comandos verbales y generar cambios de velocidad con el fin de proveer diferentes estímulos. Adicionalmente, el terapeuta asistía el uso correcto de los lentes de RV, proporcionando asistencia para acomodar y guiar la cabeza de los pacientes evitando movimientos bruscos, y redireccionando nuevamente al sitio de trabajo en caso de que los pacientes perdieran el enfoque. Asimismo, entre cada ejercicio el terapeuta debía cerrar la carátula de los lentes para hacer el cambio de material, recolocar en posición neutra el miembro superior parético y abrir nuevamente la carátula para continuar la intervención. Al final de la terapia, se indicaba mantener los ojos cerrados mientras los lentes de RV eran retirados para no generar un cambio abrupto entre la RV y el medio.

### **Descripción de las variables**

Las variables que se utilizaron fueron: el rango de movimiento articular, evaluado a través de goniometría. Para hombro se evaluó flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna, rotación externa. En codo flexión, extensión, pronación y supinación. Y en muñeca flexión, extensión, desviación radial y desviación cubital. La fuerza muscular, evaluada por grupos musculares correspondientes al movimiento de cada articulación del miembro superior mencionados anteriormente, a través de la Escala de Daniels modificada. El tono muscular, que fue evaluado de acuerdo a la Escala de Ashworth modificada, siguiendo el movimiento agonista y antagonista de cada articulación, en hombro flexo-extensión, abducción-aducción, rotación interna-rotación externa. En codo flexo-extensión y prono-supinación. Y en muñeca flexo-extensión y desviación radial-desviación cubital. Por último, los reflejos osteotendinosos fueron evaluados de acuerdo a la escala del National Institute of Neurological Disorders and Stroke (NINDS), la cual se utiliza universalmente y se ha validado como el estándar para la medición de estos (84). Para fines del estudio se evaluaron los reflejos bicipital, tricipital y flexor de los dedos de la mano, por medio de un martillo de reflejos, realizando una percusión sobre el tendón, lo cual genera una respuesta que puede ser clasificada como ausente, hiporefléxica, normal, hiperrefléxica o clonus, con valores del 0 al 4 respectivamente según la escala NINDS. Para la captación de pacientes se realizó una búsqueda en el expediente electrónico de la Clínica de Fisioterapia de la ENES UNAM León. Se encontraron 55 registros clínicos compatibles con diagnóstico de hemiparesia secundario a EVC. Un total de 11 pacientes acudieron a la valoración inicial, de los cuales 10 fueron elegidos de acuerdo a los criterios de inclusión y 1 fue excluido debido a déficit cognitivo. Posterior a la primera semana de intervención, un sujeto fue eliminado debido a inasistencias justificadas por problemas de salud ajenos al protocolo. Finalmente,



durante la semana 5 otro sujeto fue eliminado debido a inasistencias y mareo severo en su última sesión. Por lo tanto, el tamaño de la muestra fue de 8 pacientes.

## **Estadística**

El análisis estadístico fue realizado en el programa IBM SPSS Statistics para Windows versión 25. Se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon en muestras relacionadas para determinar la existencia de diferencias significativas mediante el valor p obtenido del estadístico de prueba para las variables de rango de movimiento, fuerza muscular y tono muscular. Se aplicó el estadístico de prueba no paramétrico de Wilcoxon para el análisis de reflejos osteotendinosos de acuerdo a la escala de NINDS basado en el estudio de Truffert A (85). Asimismo la fuerza muscular, tono muscular y reflejos osteotendinosos se analizaron por medio de tablas cruzadas, las cuales arrojan los valores resultantes en porcentajes con el fin de mostrar los cambios obtenidos previo y posterior al tratamiento. Para todas las pruebas se consideró un nivel de significancia estadística de  $\alpha \leq 0.05$  y un intervalo de confianza del 95%.

## RESULTADOS

---

El total de pacientes que concluyeron satisfactoriamente la intervención fue de 8 sujetos, con una media de edad de 55 años (DS: 21.3 años, rango: 18-85 años), y una distribución similar por sexo (50% hombres, 50% mujeres). Con relación al EVC, el 50% de los pacientes presentó una etiología isquémica (n=4) y el 50% una etiología hemorrágica (n=4). Además, el miembro mayormente afectado fue el lado dominante (62.5%) y el tiempo promedio de evolución del EVC fue de 5.8 años (rango: 8 meses - 19 años). Por último, las comorbilidades que se presentaron con mayor frecuencia incluyeron Diabetes Mellitus, Hipertensión Arterial Sistémica o ambas, presentes en el 62.5% de la muestra.

Los resultados obtenidos para el rango de movimiento articular mostraron que la media pretratamiento y post-tratamiento fue diferente en todos los movimientos del miembro superior con ganancia de grados de movimiento en cada uno de ellos. De los 14 movimientos evaluados en total, se encontró que en 11 de ellos, más del 50% de la muestra obtuvo un aumento del rango de movimiento posterior a las 6 semanas de aplicación de la terapia de espejo con realidad virtual.

Por otro lado, se mostraron diferencias (nivel de significancia  $\alpha \leq 0.05$ ) posterior a la intervención en la mayoría de los rangos de movimiento del miembro superior parético, con mayor predominancia en los movimientos correspondientes al codo; flexión de codo ( $p = 0.012$ ), extensión, pronación y supinación de codo ( $p = 0.028$ ). Así como en la mayoría de los movimientos de hombro; flexión y abducción de hombro ( $p = 0.012$ ), extensión de hombro ( $p = 0.038$ ), rotación interna de hombro ( $p = 0.027$ ), rotación externa de hombro ( $p = 0.037$ ). Por último; flexión de muñeca ( $p = 0.018$ ) y extensión de muñeca ( $p = 0.012$ ), también mostraron cambios significativos. Únicamente los rangos de movimiento que no mostraron diferencias significativas fueron aducción de hombro, desviación radial y cubital de muñeca.

Respecto a la fuerza muscular los porcentajes mostrados en cada movimiento tuvieron variaciones posteriores a la aplicación del tratamiento (Tabla 2), en la rotación externa de hombro ( $p = 0.026$ ), y la mayoría de los movimientos correspondientes a la muñeca; flexión y extensión de muñeca ( $p = 0.042$ ), desviación cubital de muñeca ( $p = 0.041$ ). De igual manera se hallaron diferencias en el tono muscular con mayor predominancia en hombro (Tabla 3); abducción y aducción de hombro ( $p = 0.046$ ), rotación interna y rotación externa de hombro ( $p = 0.034$ ). Por último, posterior al tratamiento el 50% de la muestra disminuyó la hiperreflexia en los reflejos bicipital y flexor de los dedos, y el 62.5% obtuvo un resultado no patológico en el reflejo tricipital con un valor ( $p = 0.046$ ).

RANGOS DE MOVIMIENTO					
	Media pre-tratamiento	Media post-tratamiento	Número de pacientes con cambios	Porcentaje con cambios	Valor p
<i>Hombro</i>					
<b>Flexión</b>	125.75°	152.5°	8	100%	<b>0.012</b>
<b>Extensión</b>	28.5°	34.25°	5	62.50%	<b>0.038</b>
<b>Abducción</b>	95.75°	116.625°	8	100%	<b>0.012</b>
<b>Aducción</b>	25.5°	28.25°	2	25%	0.180
<b>Rotación interna</b>	46.875°	59.75°	6	75%	<b>0.027</b>
<b>Rotación externa</b>	31.25°	44.5°	5	62.50%	<b>0.039</b>
<i>Codo</i>					
<b>Flexión</b>	107.5°	131.5°	8	100%	<b>0.012</b>
<b>Extensión</b>	-9.125°	0.875°	6	75%	<b>0.028</b>
<b>Pronación</b>	77.75°	89.25°	6	75%	<b>0.028</b>
<b>Supinación</b>	60.375°	82.5°	6	75%	<b>0.028</b>
<i>Muñeca</i>					
<b>Flexión</b>	75°	88°	7	87.50%	<b>0.018</b>
<b>Extensión</b>	51.875°	84.5°	8	100%	<b>0.012</b>
<b>Desviación radial</b>	20.125°	24°	3	37.50%	0.109
<b>Desviación cubital</b>	33.75°	37.5°	4	50%	0.066

**Tabla 2.-** Arcos de movimiento. El método estadístico utilizado para determinar el valor p fue la prueba de Wilcoxon.

FUERZA MUSCULAR															
	Pre-tratamiento							Post-tratamiento							Valor p
	1	1+	2	2+	3	3+	4	1	1+	2	2+	3	3+	4	
<i>Hombro</i>															
<b>Flex</b>	n=1 (12.5%)			n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)					n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)		0.109
<b>Ext</b>		n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)					n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)		0.066
<b>Abd</b>				n=2 (25%)	n=5 (62.5%)	n=1 (12.5%)					n=2 (25%)	n=5 (62.5%)	n=1 (12.5%)		1.000
<b>Add</b>				n=1 (12.5%)	n=6 (75%)	n=1 (12.5%)					n=1 (12.5%)	n=6 (75%)	n=1 (12.5%)		1.000
<b>RI</b>			n=1 (12.5%)		n=5 (62.5%)	n=2 (25%)				n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=4 (50%)		0.157
<b>RE</b>			n=1 (12.5%)	n=3 (37.5%)	n=4 (50%)					n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=4 (50%)		<b>0.026</b>
<i>Codo</i>															
<b>Flex</b>		n=1 (12.5%)			n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)				n=1 (12.5%)	n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)	n=3 (37.5%)	0.102
<b>Ext</b>		n=1 (12.5%)			n=4 (50%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)				n=1 (12.5%)	n=4 (50%)		n=3 (37.5%)	0.180
<b>Pron</b>		n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)		n=4 (50%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)		n=1 (12.5%)			n=4 (50%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	0.157
<b>Sup</b>		n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)			n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	0.102
<i>Muñeca</i>															
<b>Flex</b>	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)		n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)			n=2 (25%)			n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	<b>0.042</b>
<b>Ext</b>	n=2 (25%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)		n=2 (25%)			n=2 (25%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	<b>0.042</b>
<b>DR</b>		n=4 (50%)		n=2 (25%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)			n=3 (37.5%)		n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	0.109
<b>DC</b>	n=1 (12.5%)	n=4 (50%)		n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)			n=3 (37.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	n=1 (12.5%)	<b>0.041</b>

**Tabla 3.-** Fuerza muscular. El método estadístico utilizado para determinar el valor p fue la prueba de Wilcoxon y tablas cruzadas para los valores pre-tratamiento y post-tratamiento. \*Flex=flexión, Ext=extensión, Abd=abducción, Add=aducción, RI=rotación interna, RE=rotación externa, Pron=pronación, Sup=supinación, DR=desviación radial, DC=desviación cubital.

TONO MUSCULAR									
	Pre-tratamiento				Post-tratamiento				Valor p
	2	1+	1	0	2	1+	1	0	
<i>Hombro</i>									
<b>Flexión</b>	n=1 (12.5%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)	n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)	0.102
<b>Extensión</b>	n=1 (12.5%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)	n=1 (12.5%)		n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)	0.102
<b>Abducción</b>		n=3 (37.5%)	n=2 (25%)	n=3 (37.5%)			n=4 (50%)	n=4 (50%)	<b>0.046</b>
<b>Aducción</b>		n=3 (37.5%)	n=2 (25%)	n=3 (37.5%)			n=4 (50%)	n=4 (50%)	<b>0.046</b>
<b>Rotación interna</b>	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)			n=4 (50%)	n=4 (50%)	<b>0.034</b>
<b>Rotación externa</b>	n=1 (12.5%)	n=2 (25%)	n=3 (37.5%)	n=2 (25%)			n=4 (50%)	n=4 (50%)	<b>0.034</b>
<i>Codo</i>									
<b>Flexión</b>		n=2 (25%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)		n=1 (12.5%)	n=4 (50%)	n=3 (37.5%)	0.157
<b>Extensión</b>		n=2 (25%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)		n=1 (12.5%)	n=4 (50%)	n=3 (37.5%)	0.157
<b>Pronación</b>		n=2 (25%)	n=3 (37.5%)	n=3 (37.5%)			n=3 (37.5%)	n=5 (62.5%)	0.102
<b>Supinación</b>		n=2 (25%)	n=2 (25%)	n=4 (50%)			n=3 (37.5%)	n=5 (62.5%)	0.180
<i>Muñeca</i>									
<b>Flexión</b>		n=2 (25%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)			n=3 (37.5%)	n=5 (62.5%)	0.102
<b>Extensión</b>		n=2 (25%)	n=4 (50%)	n=2 (25%)			n=3 (37.5%)	n=5 (62.5%)	0.102
<b>Desviación radial</b>			n=1 (12.5%)	n=7 (87.5%)				n=8 (100%)	0.317
<b>Desviación cubital</b>			n=1 (12.5%)	n=7 (87.5%)				n=8 (100%)	0.317

**Tabla 4.-** Tono muscular. El método estadístico utilizado para determinar el valor p fue la prueba de Wilcoxon y tablas cruzadas para los valores pre-tratamiento y post-tratamiento.

REFLEJOS OSTEOTENDINOSOS											
	Pre-tratamiento					Post-tratamiento					Valor p
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
<b>Bicipital</b>			2 (25%)	6 (75%)				4 (50%)	4 (50%)		0.157
<b>Tricipital</b>			1 (12.5%)	7 (87.5%)				5 (62.5%)	3 (37.5%)		<b>0.046</b>
<b>Flexor de los dedos</b>			2 (25%)	6 (75%)				4 (50%)	4 (50%)		0.157

**Tabla 5.-** Reflejos osteotendinosos. El método estadístico utilizado para determinar el valor p fue la prueba de Wilcoxon y tablas cruzadas para los valores pre-tratamiento y post-tratamiento. \*0=ausente, 1=hiporeflexia, 2=normal, 3=hiperreflexia, 4=clonus.

Posterior a cada sesión se llevó a cabo un registro de hallazgos reportados por los pacientes y hallazgos objetivos observados por el terapeuta. De manera subjetiva se reportaron parestesias, fasciculaciones, hipertermia, hiperestesia, hiperhidrosis en palma y dorso de la mano, fatiga del miembro superior parético y disminución de la sensación de que el brazo es ajeno, provocado por el fenómeno de “aprendizaje por desuso” (86). Adicionalmente, durante la intervención el evaluador logró observar activación neuromuscular y replicación del movimiento con el miembro superior parético (Imagen 1), mejor alineación de cintura escapular debido a un mejor trefismo muscular y mayor balanceo del miembro superior parético durante la marcha.

Durante las primeras sesiones, 2 sujetos reportaron mareo y náuseas. Dichos efectos adversos producidos por la exposición a un ambiente de realidad virtual son descritos como “virtual reality sickness” (87), los cuales disminuyeron al parar la actividad y proporcionar aire por medio de un ventilador.



**Imagen 1.-** Secuencia de replicación del movimiento durante la TE con RV, la cual se genera en el miembro superior parético como respuesta a la aferencia visual producida por la observación en espejo (a través de los lentes de RV) del movimiento realizado por el miembro superior parético.

## DISCUSIÓN

---

La introducción de un nuevo método de rehabilitación para la recuperación del miembro superior parético posterior a un EVC resulta relevante, ya que después de 6 meses hasta dos tercios de la población permanece con secuelas del miembro superior que les impide realizar las AVDH (88). La implementación de tecnologías que asistan en los procesos de rehabilitación, fungen como una herramienta efectiva y versátil que los fisioterapeutas pueden utilizar para incrementar la efectividad de las terapias convencionales.

Dicho lo anterior, se decidió implementar una estrategia novedosa combinando las bases terapéuticas de la TE con asistencia de la RV, la cual resulta ser una alternativa en el área de neurorrehabilitación y se puede trabajar como variante de TE (54). Las fortalezas de esta nueva estrategia son que utiliza un abordaje nulamente invasivo, de fácil aplicación y es accesible para la población, facilitando su implementación en entornos clínicos como hospitales y clínicas, así como espacios ambulatorios que abarquen el domicilio de los pacientes.

Acorde a los resultados obtenidos la mejora clínica del rango de movimiento, fuerza muscular, tono muscular y reflejos osteotendinosos, producida posterior al tratamiento podría sustentarse de acuerdo a los estadios de recuperación de Brunnstrom en pacientes con EVC, la cual describe la progresión de la recuperación neuromuscular donde se propone que esta sucede en 7 fases. Fase 1: Estadio de flacidez, donde existe ausencia total de movimiento, hiporeflexia e hipotonía. Fase 2: Aparición de la espasticidad, ausencia de control voluntario, presencia de mioclonías, aumento del tono muscular y emergen ciertos reflejos. Fase 3: Aumento de la espasticidad: se presenta hipertonia e hiperreflexia, presencia de fuertes patrones sinérgicos y aparición de control motor. Fase 4: Disminución de la espasticidad, hay una disminución del tono muscular y de la rigidez provocada por la espasticidad. Fase 5: Combinaciones de movimiento complejas: la recuperación del rango de movimiento aumenta permitiendo la realización de movimientos más complejos. Fase 6: Desaparición de la espasticidad y aumento de la coordinación: regulación del tono muscular, aumento de la fuerza muscular, sinergias de agonistas y antagonistas que mejoran la coordinación en general. Fase 7: Recuperación de la función normal, la práctica repetitiva genera reaprendizaje motor y recuperación funcional, mejorando la calidad de vida y un óptimo retorno a las AVDH (89). Por lo tanto, se puede asociar que la mejora de todos los rangos de movimiento del miembro superior se debe a que la intervención indujo una fase 5. La mejora de la fuerza muscular en la muñeca se asocia a la implicación de dicha articulación en todos los ejercicios funcionales del protocolo logrando llegar a una fase 6. Asimismo en la regulación del tono muscular del hombro se logró llegar a un estadio 6 (90).

Los efectos positivos que implica la TE con RV se pueden asociar a la neuroplasticidad inducida por la misma (91), la cual puede atribuirse efectivamente a esta intervención, ya que los sujetos se encontraban en fase crónica, y la mejoría no se atribuye a la recuperación espontánea que se produce durante los primeros 6 meses de evolución, sino a la recuperación inducida por entrenamiento y repetición (92).

Asimismo, las condiciones demográficas del estudio son particulares, ya que se incluyeron pacientes de hasta 85 años edad, los cuales mostraron mejoría clínica similar a la muestra de menor edad. Permitiendo concluir que los efectos relacionados a la rehabilitación y la reorganización neuronal que esta acarrea, no se detiene en individuos de edad avanzada (93), sugiriendo que en futuras investigaciones se incluyan pacientes de la octava y novena década de la vida.

Adicionalmente, un programa de rehabilitación intensivo resulta efectivo en sujetos con diversos grados de afección del miembro superior, sin embargo, este puede ser más efectivo en aquellos con afección leve-moderada. Abriendo la posibilidad de implementar estrategias adicionales en pacientes con afección severa para potenciar la efectividad terapéutica, como sugiere Muñoz R, et al. (94) donde el miembro superior parético por EVC en etapa crónica, tiene mejoría posterior a la terapia por medio de RV, misma que al ser aplicada en combinación con terapia convencional resulta ser más efectiva que la terapia convencional por sí sola.

De igual forma, los beneficios de la intervención se produjeron en el lado afectado, puesto que el movimiento realizado con el miembro superior sano generó la correcta activación del circuito de neuronas espejo (41) a través de la ilusión óptica que generaban los lentes de RV al invertir la imagen en tiempo real, produciendo que los pacientes observaran el miembro superior parético en movimiento de manera virtual.

Además, la seguridad del paciente es un aspecto importante a considerar tras la introducción de una nueva intervención terapéutica. De acuerdo con Weber LM, et al. (95) la TE a través de RV inmersiva resulta ser un tratamiento seguro y factible para pacientes con hemiparesia crónica posterior a un EVC, siempre y cuando los efectos secundarios no sean un impedimento para realizar la terapia. A lo largo del estudio, fue posible determinar que la intervención no se asoció a efectos adversos severos, ya que únicamente 2 pacientes de los 10 iniciales presentaron síntomas de mareo, los cuales disminuyeron con las medidas descritas en la metodología.

Otras áreas de oportunidad a considerar incluyen la posibilidad de utilizar un dinamómetro con el fin de recabar una medición de la fuerza con mayor valor objetivo, puesto que en la revisión de Bohanon RW (96), se concluye que es posible obtener evaluaciones confiables de la fuerza a través de escalas manuales, pero en entornos más rigurosos de investigación tiende a disminuir la confiabilidad al ser subjetiva la fuerza de cada evaluador. Así como la implementación de estudios de conducción nerviosa que permitan evaluar los cambios fisiológicos relacionados al tono muscular y fuerza muscular por medio de electromiografía (EMG). También sería interesante llevar a cabo un tratamiento más intensivo con mayor número de sesiones, puesto que, a mayor frecuencia de exposición a la RV, mayor beneficio se puede obtener (53). Así como implementar escalas que permitan determinar la funcionalidad del miembro superior en contextos relacionadas a las AVDH.



## **Limitaciones del estudio**

A pesar de que los resultados arrojados son alentadores es necesario ampliar la muestra, incluir un grupo control, utilizar herramientas de aleatorización y cegamiento durante la intervención, y con ello determinar la validez de la terapia de espejo con lentes de realidad virtual como un nuevo método de rehabilitación para miembro superior parético posterior a un EVC.

En cuestión a las AVDH los pacientes indicaron subjetivamente mejoría en actividades que involucraran pinza gruesa, como agarre sostenido para realizar actividades de cocina, mantener la mano sobre el volante del automóvil, tomar la manguera y regar el jardín, tomar un vaso y llevarlo en dirección a la boca con mayor amplitud de movimiento. En investigaciones posteriores sería importante implementar escalas que evalúen la función manual y que midan de forma estandarizada las AVDH, para lograr dar mayor sustento y mejor justificación a la aplicación de esta intervención.

La escala de Ashworth modificada es la herramienta clínica universalmente aceptada para la valoración de la espasticidad, sin embargo presenta poca sensibilidad debido a que su valor de medición es operador dependiente, y aunque no se considera una herramienta inadecuada, implementar la EMG como instrumento validado permitiría representar de manera objetiva el tono muscular.

Finalmente, debido que la muestra utilizada fue bastante heterogénea en lo que respecta a edad de los pacientes, etiología del EVC y nivel de funcionalidad basal del miembro superior, sería importante establecer criterios de inclusión más acotados que permitan reclutar una muestra más delimitada, reduciendo la posibilidad de sesgo o confusión.

## *CONCLUSIÓN*

---

De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio se puede concluir que la aplicación de terapia de espejo por medio de lentes de realidad virtual resulta ser un método efectivo para la recuperación del miembro superior parético subsecuente a un EVC en fase crónica, ya que posterior al tratamiento se mostraron diferencias en las variables de rango de movimiento, fuerza muscular, tono muscular y reflejos osteotendinosos, por lo tanto, la hipótesis planteada es aceptada. Así mismo, se concluye la importancia de implementar nuevas herramientas terapéuticas dentro del ámbito de la neurorrehabilitación que permitan ampliar las posibilidades de recuperación de las secuelas por EVC.

## REFERENCIAS

---

1. Coupland AP, Thapar A, Qureshi MI, Jenkins H, Davies AH. The definition of stroke. *J R Soc Med.* 2017;110(1):9–12. doi: 10.1177/0141076816680121.
2. GBD 2016 Lifetime Risk of Stroke Collaborators. Global, Regional, and Country-Specific Lifetime Risks of Stroke, 1990 and 2016. *N Engl J Med.* 2018;379(25):2429–37. doi: 10.1056/nejmoa1804492.
3. Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, Cushman M, Das SR, Deo R, et al. Heart Disease and Stroke Statistics'2017 Update: A Report from the American Heart Association. Vol. 135, *Circulation.* 2017. 146–603 p. doi: 10.1161/CIR.0000000000000485.
4. Lindsay MP, Norrving B, Sacco RL, Brainin M, Hacke W, Martins S, et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2019. *Int J Stroke.* 2019;14(8):806–17. doi: 10.1177/1747493019881353.
5. Lo K, Stephenson M, Lockwood C. Effectiveness of robotic assisted rehabilitation for mobility and functional ability in adult stroke patients: a systematic review. *JBISRIR-2017-003456.* *Implement reports.* 2017;15(12):3049–91. doi: 10.11124/JBISRIR-2017-003456.
6. Campbell BCV, De Silva DA, Macleod MR, Coutts SB, Schwamm LH, Davis SM, Donnan GA. Ischaemic stroke. *Nat Rev Dis Primers.* 2019 Oct 10;5(1):70. doi: 10.1038/s41572-019-0118-8.
7. Rahayu UB, Wibowo S, Setyopranoto I, Hibatullah Romli M. Effectiveness of physiotherapy interventions in brain plasticity, balance and functional ability in stroke survivors: A randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2020;47(4):463–70. doi: 10.3233/NRE-203210.
8. Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain.* 2009;132(7):1693–710. doi: 10.1093/brain/awp135.
9. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Cobb S. Touching the phantom limb. *Nature.* 1995;377(6549):489-90. doi: 10.1038/377489a0.
10. Michielsen ME, Selles RW, Van Der Geest JN, Eckhardt M, Yavuzer G, Stam HJ, et al. Motor recovery and cortical reorganization after mirror therapy in chronic stroke patients: A phase II randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25(3):223–33. doi: 10.1177/1545968310385127.
11. Slater M, Perez-Marcos D, Ehrsson HH, Sanchez-Vives MV. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Front Hum Neurosci.* 2008;2:6. doi: 10.3389/neuro.09.006.2008
12. Thieme H, Morkisch N, Mehrholz J, Pohl M, Behrens J, Borgetto B, et al. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2018;2018(7). doi: 10.1002/14651858.CD008449.pub3.

13. Bayón-Calatayud M, Gil-Agudo A, Benavente-Valdepeñas AM, Drozdowskyj-Palacios O, Sanchez-Martín G, Del Alamo-Rodríguez MJ. Efficacy of new therapies for upper limb neurorehabilitation in stroke patients. *Rehabilitacion*. 2014;48(4):232–40. doi: 10.1016/j.rh.2013.10.001.
14. Viñas-Diz S, Sobrido-Prieto M. Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: Revisión sistemática. *Neurologia*. 2016;31(4):255–77. doi: 10.1016/j.nrl.2015.06.012.
15. Feigin V, Krishnamurthi R, Parmar P, Norrving B, Mensah G, Bennett D, et al. Update on the Global Burden of Ischaemic and. *Neuroepidemiology* [Internet]. 2016;45(3):161–76. doi:10.1159/000441085.
16. O'Donnell MJ, Denis X, Liu L, Zhang H, Chin SL, Rao-Melacini P, et al. Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): A case-control study. *Lancet*. 2010;376(9735):112–23. doi:10.1016/S0140-6736(10)60834-3.
17. Qin C, Yang S, Chu YH, Zhang H, Pang XW, Chen L, et al. Signaling pathways involved in ischemic stroke: molecular mechanisms and therapeutic interventions. *Signal Transduct Target Ther*. 2022;7(1).
18. Zhao Y, Zhang X, Chen X, Wei Y. Neuronal injuries in cerebral infarction and ischemic stroke: From mechanisms to treatment (Review). *Int J Mol Med*. 2022;49(2):1–9.
19. Robertson JVG, Roby-Brami A. Augmented feedback, virtual reality and robotics for designing new rehabilitation methods. 2010;(71):223–45. doi:10.1007/978-2-8178-0034-9\_12.
20. Fanciullacci C, Panarese A, Spina V, Lassi M, Mazzoni A, Artoni F, et al. Connectivity Measures Differentiate Cortical and Subcortical Sub-Acute Ischemic Stroke Patients. *Front Hum Neurosci*. 2021;15(July):1–17. doi: 10.3389/fnhum.2021.669915.
21. Neto E, Caires T, Bazan R, Luvizutto G. Relationship between cortical or subcortical lesions and long-term functional capacity in stroke patients. *Ann Phys Rehabil Med* [Internet]. 2018;61:e207–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.480>.
22. Katan M, Luft A. Global Health Neurology. *Semin Neurol* [Internet]. 2018;38:208–11. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29791947/>. doi:10.1055/s-0038-1649503.
23. Hussain N, Murphy MA, Sunnerhagen KS. Upper limb kinematics in stroke and healthy controls using target-to-target task in virtual reality. *Front Neurol*. 2018;9(MAY):1–9. doi: 10.3389/fneur.2018.00300.
24. Shelton FDNAP, Reding MJ. Effect of lesion location on upper limb motor recovery after stroke. *Stroke*. 2001;32(1):107–12. doi: 10.1161/01.str.32.1.107.

25. Coleman ER, Moudgal R, Lang K, Hyacinth HI, Awosika OO, Kissela BM, et al. Early Rehabilitation After Stroke: a Narrative Review. *Curr Atheroscler Rep.* 2017;19(12). doi: 10.1007/s11883-017-0686-6.
26. Pekna M, Pekny M, Nilsson M. Modulation of neural plasticity as a basis for stroke rehabilitation. *Stroke.* 2012;43(10):2819–28. doi: 10.1161/STROKEAHA.112.654228.
27. Gordon AM, Hung YC, Brandao M, Ferre CL, Kuo HC, Friel K, et al. Bimanual training and constraint-induced movement therapy in children with hemiplegic cerebral palsy: A randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2011;25(8):692–702. doi: 10.1177/1545968311402508.
28. De Bruyn N, Saenen L, Thijs L, Van Gils A, Ceulemans E, Essers B, et al. Sensorimotor vs. Motor Upper Limb Therapy for Patients With Motor and Somatosensory Deficits: A Randomized Controlled Trial in the Early Rehabilitation Phase After Stroke. *Front Neurol.* 2020;11(December):1–13. doi: 10.3389/fneur.2020.597666.
29. Wu S, Mead G, Macleod M, Chalder T. Model of understanding fatigue after stroke. *Stroke.* 2015;46(3):893–8. doi: 10.1161/STROKEAHA.114.006647.
30. Sampaio-Baptista C, Sanders ZB, Johansen-Berg H. Structural plasticity in adulthood with motor learning and stroke rehabilitation. *Annu Rev Neurosci.* 2018;41:25–40. doi: 10.1146/annurev-neuro-080317-062015.
31. Bayón M, Martínez J. Plasticidad cerebral inducida por algunas terapias aplicadas en el paciente con ictus. *Rehabilitación [Internet].* 2008;42(2):86–91. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120\(08\)73619-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-7120(08)73619-3).
32. Kamiya H, Zucker RS. Residual Ca and short-term synaptic plasticity. *Nature.* 1994;371:603-6. doi: 10.1038/371603a0.
33. Sanes JN, Suner S, Donoghue JP. Dynamic organization of primary motor cortex output to target muscles in adult rats. I. Long-term patterns of reorganization following motor or mixed peripheral nerve lesions. *Exp Brain Res.* 1990;79:479-91. doi: 10.1007/BF00229318.
34. Malenka RC, Bear MF. LTP and LTD: An embarrassment of riches. *Neuron.* 2004;44:5-21. doi: 10.1016/j.neuron.2004.09.012.
35. Lippman J, Dunaevsky A. Dendritic spine morphogenesis and plasticity. *J Neurobiol.* 2005;64:47-57. doi: 10.1002/neu.20149.
36. Bach-Rita P. Receptor plasticity and volume transmission in the brain: Emerging concepts with relevance to neurologic rehabilitation. *J Neurorehabil.* 1990;4:121-8. doi:10.1177/136140969000400301.
37. di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res.* 1992;91(1):176-80. doi: 10.1007/BF00230027.

38. Marshall J. Mirror neurons. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2014;111(18):6531. doi: 10.1073/pnas.1404652111.
39. Gastaut HJ, Bert J. EEG changes during cinematographic presentation (Moving picture activation of the EEG). *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1954;6(C):433–44. doi: 10.1016/0013-4694(54)90058-9.
40. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:169–92. doi: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230.
41. Casas Castillo LN, Cintra Viveiro AC, Barrera Reséndiz JE. Efectividad de la terapia de la terapia de espejo en la recuperación funcional de miembros superiores, posterior a un evento vascular cerebral. Tesis. León, Gto: Universidad Nacional Autónoma de México, Licenciatura en Fisioterapia; 2017.
42. Taub E, Miller NE, Novack TA, et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74:347-354.
43. Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *Lancet*. 1999;353: 2035-2036. doi: 10.1016/s0140-6736(99)00920-4.
44. Colomer C, Noé E, Llorens R. Mirror therapy in chronic stroke survivors with severely impaired upper limb function: A randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(3):271–8.
45. Thieme H, Morkisch N, Rietz C, Dohle C, Borgetto B. The efficacy of movement representation techniques for treatment of limb pain: a systematic review and metaanalysis. *Journal of Pain* 2016;17(2):167–80. doi: 10.1016/j.jpain.2015.10.015.
46. I TS, J KS. Virtual Reality Reflection Therapy Improves Motor Recovery and Motor Function in the Upper Extremities of People with Chronic Stroke. *Journal of Physical Therapy Science* 2012;24(4):339–43. doi:10.1589/jpts.24.339.
47. Rothgangel AS, Braun SM, Beurskens AJ, Seitz RJ, Wade DT. The clinical aspects of mirror therapy in rehabilitation: A systematic review of the literature. *Int J Rehabil Res*. 2011;34(1):1–13. doi: 10.1097/MRR.0b013e3283441e98.
48. Adamovich S V., Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: A review. *NeuroRehabilitation*. 2009;25(1):29–44. doi: 10.3233/NRE-2009-0497.
49. Slater M, Perez-Marcos D, Ehrsson HH, Sanchez-Vives M V. Towards a digital body: The virtual arm illusion. *Front Hum Neurosci*. 2008;2(AUG):1–8. doi: 10.3389/neuro.09.006.2008.
50. Slater M, Sanchez-Vives M V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Front Robot AI*. 2016;3(DEC):1–47. doi:10.3389/frobt.2016.00074.

51. Matamala Gomez Marta DIRAM. Tecnicas multisensorial en neurorrehabilitacion: el uso de la realidad virtual como neurorrehabilitacion . 2018;28:81–5.
52. Saposnik G, Levin M. Virtual reality in stroke rehabilitation: A meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke*. 2011;42:1380–6. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.605451.
53. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;2017(11). doi:10.1002/14651858.cd008349.
54. Peñasco-Martín B, De Los Reyes-Guzmán A, Gil-Agudo Á, Bernal-Sahún A, Pérez-Aguilar B, De La Peña-González AI. Application of virtual reality in the motor aspects of neurorehabilitation. *Rev Neurol*. 2010;51(8):481–8. doi: 10.33588/rn.5108.2009665.
55. Taub E, Uswatte G, Mark VW, Morris DM. Taub\_2006\_Learned non use. *Eura Medicophys [Internet]*. 2006;42(3):241–55.
56. Barker RN, Gill TJ, Brauer SG. “Factors contributing to upper limb recovery after stroke: A survey of stroke survivors in Queensland Australia.” *Disabil Rehabil*. 2007;29(13):981–9. doi: 10.1080/09638280500243570.
57. Moreland JD, Goldsmith CH, Huijbregts MP, Anderson RE, Prentice DM, Brunton KB, et al. Progressive resistance strengthening exercises after stroke: A single-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(10):1433–40. doi:10.1016/s0003-9993(03)00360-5.
58. Takahashi CD, Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*. 2008;131(2):425–37. doi: 10.1093/brain/awm311.
59. Nugent JA, Schurr KA, Adams RD. A dose-response relationship between amount of weight-bearing exercise and walking outcome following cerebrovascular accident. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75(4):399–402. doi: 10.1016/0003-9993(94)90162-7.
60. Page SJ, Gater DR, Bach-Y-Rita P. Reconsidering the motor recovery plateau in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(8):1377–81. doi: 10.1016/j.apmr.2003.12.031.
61. Sánchez Blanco I, López de Munain Marqués L. Rehabilitación del déficit motor y de la discapacidad física de causa neurológica. En: Sánchez I, Ferrero A, Aguilar JJ, Climent JM, Conejero JA, Flórez MT, et al, editores. *Manual SERMEF de Rehabilitación y Medicina Física*. Madrid: Ed. Panamericana; 2006. p. 557-67.
62. Patten C, Lexell J, Brown HE. Weakness and strength training in persons with poststroke hemiplegia: Rationale, method, and efficacy. *J Rehabil Res Dev*. 2004;41(3):293–312. doi: 10.1682/jrrd.2004.03.0293.
63. Taub E, Uswatte G, Morris DM. Improved motor recovery after stroke and massive cortical reorganization following Constraint-Induced Movement therapy. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2003;14:77–91. doi: 10.1016/s1047-9651(02)00052-9.

64. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet LB. The plastic human brain cortex. *Annu Rev Neurosci*. 2005;28: 377-401. doi: 10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216.
65. Dobkin BH, Firestine A, West M, Saremi K, Woods R. Ankle dorsiflexion as an fMRI paradigm to assay motor control for walking during rehabilitation. *Neuroimage*. 2004;23:370-81. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.06.008.
66. Miyai I, Suzuki M, Hatakenaka M, Kubota K. Effect of body weight support on cortical activation during gait in patients with stroke. *Exp Brain Res*. 2006;169:85-91. doi: 10.1007/s00221-005-0123-x.
67. Mart M. Evidencia científica de los progresos en la rehabilitación de la enfermedad cerebrovascular. 2004;38(5):2–5. doi: 10.1016/S0048-7120(04)73468-4.
68. Mundy L, Hiller JE. Rehabilitation of stroke patients using virtual reality games. Adelaide: Adelaide Health Technology Assessment (AHTA). Horizon Scanning Prioritising Summary 27. 2010.
69. Da Silva Jaques E, Figueiredo AI, Schiavo A, Loss BP, Da Silveira GH, Sangalli VA, et al. Conventional Mirror Therapy versus Immersive Virtual Reality Mirror Therapy: The Perceived Usability after Stroke. *Stroke Res Treat*. 2023;2023.
70. Hao J, Xie H, Harp K, Chen Z, Siu KC. Effects of Virtual Reality Intervention on Neural Plasticity in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Arch Phys Med Rehabil [Internet]*. 2022;103(3):523–41. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.06.024>
71. Wei D, Hua XY, Zheng MX, Wu JJ, Xu JG. Effectiveness of robot-assisted virtual reality mirror therapy for upper limb motor dysfunction after stroke: study protocol for a single-center randomized controlled clinical trial. *BMC Neurol [Internet]*. 2022;22(1):1–9. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02836-6>
72. Jo S, Jang H, Kim H, Song C. for upper extremity function and satisfaction among stroke patients : a randomized controlled trial. 2024;60:1–11.
73. Mackay J, Mensah G. The atlas of heart disease and stroke. WHO; 2011.
74. Adeloye D. An Estimate of the Incidence and Prevalence of Stroke in Africa : A Systematic Review and Meta-Analysis. 2014;9(6). doi:10.1371/journal.pone.0100724.
75. Malmivaara A, Meretoja A, Peltola M, Numerato D, Heijink R, Engelfriet P, et al. Comparing ischaemic stroke in six European countries. The EuroHOPE register study. *Eur J Neurol*. 2015;22:284-91. doi: 10.1111/ene.12560.
76. Truelsen T, Piechowski-Jozwiak B, Bonita R, Mathers C, Bogousslavsky J, Boysen G. Stroke incidence and prevalence in Europe: A review of available data. *Eur J Neurol*. 2006;13: 581-98. doi: 10.1111/j.1468-1331.2006.01138.x.



77. Buma FE, Lindeman E, Ramsey NF, Kwakkel G. Functional neuroimaging studies of early upper limb recovery after stroke: A systematic review of the literature. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010;24:589-608. doi: 10.1177/1545968310364058.
78. Feigin VL, Lawes CM, Bennett DA, Barker-Collo SL, Parag V. Worldwide stroke incidence and early case fatality reported in 56 population-based studies: a systematic review. *Lancet Neurol*. 2009; 8 (4):355-69. doi: 10.1016/S1474-4422(09)70025-0.
79. Carlos C, J MJ, N SB, A RL, Gerardo Q, José A, et al. Vigilancia epidemiológica del ataque vascular cerebral en una comunidad mexicana : Diseño de un proyecto poblacional para el estudio de las enfermedades cerebrovasculares en México. 2010;11(2):128–35.
80. Sistema Nacional de Información en Salud. Boletín de información estadística 2014-2015. México: DGIS, SINAIS. Disponible en [http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/estandar\\_gobmx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/estandar_gobmx.html)
81. Cruz Vargas EM, Cintra Viveiro AC, Martínez Matehuala FJ. Análisis postural y del equilibrio estático de pacientes hemiparéticos posterior a terapia de espejo. Tesis. León, Gto: Universidad Nacional Autónoma de México, Licenciatura en Fisioterapia; 2019.
82. Perez Rojas JEA, Torres Arreola LP. La discapacidad por enfermedad vascular cerebral. 2012;50(3):249–54.
83. Eng K, Siekierka E, Pyk P, Chevrier E, Hauser Y, Cameirao M, et al. Interactive visuo-motor therapy system for stroke rehabilitation. *Med Biol Eng Comput* 2007; 45: 901–7. doi: 10.1007/s11517-007-0239-1.
84. Ooi LW, Leong LSX, Tee VWS, Chee YC, Halim SA, Ghani ARI, et al. Deep tendon reflex: The tools and techniques. what surgical neurology residents should know. *Malaysian J Med Sci*. 2021;28(2):48–62. doi: 10.21315/mjms2021.28.2.5.
85. Truffert A, Sukockienė E, Desmaison A, Ališauskienė M, Iancu Ferfoglía R, Guy N. Combined tendon reflex and motor evoked potential recordings in amyotrophic lateral sclerosis. *Clin Neurophysiol*. 2023;147:88–98. doi: 10.1016/j.clinph.2022.12.013.
86. Raghavan P. Upper Limb Motor Impairment After Stroke. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2015;26(4):599-610. doi: 10.1016/j.pmr.2015.06.008.
87. Won J, Kim YS. A New Approach for Reducing Virtual Reality Sickness in Real Time: Design and Validation Study. *JMIR Serious Games*. 2022;10(3):e36397. doi: 10.2196/36397.
88. Toman NG, Grande AW, Low WC. Neural Repair in Stroke. *Cell Transplant*. 2019;28(9–10):1123–6. doi: 10.1177/0963689719863784.

89. Huang CY, Lin GH, Huang YJ, Song CY, Lee YC, How MJ, et al. Improving the utility of the Brunnstrom recovery stages in patients with stroke: Validation and quantification. *Med (United States)*. 2016;95(31).
90. Levin MF, Piscitelli D. Motor Control: A Conceptual Framework for Rehabilitation. *Motor Control*. 2022;26(4):497–517.
91. Hsu HY, Kuo LC, Lin YC, Su FC, Yang TH, Lin CW. Effects of a Virtual Reality–Based Mirror Therapy Program on Improving Sensorimotor Function of Hands in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2022;36(6):335–45. doi: 10.1177/15459683221081430.
92. Xing Y, Bai Y. A Review of Exercise-Induced Neuroplasticity in Ischemic Stroke: Pathology and Mechanisms. *Mol Neurobiol*. 2020;57(10):4218-4231. doi: 10.1007/s12035-020-02021-1.
93. Umarova RM, Sperber C, Kaller CP, Schmidt CSM, Urbach H, Klöppel S, Weiller C, Karnath HO. Cognitive reserve impacts on disability and cognitive deficits in acute stroke. *J Neurol*. 2019;266(10):2495-2504. doi: 10.1007/s00415-019-09442-6.
94. Muñoz Boje R, Calvo-Muñoz I. Effects of virtual reality therapy for the upper limb in stroke patients: a systematic review. *Rehabilitacion*. 2018;52(1):45–54. doi: 10.1016/j.rh.2017.09.001.
95. Weber LM, Nilsen DM, Gillen G, Yoon J, Stein J. Immersive Virtual Reality Mirror Therapy for Upper Limb Recovery after Stroke: A Pilot Study. *Am J Phys Med Rehabil*. 2019;98(9):783–8. doi: 10.1097/PHM.0000000000001190.
96. Bohannon RW. Reliability of manual muscle testing: A systematic review. *Isokinet Exerc Sci*. 2018;26(4):245–52. doi: 10.3233/IES-182178.

