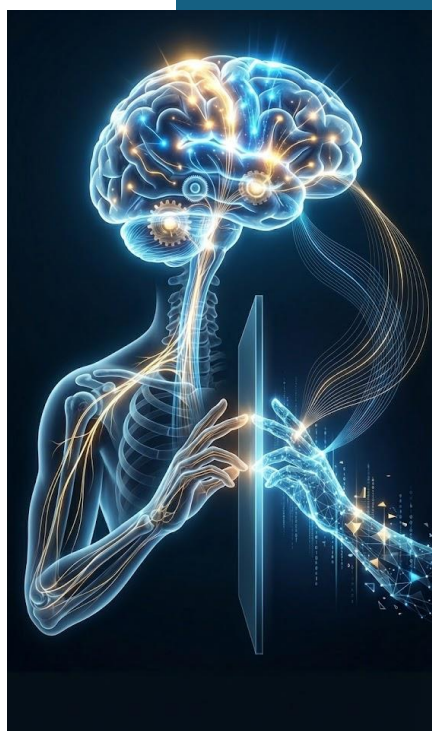


**Máster en Neurorehabilitación
2026**

Protocolo de intervención clínica basado en la terapia de espejo y realidad virtual (VR-MT) para la recuperación motora del miembro superior en pacientes con ictus.



Alumna: Constanza

Felicitas Teseira

Tutora: Dra. Narda Murillo

INDICE

Resumen:	3
Objetivo:	3
Metodología:	3
Antecedentes	5
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Nivel de Evidencia Científica:	7
Metodología e instrumentos de valoración	9
Criterios de Inclusión:	9
Criterios de Exclusión:	10
Criterios de eficacia y resultados esperados	13
Criterios de eficacia clínica	13
Resultados esperados en el control motor	13
Discusión y valoración crítica	15
Limitaciones del protocolo de intervención	16
Conclusiones	17
ANEXO I	18
PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN	18
Población diana y criterios de selección	18
Criterios de inclusión:	18
Criterios de exclusión:	18
Dosificación	19
Frecuencia:	19
Duración de la sesión:	20
Especificación del entorno tecnológico	20
Estructura de las actividades	22
1. Fases de progresión	22
2. Sistemas de asistencia adaptativa	22
Tipología de ejercicios	26
Cronograma de la intervención	27

Plan de seguridad y criterios de interrupción	30
Bibliografía	32

Título: Protocolo de intervención clínica basado en la terapia de espejo y realidad virtual (VR-MT) para la recuperación motora del miembro superior en pacientes con ictus.

Resumen:

El accidente cerebrovascular es una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial, la cual afecta la función motora del miembro superior y la independencia en las Actividades de la Vida Diaria. Se ha demostrado que la Terapia de Espejo (MT) estimula la plasticidad neuronal mediante la activación del sistema de neuronas espejo, pero sus formatos tradicionales presentan ciertas limitaciones como ser: monotonía, restricciones espaciales, falta de objetividad en la medición y posturas anatómicas incómodas. La Realidad Virtual (VR) surge como una alternativa que facilita la concentración, incrementa la adherencia al tratamiento y permite una postura anatómica natural.

Objetivo: Estructurar un protocolo de intervención clínica complementaria para evaluar la viabilidad y eficacia de una experiencia virtual basada en VR-MT en la recuperación motora del miembro superior post-ictus.

Metodología: El protocolo establece una dosificación según la cronicidad: la fase subaguda constará de 4 semanas (4 días/semana) y la fase crónica de 9 semanas (2 días/semana). Las sesiones serán de 50 minutos totales: combinan 30 minutos de VR-MT (con un macro-descanso de 3 minutos para prevenir la cibersinetosis y la fatiga) con 20 minutos de entrenamiento funcional tradicional. La toma de decisiones para la calibración y el avance entre las fases de progresión (inicial, media y avanzada) se guiará de forma objetiva por la regla del 70-90% de éxito, fundamentada en los registros cinemáticos de las IMU.

Resultados esperados: con la aplicación de este protocolo, se espera que los pacientes mejoren la movilidad de todo el miembro superior de forma conjunta, logrando que el control de hombro y codo sirva de base para recuperar la precisión en la muñeca y la mano, lo que facilitará su autonomía en el día a día. Además, el formato de juego del entorno virtual ayudará a que las personas se mantengan motivadas con el tratamiento, mientras que el uso de sensores

inerciales permitirá registrar su evolución real con datos numéricos exactos y objetivos.

Antecedentes

El ictus es un gran desafío para la salud pública global, según los datos más recientes (correspondientes al año 2021) presentados en el estudio de Feigin et al. (2025) hay una incidencia anual de 11.9 millones de nuevos casos y una prevalencia de 93.8 millones de supervivientes que conviven con las secuelas.

La manifestación clínica más común es la hemiparesia o déficit motor del miembro superior, que se da principalmente por la afectación del territorio de la arteria cerebral media, el cual lesiona las áreas corticales encargadas de la extremidad contralateral (García Alfonso et al., 2019). Esto perjudica la independencia funcional y el desempeño en las Actividades de la Vida Diaria (AVD).

A nivel neurofisiológico, la lesión cortical rompe el equilibrio de la Inhibición Interhemisférica (IHI) (Alhassani, 2022), dando lugar al modelo de competición interhemisférica, que consiste en que el hemisferio dañado disminuye su capacidad de generar comandos motores debido a la pérdida neuronal y la interrupción de las vías eferentes, es decir, se produce una **hipoexcitabilidad ipsilesional**. A su vez, al perderse la influencia inhibitoria que el hemisferio dañado ejerce normalmente sobre el sano, se produce una **hiperexcitabilidad contralesional**. Como consecuencia, el hemisferio sano incrementa su inhibición hacia la zona lesionada. Esta sobre-inhibición entorpece los procesos de plasticidad y limita la recuperación funcional del miembro (Alhassani, 2022).

Para atenuar esta sobre-inhibición, la Terapia de Espejo (MT) ha demostrado ser útil gracias a su capacidad de activar el sistema de neuronas espejo (SNE) y la red de observación de acciones (AON) (Gao et al., 2025). El SNE está integrado por células multimodales en la corteza premotora y el lóbulo parietal inferior que se activan al ejecutar una acción dirigida a un objetivo y también al observar a otro individuo realizarla (Mekbib et al., 2020). Con esta red de observación, el cerebro es capaz de procesar y guardar esquemas de movimiento sin necesidad de ejecutarlos al momento. De este modo, se crean representaciones sensoriomotoras compartidas que involucran áreas como la corteza premotora dorsal y la somatosensorial secundaria, las cuales resultan fundamentales para el reaprendizaje motor (Wen et al., 2026).

La activación de este mecanismo se realiza en la clínica mediante una caja de espejo colocada en el plano mediosagital del paciente. El paciente coloca el miembro afectado dentro de la caja y el sano frente al espejo. Al mirar el reflejo del miembro sano, el cerebro recibe una ilusión visual de que el miembro afectado se mueve con normalidad. Esto, promueve la reorganización cortical y la neuroplasticidad. Sin embargo, esta manera de realizarlo presenta algunos inconvenientes (Da Silva Jaques et al., 2023; De Pasquale et al., 2025; Hsu et al., 2022) tales como: la monotonía de los movimientos analíticos que disminuyen la adherencia del paciente, las restricciones físicas debido a las dimensiones de la caja, la asimetría postural necesaria para mirar el espejo lo que puede causar problemas en el aprendizaje y control del movimiento, y la necesidad de una supervisión profesional constante para asegurar que el paciente no desvíe la mirada del reflejo.

La evolución hacia la realidad virtual inmersiva (IVR) mediante visores montados en la cabeza (HMD) y sistemas de seguimiento gestual óptico (hand-tracking) soluciona estas barreras. Al aislar los estímulos del entorno, la IVR incrementa la concentración y reduce las distracciones (Gebreheat et al., 2024; Hsu et al., 2022; Mekbib et al., 2020a; Okamura et al., 2024) permite observar desde una posición anatómica simétrica y natural, y potencia el sentido de propiedad (ownership) y agencia sobre el miembro representado virtualmente (da Silva Jaques et al., 2023).

Objetivo General

Diseñar un protocolo de intervención clínica basado en la terapia de espejo con realidad virtual (VR-MT) y monitorización con sensores inerciales (IMU), orientado a potenciar la recuperación motora del miembro superior en pacientes post-ictus.

Objetivos Específicos

- Seleccionar las herramientas de evaluación para medir los cambios motores del miembro superior tras la intervención con VR-MT.
- Establecer la dosificación y temporalización óptima del programa terapéutico, definiendo la frecuencia semanal, la duración de las sesiones y la distribución del tiempo.
- Delimitar los criterios de inclusión y exclusión para identificar el perfil de paciente post-ictus que obtenga el mayor beneficio de la intervención de forma segura.
- Estructurar una propuesta de actividades virtuales, orientadas a maximizar la funcionalidad.

Nivel de Evidencia Científica:

Para estructurar el protocolo de forma rigurosa priorizando la seguridad en su aplicación, se clasificó los estudios utilizados, teniendo en cuenta los criterios del Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM).

Los estudios con evidencia de nivel 1, que son los que respaldan la eficacia de la implementación de realidad virtual y terapia de espejo (VR-MT), son el meta-análisis de Gao et al. (2025) con 14 ensayos clínicos aleatorios (ECA) en el que se confirma el impacto positivo de la técnica en la función motora; el trabajo de Hussain et al. (2024) que analiza los efectos en el control distal y la destreza fina; y el estudio de Okamura et al. (2024) que se enfoca en el análisis cinemático para la recuperación del miembro superior.

En cuanto a la evidencia de nivel 2, el protocolo incorpora ensayos clínicos individuales. Dentro de ellos se destaca el ECA de diseño ciego simple realizado por Hsu et al. (2022) con 54 participantes, que compara la terapia convencional,

el espejo analógico y la alternativa virtual. Asimismo, se incluye el estudio de Mekbib et al. (2020) que, si bien cuenta con una muestra reducida ($n=8$), resulta clave para el marco neurofisiológico al aportar datos de reorganización cortical mediante resonancia magnética funcional.

Finalmente se encuentran los estudios con evidencia de nivel 4 (estudios piloto, revisiones de alcance y análisis de usabilidad). La revisión de Gebreheat et al. (2024) permite comprender los conceptos de seguridad en entornos virtuales, Da Silva Jaques et al. (2023) evalúan la usabilidad y la carga de trabajo del usuario post-ictus al interactuar con sistemas inmersivos versus tradicionales. Por último, el estudio piloto de De Pasquale et al. (2025) sobre el sistema VVITA ofrece las pautas operativas y de tolerancia en adultos mayores que se tomaron como referencia para prevenir la cibernesinosis.

A partir de este análisis, el protocolo clínico se respalda en un grado de recomendación B según los criterios de la OCEBM. Esto significa que la intervención planteada no es solo una propuesta teórica, sino una alternativa justificada, segura y viable para su traslado a la práctica clínica.

Metodología e instrumentos de valoración

El protocolo clínico se plantea como un modelo de intervención complementaria, dirigido a la población con secuelas motoras en la extremidad superior a causa de un ictus. La metodología del protocolo se divide en tres apartados fundamentales: el perfil de los pacientes participantes, el establecimiento de la dosificación del tratamiento y la estructuración del uso de las herramientas y escalas de evaluación.

Criterios de Inclusión:

- a) Pacientes adultos con diagnóstico de accidente cerebrovascular, de etiología tanto isquémica como hemorrágica, y que se encuentren en fase subaguda (menos de 6 meses de evolución), o crónica (más de 6 meses de evolución). Ya que se ha demostrado, en ambos estadios, beneficios clínicos con la VR-MT. (De Pasquale et al., 2025; Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024; Mekbib et al., 2020a; Okamura et al., 2024)
- b) Presencia de hemiparesia o déficit motor en el miembro superior medible mediante herramientas de evaluación estandarizadas. Se establece un rango de puntuación inicial en la escala Fugl-Meyer Assessment para el Miembro Superior (FMA-UE) de entre 16 y 60 puntos, lo que determina una capacidad motora pobre hasta notable. (Da Silva Jaques et al., 2023; De Pasquale et al., 2025; Hsu et al., 2022).
- c) La capacidad cognitiva del paciente debe estar preservada, de manera que le permita comprender las instrucciones, interactuar de manera autónoma con las actividades virtuales y asimilar la ilusión del espejo (De Pasquale et al., 2025). Se establece una puntuación mayor o igual a 24 puntos en el Mini-Mental State Examination (MMSE) para consolidar el aprendizaje motor (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024)
- d) Pacientes con integridad sensorial (visual y auditiva) suficiente, que permita el uso óptimo del visor inmersivo (Mekbib et al., 2020)

Criterios de Exclusión:

- a) Puntuaciones en la escala MMSE inferiores a 24 puntos o presencia de déficits sensoriales graves que impidan la inmersión visual o la captación de estímulos auditivos (Mekbib et al., 2020)
- b) Presencia de afasia global, heminegligencia grave (Da Silva Jaques et al., 2023; Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024), o alteraciones severas del estado de ánimo que comprometan la participación activa y el compromiso con el programa de entrenamiento (De Pasquale et al., 2025).
- c) Pacientes con antecedentes de trastornos vestibulares, vértigo, propensión al mareo por simulación o diagnóstico de epilepsia fotosensible, debido a los estímulos visuales continuos de los visores inmersivos (Da Silva Jaques et al., 2023)
- d) Pacientes que muestren fragilidad cervical o un rechazo manifiesto a la tecnología, dado a que en el estudio realizado por Da Silva Jaques et al. (2023) se reportaron niveles altos de incomodidad física con el peso de los visores y bajas puntuaciones de usabilidad percibida en este grupo.

Dosificación y Temporalización

Este protocolo divide la intervención en dos esquemas diferentes de duración y frecuencia, adaptando la dosis de tratamiento según el tiempo de evolución de la lesión. Todo ello para estimular la plasticidad cerebral de forma eficaz.

- **Esquema para fase subaguda:** duración de **4 semanas** con una frecuencia de **4 días por semana**, con el objetivo de maximizar la entrada de información sensorial hacia el hemisferio dañado, aprovechando la ventana de máxima plasticidad y recuperación del paciente (Mekbib et al., 2020).
- **Esquema para fase crónica:** duración de **9 semanas consecutivas** con una frecuencia de **2 días por semana** (Hsu et al., 2022), ya que los pacientes crónicos necesitan un periodo largo de práctica repetitiva para

romper el estancamiento motor y asentar el reaprendizaje, cuidando siempre de no provocar fatiga. (Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024).

- **Estructura de la sesión tipo:** cada intervención mantendrá una duración de **50 minutos totales**, divididos en dos bloques secuenciales e integrados (Hsu et al., 2022):
 1. Bloque VR-MT (30 minutos): entrenamiento inmersivo e interactivo centrado en la ilusión del espejo virtual, el cual incorpora micro-descansos de 20 segundos entre actividades y un macro-descanso de 3 minutos con retirada del visor en el minuto 15 para control de la fatiga (De Pasquale et al., 2025).
 2. Bloque Funcional Tradicional (20 minutos): Ejecución de tareas funcionales convencionales.

Instrumentos de valoración clínica

La propuesta de evaluación de este protocolo se basa en combinar las escalas clínicas tradicionales, utilizadas habitualmente en el ámbito de la neurorrehabilitación, junto con las mediciones objetivas de los sensores inerciales. Al combinar ambas herramientas, podemos relacionar de forma clara el progreso físico con las mediciones reales y exactas del movimiento del paciente.

- **Herramientas de valoración clínica:**
 - **Fugl-Meyer Assessment para el Miembro Superior (FMA-UE):** es la herramienta más utilizada debido a su aceptación universal y solidez metodológica (Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024; Okamura et al., 2024; Hussain et al., 2024). Evalúa de forma cualitativa apartados de rango articular, reflejos y control motor voluntario mediante una escala de 0 a 66 puntos.
 - **Mini-Mental State Examination (MMSE):** se aplica en la fase de valoración inicial, el propósito de su inclusión es verificar que el paciente alcance o supere el umbral de 24 puntos, una puntuación mínima que se considera indispensable para garantizar la asimilación de las

instrucciones y la consolidación del aprendizaje motor durante las sesiones virtuales (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024).

- **Box and Block Test (BBT):** test complementario destinado a evaluar la destreza manual gruesa y la velocidad de prensión y liberación de objetos (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024).
- **Unidad de medición inercial (sensores IMU)**

A diferencia de los estudios previos, este protocolo incorpora sensores inerciales (IMU) para registrar de forma objetiva el movimiento real del paciente durante las actividades. Al obtener parámetros cinemáticos exactos, estas herramientas nos proporcionan los datos necesarios para aplicar la capacidad adaptativa que plantean teóricamente De Pasquale et al. (2025). Los sensores miden los grados de amplitud articular (ROM) en el hombro, el codo y la muñeca para configurar el espacio virtual, lo que nos permite acercar o alejar los objetivos lúdicos según la movilidad real del brazo. Al mismo tiempo, el registro de la velocidad angular y la aceleración nos ayuda a evaluar la fluidez de los trayectos de alcance y a detectar a tiempo la fatiga del usuario, mientras que el análisis de la trayectoria y la precisión cinemática sirve para calibrar la tolerancia al esfuerzo, exigiendo movimientos cada vez más estables y limpios para validar las tareas del juego como exitosas.



Criterios de eficacia y resultados esperados

Criterios de eficacia clínica

El éxito terapéutico a nivel clínico se determinará mediante la evolución de las puntuaciones en las escalas estandarizadas entre la evaluación inicial (pre-test) y la evaluación final (post-test). En cuanto a la función motora global, el criterio principal de eficacia exige que el incremento en la puntuación de la evaluación Fugl-Meyer Assessment no solo sea estadísticamente significativo, sino que supere el umbral de la diferencia mínima clínicamente importante (MCID), establecida en el estudio de Gao et al. (2025), entre los 4.25 y 7.25 puntos. Superar este margen supone que las mejoras en el control motor voluntario son perceptibles y funcionales para el paciente en su vida diaria (Gao et al., 2025). Por otro lado, la destreza manual gruesa y velocidad se evaluará mediante la prueba BBT, estableciéndose como criterio de eficacia el aumento en el número de bloques desplazados en el transcurso de un minuto, lo que indicará una mejora en los mecanismos de prensión, transporte y liberación de objetos (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024).

Resultados esperados en el control motor

A partir de la revisión de los estudios, la cual muestra datos contradictorios entre sí, se proyectan los siguientes resultados tras la aplicación de este protocolo:

- Se espera observar una recuperación conjunta en todo el miembro superior, respaldada por la evidencia que asocia la VR-MT con mejoras en la función motora global (Gao et al., 2025; Okamura et al., 2024).
- Aunque algunos análisis individuales muestran discrepancias en la función global inmediata (Hussain et al., 2024), la evidencia indica que el protocolo propuesto facilitara la coordinación de la extremidad y la destreza manual a largo plazo (Hsu et al., 2022). Esto se fundamenta en que el entorno virtual inmersivo capta por completo la atención del usuario, reduciendo las distracciones del gimnasio tradicional (da Silva Jaques et al., 2023) y potenciando los procesos de plasticidad cerebral (Mekbib et al., 2020).

- Se prevé que la estimulación visual repetitiva ayude a reorganizar las áreas motoras del cerebro. Tomando como base el estudio de Mekbib et al. (2020), se espera un aumento en la conectividad funcional entre las cortezas motoras de ambos hemisferios (M1-M1), un cambio biológico que se relaciona directamente con la mejora de las puntuaciones en la escala Fugl-Meyer (Mekbib et al., 2020).
- En cuanto a los datos medidos por los sensores inerciales (IMU), y de acuerdo con los hallazgos de De Pasquale et al. (2025), se espera observar un incremento en la velocidad de los movimientos de alcance del paciente. Asimismo, se proyecta una disminución progresiva en el nivel de asistencia que el usuario necesita para completar las tareas (De Pasquale et al., 2025).
- Tomando como referencia el análisis de Gao et al. (2025), se sabe que los pacientes en fase crónica (aquellos con más de seis meses de evolución desde el ictus) tienen potencial de alcanzar mejoras significativas en la escala FMA-UE tras recibir entrenamiento con VR-MT. Sin embargo, se advierte que estos cambios no siempre son suficientes para superar el umbral de importancia clínica, por ello el protocolo se estructura combinando la tecnología con el entrenamiento funcional tradicional. De este modo, se busca transferir los avances motores hacia la práctica diaria del usuario.
- Se espera que el protocolo logre una alta participación de los usuarios debido al atractivo de la realidad virtual (Gebreheat et al., 2024; De Pasquale et al., 2025). Sin embargo, como se señala en el estudio de Da Silva Jaques et al. (2023), las gafas inmersivas pueden resultar incómodas por su peso o provocar mareos y náuseas, por lo tanto, el éxito en la continuidad del tratamiento dependerá de respetar los descansos intermedios diseñados en la metodología para evitar la fatiga y la cibersinetosis.

Discusión y valoración crítica

El diseño de este protocolo clínico surge para valorar la eficacia de la terapia de espejo con realidad virtual en la recuperación del miembro superior después de un ictus. La ventaja de esta propuesta es que combina dos enfoques, no busca sustituir la terapia tradicional sino que suma una tecnología inmersiva de 30 minutos y añade al final 20 minutos de tareas prácticas para asegurar que el paciente pueda aplicar lo aprendido (Hsu et al., 2022).

Al revisar los estudios científicos previos, se observa que los resultados son variados. Algunos análisis globales como los de Gao et al. (2025) y Okamura et al. (2024) afirman que la realidad virtual mejora notablemente la movilidad de todo el brazo según la escala Fugl-Meyer Assessment, otros estudios, como los de Hsu et. al (2022) y Hussain et. al (2024) no encontraron cambios tan grandes en la puntuación total. Ante esta diferencia de datos, este protocolo no se limita al análisis de un segmento aislado, sino que se diseña para buscar la recuperación funcional de todo el miembro superior, dado que la movilidad global de la extremidad requiere una activación coordinada que abarca desde el control proximal del hombro y el codo hasta la destreza distal de la muñeca y la mano, asegurando así un movimiento armónico y verdaderamente útil para el paciente. Desde la perspectiva neurofisiológica, el movimiento voluntario depende de una red en la que interactúan la planificación cortical, la ejecución espinal y la retroalimentación sensorial. Después de un ictus, la terapia de espejo con realidad virtual ayuda a reorganizar estos circuitos cerebrales activando el sistema de neuronas espejo gracias a los estímulos visuales continuos. Esta retroalimentación visual continua que experimenta el paciente al ver el movimiento reflejado de su miembro sano en su miembro afectado actúa como un estímulo potente para la plasticidad cerebral (Mekbib et al., 2020). Al forzar la atención visual sobre el entorno virtual e impedir las distracciones habituales del gimnasio de rehabilitación (da Silva Jaques et al., 2023), se potencia la activación de la red de observación de acciones, lo que se correlaciona con la mejora clínica (Mekbib et al., 2020).

Por último, al incluir los sensores inerciales (IMU) se busca medir de forma exacta el rango de movimiento real y la velocidad del miembro superior. El uso de estos sensores que emite datos precisos permite que el profesional pueda

ajustar la dificultad de los ejercicios virtuales a la capacidad física real del paciente en cada momento. Además, ayudara a medir las mejoras logradas.

Limitaciones del protocolo de intervención

A pesar de los resultados esperados con la aplicación del presente protocolo, es necesario reconocer que esta propuesta presenta ciertas limitaciones prácticas y metodológicas. Por un lado, aunque los sensores IMU registran el progreso de forma objetiva, el software de realidad virtual no modifica su dificultad de manera automática, por lo que el profesional debe realizar la tarea de interpretar las mediciones y ajustar manualmente los parámetros del juego. Asimismo, el uso de las gafas de realidad virtual pueden ser un reto para las personas mayores que han sufrido un ictus. El peso del visor puede cansar el cuello y existe el riesgo de sufrir mareos o náuseas por la simulación (cibersinetosis) (da Silva Jaques et al., 2023), el cual se intenta evitar mediante descansos pautados, pero sigue condicionando la experiencia de algunos usuarios.

Desde una perspectiva metodológica, se debe considerar que parte de la evidencia científica de soporte viene de estudios piloto con muestras pequeñas o diseños iniciales de nivel 4, como el desarrollo del sistema VVITA en el estudio de De Pasquale et al. (2025). Al tratarse de investigaciones preliminares, sus resultados sobre el uso de tecnologías requieren un análisis crítico y flexible adaptado a la realidad clínica.

Conclusiones

Este trabajo sostiene que la realidad virtual inmersiva unida a la terapia de espejo es una opción viable, motivadora y medible para la rehabilitación del miembro superior tras un ictus. El protocolo propuesto organiza su estructura en tres pilares fundamentales.

En primer lugar, propone una dosis de tratamiento según la fase en donde se encuentre el paciente. Para la fase subaguda, define un programa corto e intensivo que aprovecha el momento de mayor plasticidad del cerebro (Mekbib et al., 2020). Para la fase crónica, establece un programa más largo y espaciado que ayuda a romper el estancamiento motor mediante la repetición (Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024). Al combinar la realidad virtual con la terapia convencional, se busca que la mejora de la movilidad global del brazo se traslade a las actividades de la vida diaria (Hussain et al., 2024).

En segundo lugar, busca disminuir la falta de mediciones objetivas mediante la incorporación de sensores IMU, los cuales registran parámetros cuantitativos de los movimientos.

Por último, el protocolo aborda el miembro superior de manera global a través de su cadena cinética. Esto significa que se evitara centrar el tratamiento en articulaciones aisladas; al contrario, se asume que ganar estabilidad y control motor en el hombro y el codo es el paso previo para que la muñeca y la mano puedan recuperar su precisión y funcionalidad en el día a día (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024).

Con el desarrollo del presente protocolo, lo que se busca es poner a prueba y evaluar la eficacia de la realidad virtual combinada con la terapia de espejo. El propósito no es sustituir la práctica convencional, sino explorar si la digitalización de esta técnica consigue una mejora real en la movilidad del miembro superior. Al diseñar este protocolo, se plantea una alternativa que hace la rehabilitación más motivadora a través del juego, pero ofreciendo al mismo tiempo un método de trabajo riguroso, seguro y viable dentro de los programas actuales de neurorrehabilitación.

ANEXO I

PROTOCOLO DE INTERVENCIÓN

Población diana y criterios de selección

Basado en la unión de los criterios de inclusión y exclusión de los estudios previos se establece el siguiente perfil de elegibilidad:

Criterios de inclusión:

- Pacientes adultos con diagnóstico de accidente cerebrovascular, de etiología tanto isquémica como hemorrágica (Hsu et al., 2022; Huang et al., 2022). Se incluirán sujetos en fase subaguda (menos de 6 meses de evolución) (Mekbib et al., 2020), o crónica (más de 6 meses de evolución) (De Pasquale et al., 2025; Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024; Okamura et al., 2024).
- Presencia de hemiparesia o déficit motor en el miembro superior. Se establece un rango de puntuación inicial en la escala Fugl-Meyer Assessment para el Miembro Superior (FMA-UE) de entre 16 y 60 puntos, lo que significa una capacidad motora pobre hasta notable (Da Silva Jaques et al., 2023; De Pasquale et al., 2025; Hsu et al., 2022).
- Capacidad cognitiva preservada que permita comprender las instrucciones, interactuar de manera autónoma con las actividades virtuales y asimilar la ilusión del espejo (De Pasquale et al., 2025). Se exige una puntuación mayor o igual a 24 puntos en el Mini-Mental State Examination (MMSE) para consolidar el aprendizaje motor (Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024)
- Pacientes con integridad sensorial (visual y auditiva) suficiente para el uso de visores inmersivos (Mekbib et al., 2020)

Criterios de exclusión:

- Puntuaciones en la escala MMSE inferiores a 24 puntos o presencia de déficits sensoriales graves que impidan la inmersión visual o la captación de estímulos auditivos (Mekbib et al., 2020)

- Presencia de afasia global, heminegligencia grave (Da Silva Jaques et al., 2023; Hsu et al., 2022; Okamura et al., 2024), o alteraciones severas del estado de ánimo que comprometan la participación activa y el compromiso con el programa de entrenamiento (De Pasquale et al., 2025).
- Pacientes con antecedentes de trastornos vestibulares, vértigo, propensión severa al mareo por simulación o diagnóstico de epilepsia fotosensible, debido a los estímulos visuales continuos de los visores inmersivos (Da Silva Jaques et al., 2023)
- Pacientes que muestren fragilidad cervical o un rechazo manifiesto a la tecnología, dado que se reportan niveles altos de incomodidad física con el peso de los visores y bajas puntuaciones de usabilidad percibida en este grupo (Da Silva Jaques et al., 2023)

Dosificación

La dosificación varía según la cronicidad de la lesión:

Fase Subaguda (2 a 6 meses): Se pauta una duración de 4 semanas. Este periodo se fundamenta en la necesidad de aprovechar la ventana de plasticidad neural activa, situándose entre los protocolos cortos de Mekbib et al. (2020) y las pautas estándar de los meta-análisis (Gao et al., 2025; Okamura et al., 2024)

Fase Crónica (más de 6 meses): Se pauta una duración de 9 semanas consecutivas. Esta decisión se ampara en los hallazgos de Gebreheat et al. (2024), Hsu et al. (2022) y Gao et al. (2025), de que el paciente crónico requiere de un periodo prolongado de alta repetición para romper la meseta terapéutica y consolidar el re-aprendizaje motor.

Frecuencia:

Fase Subaguda: Se establece una frecuencia de 4 días por semana. Se prioriza la máxima saturación de estímulos aferentes (Mekbib et al., 2020)

Fase Crónica: Se establece una frecuencia de 2 días por semana, tomando como referencia el protocolo de Hsu et al. (2022). Esta organización busca favorecer la adherencia al tratamiento en pacientes ambulatorios y disminuir el riesgo de fatiga.

Duración de la sesión:

Cada sesión mantendrá una duración de 50 minutos totales, adaptando el modelo propuesto por Hsu et al. (2022). El tiempo se dividirá en dos bloques:

1. Bloque VR-MT (30 minutos): Entrenamiento inmersivo interactivo centrado en la ilusión del espejo virtual.
2. Bloque Funcional Tradicional (20 minutos): consiste en la ejecución de tareas funcionales.

La dosis que ha mostrado resultados clínicos estadísticamente significativos es aquella que combina entre 30 y 60 minutos de VR-MT junto con el entrenamiento de tareas funcionales (Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024).

Pautas de descanso:

Micro-descansos (entre series de ejercicios): Durante los 30 minutos de entrenamiento virtual, se pautarán pausas de 20 segundos entre cada actividad (Sip et al., 2023)

Macro-descanso con retirada del visor (A mitad del bloque): Siguiendo la metodología de seguridad de De Pasquale et al. (2025), al alcanzar el minuto 15 (mitad de la sesión de RV), se procederá a la retirada del visor de realidad virtual durante un periodo de 3 minutos.

Especificación del entorno tecnológico

- Hardware: El entorno de hardware se diseña bajo un modelo de Realidad Virtual Inmersiva (IVR) basado en visores montados en la cabeza (Head-Mounted Displays o HMD). El equipamiento consta de:

- Dispositivo de visualización (HMD): se utiliza un visor inmersivo autónomo (dentro de las gamas comerciales validadas por los estudios como Meta/Oculus, HTC Vive o Pico) (Gao et al., 2025; Gebreheat et al., 2024).



- Sistema de captura de movimiento gestual: se prescinde de mandos físicos. La cinemática de las manos se registra en tiempo real gracias a las cámaras ópticas integradas en el propio visor. Esta tecnología funciona de manera equivalente al sensor leap motion controller que se usa en el ámbito clínico para capturar los movimientos de la mano sana y proyectar su reflejo simétrico en el entorno virtual (Gao et al., 2025; Hsu et al., 2022; Sip et al., 2023). Esto elimina las barreras biomecánicas en pacientes con flexión espástica o parálisis severa que no pueden utilizar un mando (Mekbib et al., 2020).
- Software e interfaz: El software que se utiliza para la rehabilitación funciona en 3D y está desarrollado con el programa Unity3D, basándose en la tecnología que proponen autores como Hsu et al. (2022) y Okamura et al. (2024). El entorno virtual se representa en perspectiva de primera persona, donde el software calcula la posición simétrica del miembro sano para proyectar en tiempo real la mano virtual afectada en movimiento (Hsu et al., 2022), generando la ilusión óptica reflectante (virtual mirror hand) necesaria para activar la corteza motora (Gebreheat et al., 2024; Hussain et al., 2024). La representación del miembro superior adopta una estética abstracta, mediante un modelado en color azul

claro y translúcido.

Al completarse con éxito cada acción, el software ofrece una respuesta visual y auditiva (Feedback).

Este estímulo es

clave para reforzar el aprendizaje motor del paciente (Hussain et al., 2024).



Estructura de las actividades

1. Fases de progresión

- Fase inicial: se centra en movimientos analíticos y globales del hombro y el codo. El objetivo principal es estimular el rango de movimiento y la fuerza proximal mediante alcances directos en planos bidimensionales y tridimensionales (Mekbib et al., 2020).
- Fase media: se introducen tareas que exigen una mayor precisión, como ser la pronosupinación y la estabilización o flexo-extensión de la muñeca durante el trayecto del movimiento (Hsu et al., 2022).
- Fase avanzada: orientada a la combinación de movimientos complejos (que requieran el uso de muchas articulaciones) y a la velocidad de reacción. Se busca fortalecer el control del miembro superior en todo el espacio de trabajo virtual.

2. Sistemas de asistencia adaptativa

Se propone que el ajuste de la dificultad se configure manualmente antes de iniciar cada bloque de actividad (Mekbib et al., 2020). Para garantizar que esta toma de decisiones sea objetiva, el protocolo se apoya en los datos (rango de movimiento, velocidad y aceleración) de los sensores cinemáticos (IMU), actuaran como biomarcadores del desempeño, permitiendo al profesional ajustar el entorno virtual. Tomando como base teórica los parámetros de capacidad descritos por De Pasquale et al. (2025), el profesional configurará el software al

inicio de la sesión o entre bloques de ejercicios teniendo en cuenta dos variables fundamentales:

- Exigencia del rango de movimiento (ROM): utilizando las mediciones de las IMU sobre el brazo parético, el profesional ajusta la ubicación espacial de los objetivos en la VR. Se puede progresar desde un nivel de asistencia (objetivos colocados estrictamente dentro del rango alcanzable actual del paciente) hasta niveles de mayor desafío (ubicando los objetivos en rangos que exijan).
- Tolerancia al esfuerzo y precisión: se ajustará manualmente, exigiendo trayectorias más limpias o tiempos de ejecución más estrictos (reduciendo el tiempo límite por intento) a medida que los registros de los sensores muestren una mejora en el control motor.

Para estandarizar la toma de decisiones sobre cuándo modificar la dificultad de las tareas, el protocolo adopta la regla del 70-90% (De Pasquale et al., 2025), trasladada al juicio clínico del profesional. Tras finalizar un bloque de repeticiones, se analizará la tasa de éxito y los datos cinemáticos:

- Éxito > 90%: El profesional aumenta manualmente la dificultad para el siguiente bloque (aleja objetivos, reduce tiempos o cambia a una tarea más compleja) para evitar el efecto techo.
- Éxito entre 70% y 90%: Se considera que el paciente está en la zona óptima de aprendizaje motor. El profesional mantiene la configuración actual para el siguiente bloque.
- Éxito < 70%: Indica que la tarea es excesivamente demandante, lo que puede significar fatiga. El profesional reduce la dificultad para mantener la motivación y la reserva metabólica del paciente.

3. Transición de las fases

La transición del paciente a lo largo de las tres fases de progresión dependerá del cumplimiento de criterios. Se tendrá en cuenta las fases funcionales, los datos de los sensores inerciales (IMU) y la regla del 70-90% (De Pasquale et al., 2025). La dificultad intra-fase se ajusta mediante los parámetros de capacidad, mientras que el salto inter-fase (cambio en los tipos de ejercicio y planos de movimiento) se ejecuta cuando el paciente logra el éxito motor en la fase previa.

- **Fase inicial:** se centra en alcances y en tareas de desplazamiento y arrastre de objetos virtuales (ej. el empuje de bloques). Utilizando los datos del sensor inercial, se ajustan los objetivos en los planos sagital y frontal dentro del rango de movimiento (ROM) del paciente, con menos exigencia al comienzo con la alineación y la precisión en el codo y el hombro. Si el usuario registra un éxito menor al 70%, se reduce el alcance; si se mantiene en la franja del 70-90%, se conserva, y si supera el 90%, se aumenta la velocidad demandada. Para pasar a la siguiente fase, el paciente debe conseguir un éxito superior al 90% en tres bloques de actividad consecutivos, logrando alcanzar el límite de su ROM en el brazo afectado sin realizar compensaciones posturales.
- **Fase media:** se incorporan tareas que demandan pronosupinación y la estabilización activa de la muñeca durante todo el trayecto de alcance. Se distribuyen los objetivos virtuales en diferentes planos del espacio en tres dimensiones, lo que aumenta la dificultad al pedirle al paciente que intente realizar trayectorias lo más directas y rectas posibles. Ante un rendimiento inferior al 70%, se flexibilizan los grados exigidos de pronosupinación, mientras que al superar el 90% de aciertos se reduce el límite de tiempo de ejecución para añadir velocidad. El paso a la última etapa se da en el caso que se logre más del 90% de éxito en tres bloques seguidos combinando alcance y pronosupinación, demostrando un control estricto de la muñeca con desviaciones inferiores a los 10° respecto al eje neutro según el registro de la IMU.
- **Fase avanzada:** se busca estimular la coordinación ojo-mano del paciente mediante ejercicios virtuales que demandan una mayor destreza. Se sitúan los objetivos virtuales de modo que el paciente llegue a su ROM máximo, que equivaldría al del brazo sano contralateral, estableciendo un tiempo reactivo de menos de 20 segundos por tarea. Si el paciente experimenta dificultades y desciende de un 70% de efectividad, se disminuye la velocidad de los objetos virtuales; si se mantiene en el rango del 70-90%, la práctica será en los parámetros de máxima exigencia para lograr el reaprendizaje motor y su transferencia funcional a la vida diaria.

Antes de realizar el cambio de fase, el profesional verifica en el software que el incremento del rango de movimiento o de la precisión refleje una ganancia real en las articulaciones y que no sea gracias a una compensación. Si los sensores inerciales o la observación directa revelan que el éxito >90% se logra mediante compensaciones biomecánicas, el cambio de fase queda bloqueado.

Tipología de ejercicios

Las actividades virtuales propuestas se basan en tareas orientadas a objetivos y ejercicios funcionales respaldados por los estudios consultados.

Las principales tareas incluidas en el protocolo son:

- Ejercicios de alcance hacia objetivos virtuales: consisten en la proyección de estímulos interactivos en diferentes direcciones y alturas dentro del campo visual. Están basados en las tareas de alcance desarrolladas por Mekbib et al. (2020) y descritas en la revisión de Gebreheat et al. (2024), incidiendo en la velocidad de reacción y el control cinemático general.
- Desplazamiento y arrastre ("empuje de bloques"): actividad orientada específicamente al entrenamiento proximal y a la coordinación bilateral. Sigue los principios de las tareas funcionales gamificadas reportadas por Gebreheat et al. (2024) y se alinea con los entornos ecológicos bimanuales descritos por De Pasquale et al. (2025) para potenciar la coactivación muscular coordinada.



- Movimientos de flexo-extensión de muñeca: ejercicios basados en la secuencia de entrenamiento para la articulación de la muñeca y el antebrazo aplicada por Hsu et al. (2022), orientados a mantener la estabilidad articular durante los desplazamientos espaciales.
- Movimientos de pronosupinación de antebrazo: Tareas analíticas, descritas también por Hsu et al. (2022).

- Tareas de coordinación óculo-manual: desarrolladas mediante dinámicas de alcance, seguimiento visual guiado e interacción con objetos en movimiento, siguiendo las recomendaciones para sistemas de rehabilitación recopiladas por Gebreheat et al. (2024).
- Actividades gamificadas de interacción con objetos dinámicos: tareas lúdicas descritas por Gebreheat et al. (2024). Estas dinámicas actúan como estrategias de refuerzo motivadoras, orientadas a incrementar el volumen de repeticiones y a maximizar la adherencia terapéutica a lo largo de las semanas de intervención.

Cronograma de la intervención

Basado en los modelos de Hsu et al. (2022) y De Pasquale et al. (2025), la intervención se estructura en:

1. Evaluación inicial (Pre-test)

Se llevará a cabo una sesión dedicada exclusivamente a la toma de medidas basales para determinar el estado funcional del paciente.

- Evaluación clínica: Se utilizará la escala Fugl-Meyer Assessment para el Miembro Superior (FMA-UE) como medida primaria, complementada con la evaluación del estado cognitivo mediante el Mini-Mental State Examination (MMSE) para asegurar el cumplimiento de los criterios de inclusión. De forma complementaria, se podrán integrar pruebas como Box and Block Test (BBT) para valorar la destreza manual gruesa.
- Evaluación biométrica: Se realizará una primera lectura con los sensores cinemáticos (IMU) para registrar el rango de movimiento (ROM) máximo activo del miembro superior afecto, estableciendo así el punto de partida para la calibración del software.

2. Sesión de familiarización (semana 0)

Siguiendo el enfoque de da Silva Jaques et al. (2023) y De Pasquale et al. (2025), el paciente será instruido para sentarse cómodamente y colocarse el dispositivo

de visualización (HMD). El paciente explorará el entorno inmersivo sin exigencia motora, asimilando la ilusión óptica reflectante (Virtual Mirror Hand).

Durante esta sesión, el terapeuta monitorizará la tolerancia sensorial, descartando la aparición de vértigo o cibersinetosis grave que requiera la interrupción del protocolo.

3. Estructura de la sesión

La intervención constará de 4 sesiones semanales para pacientes en fase subaguda y 2 sesiones semanales para aquellos en fase crónica. Cada sesión tendrá una duración total de 50 minutos, dividiéndose en dos bloques:

- Minuto 00 - 05: preparación y calibración. Posicionamiento del paciente y colocación de los sensores IMU y el visor HMD. El profesional registra el ROM y configura manualmente el nivel de exigencia de la sesión basándose en la tasa de éxito (Regla del 70-90%) del último día de tratamiento.
- Minuto 05 - 17: Bloque VR-MT (Parte I). Entrenamiento inmersivo interactivo. El paciente realiza ejercicios guiados por el brazo sano. Se pautan micro-descansos de 20 segundos entre cada serie o actividad virtual.
- Minuto 17 - 20: Macro-descanso de seguridad. Para prevenir la cibersinetosis y la fatiga cognitiva, se procede a la retirada del visor de realidad virtual durante un periodo ininterrumpido de 3 minutos, replicando el modelo de seguridad propuesto por De Pasquale et al. (2025).
- Minuto 20 - 30: Bloque VR-MT (Parte II). Reanudación del entrenamiento virtual.
- Minuto 30 - 50: Entrenamiento funcional tradicional. Retirada definitiva del equipamiento tecnológico. Los últimos 20 minutos se destinan a la ejecución de tareas funcionales convencionales.



4. Evaluación final (Post-test)

Después de concluir la cuarta semana de intervención (para pacientes subagudos) o la novena semana (para pacientes crónicos), se procederá a la reevaluación.

- Se replicará el protocolo de medición exacto de la evaluación inicial (FMA-UE, MMSE, y escalas secundarias).
- Se extraerá el informe definitivo de los datos cinemáticos (IMU) recogidos por el software para analizar la evolución objetiva de las trayectorias, la velocidad y la amplitud articular.

Plan de seguridad y criterios de interrupción

Para disminuir los riesgos, se establece el siguiente plan de seguridad estructurado en tres niveles de actuación:

1. Monitoreo

- Prevención de la fatiga y frustración: el software se configurará con límites de tiempo por tarea (20 segundos de tiempo máximo por intento de alcance) para mantener la eficiencia motora (De Pasquale et al., 2025). Asimismo, si la tasa de éxito del paciente es por debajo del 70%, el terapeuta reducirá la dificultad para evitar la frustración.
- Control de cibernetosis: siguiendo lo planteado por Gebreheat et al. (2024), se vigilará la aparición de síntomas como náuseas, dolor de cabeza o malestar visual. Además, se prestará especial atención a la tolerancia del paciente al peso y ajuste del visor (da Silva Jaques et al., 2023).
- Supervisión postural: el profesional observará el desempeño del paciente en tiempo real mediante una pantalla externa (Mekbib et al., 2020), interviniendo físicamente para corregir compensaciones (como la flexión excesiva del tronco o la elevación escapular). (De Pasquale et al., 2025).

2. Criterios de interrupción transitoria

La sesión se detendrá momentáneamente, permitiendo al paciente descansar si ante cualquier solicitud verbal o gestual debido a irritación, sobrecarga sensorial, o aparición de sintomatología leve de cibernetosis (mareo transitorio, fatiga visual) (da Silva Jaques et al., 2023). Así mismo, si se detectan actitudes de fatiga física (temblor, claudicación del miembro superior) o una desalineación postural que no pueda corregirse mediante una orden verbal.

3. Criterios de interrupción del protocolo

Un paciente será dado de baja del programa de intervención si manifiesta o experimenta una aparición de lesiones en el miembro superior, vértigo severo, caídas o perturbaciones visuales persistentes relacionados a la intervención (Hsu et al., 2022). También por rechazo a la tecnología tras las sesiones iniciales, rechazo al aislamiento visual, agitación psicomotriz provocada por el entorno

inmersivo, o incapacidad para tolerar el peso del dispositivo HMD (Mekbib et al., 2020; da Silva Jaques et al., 2023). Así mismo por aparición de dolor musculoesquelético (ej. síndrome de hombro doloroso), o cualquier otro evento médico ajeno a la terapia que contraindique la continuidad.

Bibliografía

- Da Silva Jaques, E., Figueiredo, A. I., Schiavo, A., Loss, B. P., Da Silveira, G. H., Sangalli, V. A., Da Silva Melo, D. A., Xavier, L. L., Pinho, M. S., & Mestriner, R. G. (2023). Conventional Mirror Therapy versus Immersive Virtual Reality Mirror Therapy: The Perceived Usability after Stroke. *Stroke Research and Treatment*, 2023, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2023/5080699>
- De Pasquale, P., De Bartolo, D., Russo, M., Berger, D. J., Maselli, A., Borzelli, D., Colamarino, E., Mattia, D., Nissler, C., Nowak, M., Falomo, E., Soto Morras, J., Schiller, M. R., Castellini, C., Morone, G., & d'Avella, A. (2025). User-centered development of a personalized adaptive mirror therapy for upper-limb post-stroke rehabilitation using virtual reality and myoelectric control. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1655416. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1655416>
- Feigin, V. L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S. O., Pandian, J., Lindsay, P., F Grupper, M., & Rautalin, I. (2025). World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet 2025. *International Journal of Stroke*, 20(2), 132-144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
- Gao, C., Chen, Y., Wei, Y., Qiu, Y., Song, H., Gui, C., & Gao, Q. (2025). Combined Immersive and Nonimmersive Virtual Reality With Mirror Therapy for Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e73142-e73142. <https://doi.org/10.2196/73142>
- García Alfonso, C., Martínez Reyes, A. E., García, V., Ricaurte Fajardo, A., Torres, I., & Coral Casas, J. (2019). Actualización en diagnóstico y tratamiento del ataque cerebrovascular isquémico agudo. *Universitas Médica*, 60(3), 1-17. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed60-3.actu>
- Gebreheat, G., Antonopoulos, N., & Porter-Armstrong, A. (2024). Application of immersive virtual reality mirror therapy for upper limb rehabilitation after stroke: A scoping review. *Neurological Sciences*, 45(9), 4173-4184. <https://doi.org/10.1007/s10072-024-07543-3>

- Hsu, H.-Y., Kuo, L.-C., Lin, Y.-C., Su, F.-C., Yang, T.-H., & Lin, C.-W. (2022). Effects of a Virtual Reality–Based Mirror Therapy Program on Improving Sensorimotor Function of Hands in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 36(6), 335-345. <https://doi.org/10.1177/15459683221081430>
- Mekbib, D. B., Zhao, Z., Wang, J., Xu, B., Zhang, L., Cheng, R., Fang, S., Shao, Y., Yang, W., Han, J., Jiang, H., Zhu, J., Ye, X., Zhang, J., & Xu, D. (2020a). Proactive Motor Functional Recovery Following Immersive Virtual Reality–Based Limb Mirroring Therapy in Patients with Subacute Stroke. *Neurotherapeutics*, 17(4), 1919-1930. <https://doi.org/10.1007/s13311-020-00882-x>
- Okamura, R., Nakashima, A., Moriuchi, T., Fujiwara, K., Ohno, K., Higashi, T., & Tomori, K. (2024). Effects of a virtual reality-based mirror therapy system on upper extremity rehabilitation after stroke: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Neurology*, 14, 1298291. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1298291>
- Alhassani, G. (2022). Exploring the role of interhemispheric inhibition in musculoskeletal and neurological conditions [Tesis de doctorado, Western Sydney University]. ResearchDirect. <https://doi.org/10.26183/5yk3-6644>
- Hussain, F., Khursheed, M., Afzal, S., Khan, M. U., Hasan, A., & Hasnain, S. M. (2024). Effects of Virtual Reality-Based Mirror Therapy on Upper Extremity Motor Function, Manual Performance and Gross Manual Dexterity Among Stroke Patients: A Meta Analysis. *International journal of exercise science*, 17(7), 1219–1234. <https://doi.org/10.70252/FHOC5952>
- Wen, S., Zhu, S., Wang, J. et al. The clinical efficacy of virtual reality technology based on the mirror neuron theory in upper limb rehabilitation of stroke patients: a protocol for a randomized clinical trial. *Trials* (2026). <https://doi.org/10.1186/s13063-026-09557-y>
- McDermott, C. M., Seminer, A., Comer, S., Mulihano, A., Reddin, C., Judge, C., Costello, M., Canavan, M., Smyth, A., Hurley, P., Krewer, F., & O'Donnell,

M. J. (2025). Discrimination of ischemic versus hemorrhagic stroke type by presenting symptoms or signs: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 34(10), 108413. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2025.108413>