

Eficacia de la realidad virtual frente a otras intervenciones en la rehabilitación de la esclerosis múltiple en adultos: una revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados

FACULTAD DE MEDICINA, SALUD Y
DEPORTE



Universidad
Europea MADRID

Realizado por: Javier Fernández Bezanilla y Marina Angulo Plaza

Grupo: Mix61

Año Académico: 2024-2025

Tutor/a: María Dolores Sosa

Área: Revisión Bibliográfica

Documento de apto por parte del tutor.



Anexo 3

Informe y autorización del tutor para la defensa del TFG

Todo trabajo de fin de grado debe presentar los requisitos necesarios para ser presentado y defendido en base a los siguientes puntos:

- Asistencia y seguimiento
- Cumplimiento en tiempo y forma de las entregas establecidas por el tutor
- Formato y estructura
- Estilo y forma

Por tanto, la profesora M^a Dolores Sosa Reina, tutora de su trabajo de fin de grado, de la que son autores Marina Angulo Plaza y Javier Fernández Bezanilla

AUTORIZA la presentación del referido trabajo de fin de grado.

Comentarios si proceden:

Firma y fecha del tutor/a del trabajo de fin de grado

Firmado: M^a Dolores Sosa Reina
En Villaviocosa de Odón a 5 de junio de 2025

Resumen.

Introducción: La esclerosis múltiple es una patología neurológica que cursa con daño axonal y desmielinización provocando síntomas físicos y cognitivos. La evolución difiere entre pacientes, siendo la rehabilitación una herramienta imprescindible. Previamente los programas de fisioterapia se centraban en reeducación de la marcha, fuerza, capacidad aeróbica y equilibrio. Gracias a los avances tecnológicos, herramientas como la realidad virtual ofrecen una experiencia motivadora en el tratamiento del paciente con esclerosis múltiple, donde reciben información visual, auditiva, táctil, olfativa y de movimiento gracias a diferentes ambientes y objetos. **Objetivos:** el principal objetivo es evaluar la eficacia de la realidad virtual en la rehabilitación funcional de pacientes adultos con esclerosis múltiple, en comparación con otras intervenciones fisioterapéuticas convencionales. **Metodología:** se llevó a cabo una revisión sistemática a través de la búsqueda en las bases de datos “MEDLINE Complete”, “Academic Search Ultimate”, “CINAHL”, “SPORTDiscus”, “Rehabilitation & Sport Medicine Source” y “PEDro” de la biblioteca CRAI Dulce Chacón de la UEM. **Resultados:** Se obtienen un total de 11 resultados válidos, evaluando un total de 640 pacientes con una media de edad de 41,04 años. **Conclusiones:** la realidad virtual se presenta como una opción útil en la rehabilitación de personas con esclerosis múltiple, ayudando a reducir la fatiga y a mejorar aspectos como el equilibrio, la marcha o la coordinación, sobre todo cuando se combina con otras terapias como la tDCS. Aunque los resultados no son iguales en todos los casos, se destaca la importancia de que haya una intervención, de adaptar los ejercicios a cada persona y comenzar el tratamiento cuanto antes para lograr mejores resultados funcionales.

Palabras clave: Esclerosis Múltiple, rehabilitación, realidad virtual, fatiga, equilibrio, movilidad, velocidad de la marcha y destreza manual.

Abstract.

Introduction: Multiple sclerosis is a neurological disorder characterized by axonal damage and demyelination, causing physical and cognitive symptoms. The progression of the disease varies among patients leading to rehabilitation being an essential tool. Previously, physiotherapy programs were focused on gait training, strength, aerobic capacity and balance. However, thanks to technological advances, tools such as virtual reality offer a motivating experience in the treatment of patients with multiple sclerosis, providing visual, auditory, tactile, olfactory and movement feedback throughout environments and objects. **Objective:** the main objective is to evaluate the effectiveness of virtual reality in the functional rehabilitation of adult patients with multiple sclerosis, in comparison with other conventional physiotherapeutic interventions. **Methodology:** a systematic review was conducted through a search in the databases “Academic Search Ultimate”, “CINAHL”, “SPORTDiscus”, “Rehabilitation & Sport Medicine Source” and “PEDro” from the CRAI Dulce Chacón library at UEM. obtaining 11 search results, evaluating 640 patients with a mean age of 41.04 years. **Results:** 11 valid results were obtained, evaluating 640 patients with a mean age of 41.04 years. **Conclusions:** virtual reality appears to be a valuable tool in the rehabilitation of people with multiple sclerosis, helping to reduce fatigue and improve balance, gait, and coordination, especially when combined with other therapies like tDCS. While the results are not uniform across all cases, the importance of implementing an intervention, tailoring exercises to each individual and an early treatment stands out as key to achieving better functional outcomes.

Key Words: Multiple sclerosis, rehabilitation, fatigue, balance, mobility, gait speed and manual dexterity.

Índice

1. Introducción.	1
2. Objetivos.	3
2.1 Objetivo general.	3
2.2 Objetivos específicos.	3
3. Metodología.	3
3.1 Diseño de estudio.	3
3.2 Estrategia de búsqueda.	4
3.3 Criterios de elegibilidad	4
3.4 Proceso de extracción de datos.	5
3.5 Evaluación de la calidad metodológica.	6
4. Resultados.	6
4.1 Selección de estudios.	6
4.2 Diagrama de flujo.	7
4.3 Evaluación de la calidad de los estudios.	8
4.4 Cuadro resumen de los artículos incluidos	8
5. Discusión	11
5.1 Fatiga.	11
5.2 Equilibrio.	13
5.3 Movilidad.	14
5.4 Velocidad de la marcha.	15
5.5 Función del miembro superior.	16
6. Futuras líneas de investigación.	18
7. Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.	19
8. Conclusiones.	20
9. Referencias bibliográficas.	21

10. Anexos.	27
--------------------	-----------

Tabla 1:	27
-----------------	-----------

Tabla 2:	29
-----------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 1:	27
-----------------	-----------

Tabla 2:	29
-----------------	-----------

Índice de figuras

Figura 1:	7
------------------	----------

Índice de abreviaturas

EM: Esclerosis Múltiple.

RV: Realidad Virtual.

EDSS: Escala Expandida del estado de Discapacidad

tDCS: La Estimulación Transcraneal por Corriente Directa.

ECAS: Ensayos clínicos aleatorizados.

FSS: Escala de severidad de fatiga.

MFIS: Modified Fatigue Impact Scale.

TUG: Timed Up and Go.

T25-FW: Timed 25-Foot Walk Test.

PPT: Purdue Pegboard Test.

BBT: El Box and Block Test.

MMDT: El Minnessota Manual Dexterity Test.

6MWT: 6 minutes walking test.

10MW: 10 meter walk.

1. Introducción.

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad neurológica que afecta al sistema nervioso central. Se relaciona con una gran variedad de síntomas tanto físicos como cognitivos que repercuten de manera significativa en la calidad de vida de quienes la padecen (Río & Montalbán, 2014). Esta patología que afecta a millones de personas a nivel mundial, cursa con procesos de daño axonal y desmielinización provocando cuadros clínicos importantes que se caracterizan por trastornos sensoriales, dificultades para caminar, debilidad muscular y alteraciones en el equilibrio, entre otros (Dalgas et al., 2019).

La evolución y el curso de la EM puede diferir significativamente entre personas. Sin embargo, existen ciertos factores comunes que influyen en su progresión, como el tipo de EM, el tiempo de diagnóstico, y aspectos personales como el entorno social, el acceso a recursos médicos o la actividad física (Maghzi et al., 2011). Es por ello, que la rehabilitación pasa a jugar un papel imprescindible, contribuyendo a preservar la autonomía (reduciendo las limitaciones asociadas) y por ende la funcionalidad (Khan et al., 2007).

Previamente, los programas terapéuticos se centraban en intervenciones convencionales fisioterapéuticas como el trabajo de la fuerza, de la capacidad aeróbica, del equilibrio o de la reeducación de la marcha. En cambio, últimamente han ido emergiendo nuevas formas de intervención basadas en la última tecnología, entre las que cabe destacar la realidad virtual (RV) (Dávila-Morán et al., 2024). Esta herramienta nos permite generar entornos adaptados que estimulan la participación del paciente, ofreciéndoles una experiencia motivadora a través del juego, generando así una mayor adherencia al tratamiento (Barry et al., 2014).

Cuando se emplea la RV, el paciente recibe información visual, auditiva, táctil, olfativa y de movimiento mediante ambientes y objetos visuales (dispositivos instalados en la cabeza, sistemas de proyección o una pantalla plana). Asimismo,

el usuario tiene multitud de dispositivos para interactuar con el entorno virtual como pueden ser dispositivos más comunes (ratón, teclado o joystick) hasta sistemas más novedosos como instrumentos hápticos que proporcionan un feedback táctil y dan un estímulo sensitivo al paciente de que está manipulando objetos reales (Viñas-Diz & Sobrido-Prieto, 2016).

La RV se clasifica en función del grado de inmersividad (aislamiento del mundo físico del usuario que interactúa con el entorno virtual), siendo la RV no inmersiva y semi-inmersiva aquellas donde el usuario percibe el entorno real y el virtual al mismo tiempo; mientras que, en la RV inmersiva, el sujeto está interactuando solamente con el entorno virtual. En la no inmersiva o semi-inmersiva se utilizan videojuegos o proyección en 3D mientras que en la inmersiva se emplean gafas de RV o salas de seis paredes (CAVE) (Vilageliu-Jordà et al., 2022).

La rehabilitación con RV tiene numerosas ventajas en pacientes con patologías neurológicas debido a su especificidad en función de las características del paciente, permitiendo intervenciones tempranas, intensivas y orientadas hacia una recuperación precisa. Asimismo, permiten la repetición funcional y secuencial, mejorando el rendimiento motor en áreas específicas, en entornos seguros para el sujeto (Montalbán & Arrogante, 2020).

A pesar de que el tratamiento con RV está en auge, no hay revisiones sistemáticas publicadas que realicen una comparativa de rehabilitación con RV frente a una convencional a partir de agosto de 2022. Es por ello, que esta revisión busca analizar los artículos de los últimos 5 años, donde ha comenzado una nueva era tecnológica marcada por avances en RV, robótica o la inteligencia artificial (Dávila-Morán, 2024). Por lo tanto, el principal objetivo de la presente revisión sistemática es comparar la rehabilitación de fisioterapia con RV frente a la rehabilitación convencional en pacientes adultos con EM.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo general.

Evaluar la eficacia de la realidad virtual en la rehabilitación funcional de pacientes adultos con esclerosis múltiple, en comparación con otras intervenciones fisioterapéuticas convencionales.

2.2 Objetivos específicos.

- Analizar el impacto de la rehabilitación con realidad virtual en variables funcionales como la fatiga en comparación con otras intervenciones convencionales en sujetos con esclerosis múltiple.
- Estudiar la repercusión de la fisioterapia con realidad virtual en el equilibrio frente a intervenciones convencionales de fisioterapia en sujetos con esclerosis múltiple.
- Evaluar la influencia de la rehabilitación con realidad virtual en la movilidad realizando una comparativa frente a otras intervenciones en pacientes con esclerosis múltiple.
- Examinar el impacto de la intervención fisioterapéutica con realidad virtual en la velocidad de la marcha contrastando sus resultados frente a la rehabilitación convencional en pacientes con esclerosis múltiple.
- Analizar el efecto de la fisioterapia con realidad virtual en la función de los miembros superiores en comparación con intervenciones convencionales de fisioterapia en sujetos con esclerosis múltiple.

3. Metodología.

3.1 Diseño de estudio.

El presente estudio de revisión sistemática se llevó a cabo con el protocolo definido y se subdividió en cuatro fases (identificación de estudios en bases de datos,

selección de artículos, extracción de datos e inclusión de ensayos clínicos aleatorizados) basadas en los estándares de la declaración *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews y Meta-Analysis* (Page et al., 2021).

3.2 Estrategia de búsqueda.

La búsqueda sistemática de los artículos incluidos se realizó por dos revisores de manera independiente (JF y MA) utilizando la misma metodología. Se utilizaron como motores de búsqueda las siguientes bases de datos: MEDLINE Complete (27/02/2024 - 20/03/2025), Academic Search Ultimate (27/02/2024 - 20/03/2025), CINAHL (27/02/2024 - 20/03/2025), SPORTDiscus (27/02/2024 - 20/03/2025), Rehabilitation & Sport Medicine Source (27/02/2024 - 20/03/2025) y PEDro (27/02/2024 - 20/03/2025).

Los términos de búsqueda utilizados se derivaron de la combinación de los siguientes términos MeSH “virtual reality”, “multiple sclerosis”, “rehabilitation”, “physical therapy modalities”, “treatment outcomes”, “randomized controlled trials” y como término libre “augmented reality” combinados con los operadores booleanos “AND” / “OR” para definir la búsqueda. Siendo la ecuación de búsqueda: (virtual reality or vr or augmented reality) AND (multiple sclerosis or ms or multiple sclerosis) AND (rehabilitation or therapy or treatment) AND (randomized controlled trials or rtc or randomised control trials).

3.3 Criterios de elegibilidad.

En la presente revisión sistemática se establecen los siguientes componentes PICO: P (pacientes adultos con esclerosis múltiple), I (realidad virtual), C (otras intervenciones fisioterapéuticas), O (mejora en la rehabilitación funcional de la esclerosis múltiple) y S (ensayos clínicos aleatorizados).

Criterios de inclusión:

- Se incluyeron artículos con pacientes con esclerosis múltiple.
- Se incluyeron artículos con pacientes mayores de 18 años.
- Se incluyeron artículos publicados a partir de 2020.
- Se incluyeron aquellos artículos que estudiaran la rehabilitación de fisioterapia con realidad virtual.
- Se incluyeron artículos que compararan la realidad virtual frente a otro tipo de intervenciones en fisioterapia.
- Se incluyeron artículos cuantitativos que utilicen test o cuestionarios de evaluación que analicen las variables propuestas.
- Se incluyeron solo ensayos clínicos aleatorizados (ECAS).
- Se incluyeron artículos escritos en inglés.

Criterios de exclusión:

- Se excluyeron aquellos artículos que utilizaron la realidad virtual en otros ámbitos profesionales distintos a la fisioterapia.

3.4 Proceso de extracción de datos.

Los revisores JF y MA fueron los responsables de realizar la selección de artículos de manera independiente, realizando el registro de los resultados mediante un protocolo estructurado. Para ello, se utilizó un formulario estandarizado de extracción en el que se recopiló información sobre las características de los estudios (autores, año de publicación, título, objetivos, tipo de estudio e idioma), así como datos sobre los participantes (población y número de sujetos), las intervenciones, las comparaciones, los resultados y las conclusiones.

Seguidamente, una vez se finalizó el proceso de selección de artículos, se excluyó de forma consensuada y paralela los estudios duplicados y aquellos que tras leer el título, resumen o texto completo no tuvieran relación con la pregunta de estudio.

3.5 Evaluación de la calidad metodológica.

La evaluación de la calidad metodológica se realizó utilizando la “Escala PEDro” (Maher et al., 2003). Esta escala es un instrumento válido y fiable para medir la calidad metodológica de los ensayos clínicos aleatorizados incluidos en esta revisión. Está compuesta por 11 ítems cada uno valorado con un punto que permite evaluar si los estudios incluidos tienen suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para lograr que sus resultados puedan ser interpretables (criterios 10 y 11). Los ítems anteriormente mencionados fueron evaluados de manera independiente por los dos revisores y todos los desacuerdos se resolvieron mediante debate.

4. Resultados.

4.1 Selección de estudios.

Se seleccionaron un total de 11 artículos que superaron el proceso de selección. Siguiendo con las recomendaciones PRISMA, la búsqueda bibliográfica se realizó por los revisores de forma independiente obteniendo un total de 263 artículos de las bases de datos: MEDLINE Complete (n=128), Academic Search Ultimate (n=40), CINAHL (n=21), SPORTDiscus (n=16), Rehabilitation & Sport Medicine Source (n=20) y PEDro (n=38).

A continuación, se descartaron los artículos duplicados (n=122) y mediante herramientas de automatización por filtro de publicaciones académicas, texto completo y fecha de publicación de 2020-2025 se excluyeron 28 artículos. Seguidamente, se realizó una lectura a texto completo y se descartaron 54 por no cumplir los criterios de inclusión y 39 por no ser ECAS. Además, se eliminaron 2 registros debido a que no pudieron ser recuperados.

Todos los estudios se realizaron con población con EM. Se evaluaron 640 pacientes con una media de edad de 41,01 años (18-70 años) y un rango de la Escala Expandida del estado de Discapacidad (EDSS) de 2-7.5.

Finalmente, en todos los artículos analizados comparaban técnicas de rehabilitación con RV frente a rehabilitación convencional de fisioterapia.

4.2 Diagrama de flujo.

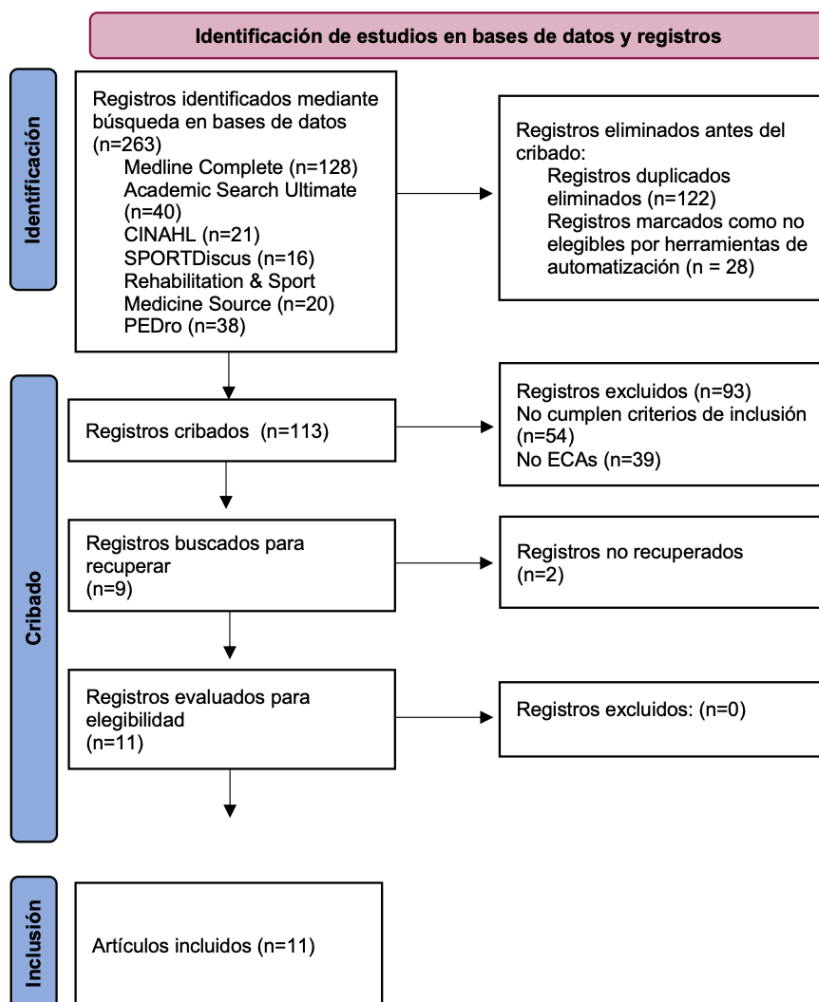


Figura 1: Diagrama de flujo de la selección de los estudios.

Nota. Elaboración propia.

4.3 Evaluación de la calidad de los estudios.

La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó con la escala PEDro, obteniendo una puntuación media de 6,72 con una desviación típica de 0,9, lo que supone una buena calidad general con variabilidad moderada entre los estudios. La mayoría de los artículos obtuvo una puntuación de 6, destacando las investigaciones de Galperin et al. (2023), Molhemi et al. (2020) y Pagliari et al. (2025) con puntuaciones de 8.

Durante el proceso de evaluación de la calidad metodológica se encontró que los ítems de asignación oculta, el cegado de los sujetos, el cegado de los terapeutas y el análisis por intención de tratar, fueron donde más errores se cometieron por parte de los investigadores. Cabe destacar que los siguientes artículos sí completaron estos ítems: asignación oculta (Galperin et al., 2023; Maggio et al., 2022; Molhemi et al., 2020; Pagliari et al., 2025) y el análisis por intención de tratar (Galperin et al., 2023; Molhemi et al., 2020; Norouzi et al., 2021; Pagliari et al., 2025). Sin embargo, no hubo ningún estudio que realizara el cegado de los sujetos o de los terapeutas. Los demás ítems de la escala PEDro estaban presentes en todas las investigaciones incluidas.

La evaluación de la calidad metodológica se representa a través de la Tabla 1 en anexos.

4.4 Cuadro resumen de los artículos incluidos.

El cuadro resumen de los artículos incluidos se ve reflejado en la Tabla 2 en anexos.

4.5 Resultados

4.5.1 Fatiga.

Según Charehjou et al. (2024) se produce una reducción significativa de la fatiga con RV individual y con RV + tDCS. Siendo la combinación más eficaz que cada

intervención por separado. Igualmente, Ozkul et al. (2020) establecen una disminución significativa de la fatiga con RV, asociada también a mejoras en movilidad y equilibrio. Además, Charehjou et al. (2024) propone que la aplicación de la tDCS sola supone mejoras moderadas en fatiga y un efecto adicional de aumento de excitabilidad neuronal y posible efecto antidepresivo.

4.5.2 Equilibrio.

Molhemi et al. (2020) establecen mejoras en equilibrio funcional (TUG, Tinetti) con RV además de una disminución significativa en el número de caídas tras la intervención. Igualmente, Maggio et al. (2022) indican aumentos significativos en el equilibrio con RV inmersiva frente a fisioterapia convencional debido a una mayor motivación y adherencia del paciente. Según Doğan et al. (2023) aparecen mejoras en control dinámico del tronco con RV no inmersiva. Igualmente, Pagliari et al. (2025), establecen aumentos en el equilibrio con telerehabilitación + tDCS, evidenciada en el Mini-BESTest. Por último, Zanotto et al. (2025) destaca una disminución del riesgo de caídas con RV aplicada al entrenamiento con cinta rodante. Lo cual produce un impacto positivo en personas con fragilidad física y cognitiva.

4.5.3 Movilidad.

Respecto a la variable de movilidad, todos los estudios analizados consiguen mejoras en el tiempo del TUG test con heterogeneidad respecto a las características de la prueba: en la prueba simple, el grupo intervención obtiene mejores resultados (Maggio et al., 2022; Molhemi et al., 2020; Ozkul et al., 2020; Pagliari et al., 2025), mientras que en la tarea dual, Molhemi et al. (2020) indican una reducción más significativa en el grupo de entrenamiento con RV, mientras que Ozkul et al. (2020) mencionan que no hubo diferencias significativas entre grupos.

4.5.4 Velocidad de la marcha.

Todos los artículos estudiados indican un aumento de la velocidad de la marcha, (Charehjou et al., 2024; Galperin et al., 2023; Molhemi et al., 2020) destacando las intervenciones: RV con tDCS y RV aislado (Charehjou et al., 2024) y el tratamiento con cinta rodante con o sin RV (Galperin et al., 2023).

4.5.5 Función de miembro superior.

Asimismo, en las variables de función de miembro superior destaca la mejora significativa en las tareas de coordinación bimanual en la terapia combinada de RV con fisioterapia convencional (Norouzi et al., 2021) así como en la motricidad gruesa y fina en mano afectada, así como en la no afectada (Cuesta-Gómez et al., 2020). Adicionalmente, los resultados del BBT test y MMDT fueron similares: hay una mejora significativa en la medición post-intervención (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023) así como tras el seguimiento (Cuesta-Gómez et al., 2020) pero no se encontraron diferencias significativas entre los grupos (Cuesta-Gómez et al., 2020; Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023).

No se obtienen resultados significativos en el test ABILHAND tras 8 semanas de intervención (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023)

En la variable de fuerza de agarre los resultados son heterogéneos: no encontrándose cambios significativos pese a una mejora clínica en el estudio de Marcos-Antón et al. (2023) mientras que Cuesta-Gómez et al. (2020) sí indica un aumento significativo en la mano no afectada post-intervención. Se produce una disminución de la fuerza de agarre durante el seguimiento (Cuesta-Gómez et al., 2020; Marcos-Antón et al., 2023).

5. Discusión.

Debido a los avances tecnológicos de los últimos años, el empleo en la rehabilitación de tecnologías como la RV abren una nueva perspectiva de tratamiento innovadora e integral de los pacientes con EM. Respecto a las variables analizadas, se produce una disminución significativa de la fatiga con la RV aislada (Ozkul et al., 2020) y con la combinación de RV con tDCS (Charehjou et al., 2024). Asimismo, se produce una mejoría del equilibrio funcional (Doğan et al., 2023; Maggio et al., 2022; Molhemi et al., 2020) así como una disminución del riesgo de caídas (Molhemi et al., 2020; Zanotto et al., 2025). Toda intervención mejora los resultados en el TUG test (Maggio et al., 2022; Molhemi et al., 2020; Ozkul et al., 2020; Pagliari et al., 2025) destacando que en la tarea dual se produce una reducción más significativa en el grupo con RV (Molhemi et al., 2020). Asimismo, respecto a la velocidad de la marcha destacan las intervenciones de RV aislada, combinada con tDCS o con cinta rodante, así como esta última de forma individual (Charehjou et al., 2024; Galperin et al., 2023; Molhemi et al., 2020). Finalmente, se produce un aumento de la coordinación bimanual en la terapia de RV con fisioterapia convencional (Norouzi et al., 2021), en la motricidad gruesa y fina (Cuesta-Gómez et al., 2020), en los test BBT y MMDT post-intervención (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023; Cuesta-Gómez et al., 2020) así como en la fuerza de agarre en la mano no afectada post-intervención (Cuesta-Gómez et al., 2020).

5.1 Fatiga.

En todos los estudios mencionados a continuación, la fatiga está medida a través de la Fatigue Severity Scale (FSS), la cual se centra en la gravedad de la fatiga y su impacto en las actividades diarias. A su vez, en el caso de la investigación realizada por Charehjou et al. (2024) se utilizan otras herramientas además de la FSS como la Modified Fatigue Impact Scale (MFIS), la cual proporciona una

evaluación más detallada del impacto multidimensional de la fatiga, incluyendo aspectos físicos, cognitivos y psicosociales.

Tanto el estudio de Charehjou et al. (2024) como el de Ozkul et al. (2020) coinciden en señalar la eficacia de la RV para reducir la fatiga. Charehjou et al. (2024) establecieron una disminución significativa de la fatiga tanto al aplicar la RV de forma individual, así como en combinación con la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS). Por su parte, Ozkul et al. (2020) también reportaron resultados positivos utilizando la RV de forma individual, destacando además mejoras en la movilidad y el equilibrio, factores que podrían contribuir a dicha reducción de la fatiga. Estableciéndose, por tanto, la importancia de una rehabilitación global basada en la funcionalidad como una herramienta efectiva en el manejo de esta variable.

Sin embargo, el artículo de Cuesta-Gómez et al. (2020) no estableció mejoras tras el uso de la RV, a pesar de que sí evidenció aumentos significativos en funciones motoras. Al igual que en una revisión sistemática reciente donde De Keersmaecker et al. (2025) observaron efectos positivos de la RV en la función de los miembros superiores y en la calidad de vida, siendo los efectos sobre la fatiga más inciertos, sugiriendo así que estos resultados no podrían generalizarse a todas las poblaciones.

Con respecto a la aplicación únicamente de la tDCS, la investigación de Charehjou et al. (2024) sugiere que puede llegar a mejorar la fatiga, aunque a niveles inferiores que la RV o la combinación de ambas. Dicha eficacia se explica debido a las mejoras de la excitabilidad neuronal y los efectos antidepresivos que esta terapia genera. Por otro lado, en el artículo de Marcos-Antón et al. (2023), donde se aplica la tecnología MYO (otra forma de estimulación eléctrica a través de un brazalete que utiliza electromiografía para detectar la actividad eléctrica de los músculos del antebrazo), no se encontraron aumentos significativos en esta variable.

Estableciéndose, por tanto, que no todas las formas de estimulación eléctrica generan los mismos impactos en la fatiga y que factores externos e individuales del paciente pueden influir en los resultados. Factores como la duración y la intensidad del estímulo junto a afecciones propias del paciente como la depresión son los que se deben tener en cuenta.

5.2 Equilibrio.

Los estudios de Molhemi et al. (2020) y Maggio et al. (2022) destacan que la RV, ya sea en formato totalmente interactivo o semi-inmersivo, aporta ventajas extra en comparación con la fisioterapia tradicional. En ambos casos, se observaron mejoras en parámetros funcionales del equilibrio, como el Timed Up and Go (TUG) y la escala de Tinetti, pero solo el grupo que utilizó RV en el estudio de Molhemi et al. (2020) mostró una reducción significativa en el número de caídas en el seguimiento, lo que refuerza la capacidad de este enfoque para prevenir riesgos reales.

Cuando se comparan las intervenciones de RV y telerehabilitación, los estudios de Doğan et al. (2023), Pagliari et al. (2025) y Zanotto et al. (2025) ofrecen una perspectiva complementaria. En general, la telerehabilitación (especialmente aquella que incluye estimulación cognitiva o tDCS) ha demostrado ser eficaz para mejorar el control postural, el equilibrio anticipatorio y la marcha funcional, con mejoras significativas en escalas como el Mini-BESTest (Pagliari et al., 2025). Asimismo, el entrenamiento funcional con RV no inmersiva, como el descrito por Doğan et al. (2023), se asoció con mejores resultados en el control dinámico del tronco, un componente clave del equilibrio dinámico, que permite anticipar posibles pérdidas de estabilidad durante el movimiento.

En el caso del estudio de Zanotto et al. (2025), aunque no se midieron de forma específica los efectos de la intervención sobre el equilibrio, se tuvo en cuenta el riesgo de caídas dentro de una evaluación global de la fragilidad física y cognitiva. En ese contexto, la RV aplicada al entrenamiento con cinta rodante fue planteada

como un recurso para disminuir ese riesgo. La relación encontrada entre los índices de fragilidad y el número de caídas pasadas sugiere que este tipo de intervención puede influir positivamente en ambas dimensiones, aportando un enfoque más preventivo y adaptado a personas con mayor fragilidad.

Si bien todos estos estudios apoyan la utilidad de sus respectivas intervenciones, la RV parece aportar una ventaja adicional al ofrecer una experiencia inmersiva que estimula la atención, el procesamiento sensorial y el aprendizaje motor de forma simultánea. Esto se traduce en una mejor adaptación a tareas funcionales, mayor adherencia y motivación del paciente (Maggio et al., 2022), y, en algunos casos, en una disminución directa del número de caídas (Molhemi et al., 2020). Frente a esto, la fisioterapia convencional y la telerehabilitación muestran resultados positivos, pero podrían quedar limitadas en pacientes que requieren mayor estimulación multisensorial o presentan déficits cognitivo-motores combinados.

Una investigación llevada a cabo por Choi et al. (2014) analizó los efectos de un programa de rehabilitación basado en realidad virtual en adultos mayores post-ictus con alto riesgo de caídas. Los resultados mostraron mejoras notables tanto en el equilibrio estático como en el dinámico, así como una disminución en la ansiedad vinculada al miedo a caer. A pesar de que esta investigación analiza a sujetos post-ictus en vez de esclerosis múltiple, ambas patologías comparten alteraciones en el equilibrio. Por tanto, estos hallazgos se alinean con el resto de los estudios previos y consolidan el valor de la RV como una estrategia efectiva dentro de programas de prevención y rehabilitación para personas con mayor vulnerabilidad física.

5.3 Movilidad.

Los estudios empleados evaluaron la movilidad funcional de los sujetos mediante el TUG test que consiste en medir el tiempo que el paciente tarda en levantarse de una silla, andar tres metros, regresar y volver a sentarse. Cabe destacar que cada artículo empleaba pequeñas variaciones de la prueba como añadir una tarea dual

(Molhemi et al., 2020; Ozkul et al., 2020; Pagliari et al., 2025) o dividir los resultados en función del giro hacia el lado izquierdo (TUG SX) o derecho (TUG DX) pudiendo evaluar de forma más detallada las asimetrías funcionales (Maggio et al., 2022).

En todos los estudios analizados se consiguieron mejoras en el tiempo del TUG test, destacando que, en la prueba simple, los grupos de intervención tuvieron progresos más significativos que los grupos control (Maggio et al., 2022; Molhemi et al., 2020; Ozkul et al., 2020; Pagliari et al., 2025). Sin embargo, en el TUG test con tarea dual, Molhemi et al. (2020) indican una reducción más significativa en el grupo de entrenamiento con RV, mientras que Ozkul et al. (2020) mencionan que no hubo diferencias significativas entre el grupo de RV y el de entrenamiento del equilibrio.

Mencionado anteriormente, los resultados en la prueba del TUG de forma simple, así como con tarea dual están relacionados con la mejora del equilibrio, por lo que sistemas de RV enfocados en la mejora de la estabilidad obtienen efectos positivos en la movilidad de los pacientes al trabajar ejercicios cognitivo-motores específicos al paciente, recibir feedback multisensorial facilitando el aprendizaje motor y mejorando la adherencia al tratamiento. (Kramer et al., 2014; Molhemi et al. 2020).

5.4 Velocidad de la marcha.

La velocidad de la marcha se evaluó mediante el Timed 25-Foot Walk Test (T25-FW) (Charehjou et al., 2024; Galperin et al., 2023), 6 minutes walking test (6MWT) (Galperin et al., 2023) y mediante el 10 meters walk (10MW) (Molhemi et al., 2020).

Todos los artículos estudiados mencionan un aumento de la velocidad de la marcha tanto en grupo experimental como en grupo control, indicando que todo ejercicio que trabaje la movilidad y caminar, produce un aumento de la velocidad. (Charehjou et al., 2024; Galperin et al., 2023; Molhemi et al., 2020).

Sin embargo, debido a la heterogeneidad de las intervenciones, las investigaciones muestran resultados variados: se produce un aumento significativo en la velocidad de la marcha en el grupo que combina RV con tDCS y en el tratamiento con RV aislado (Charehjou et al., 2024); se producen mejoras tanto en la combinación de cinta rodante con RV como en el tratamiento convencional con cinta rodante, sin diferencias significativas entre grupos (Galperin et al., 2023); y finalmente, se produce un mayor progreso en la velocidad de la marcha en el grupo de RV tanto en tarea simple como en tarea dual cognitiva, sin diferencias significativas entre los grupos en el costo de tarea dual (Molhemi et al., 2020).

Estos datos concuerdan con la revisión sistemática y metaanálisis de Corrini et al. (2023) quienes concluyeron que las intervenciones de fisioterapia que integran entrenamiento de marcha, equilibrio y entrenamiento funcional junto a tareas duales y a alta intensidad se asocian a mejores resultados en la movilidad de pacientes con EM. La alta intensidad mencionada se relaciona con una mayor velocidad de la marcha, asociada a una mayor prevalencia de caídas en personas con EM (Coote et al., 2014), resaltando la necesidad de un entrenamiento específico a diferentes velocidades.

Es importante destacar el valor del entrenamiento de la marcha en una intervención temprana y con una vigilancia activa para preservar la capacidad funcional de los pacientes, incluso en aquellos con niveles bajos en la escala EDSS (todos los sujetos de los estudios mencionados presentaban puntuaciones inferiores a 6) ya que un nivel reducido no implica la ausencia de alteraciones funcionales (Comber et al., 2017).

5.5 Función del miembro superior.

La función del miembro superior se mide en los diferentes estudios a través de la destreza manual, evaluada mediante una tarea de coordinación bimanual (Norouzi et al., 2021), el Purdue Pegboard Test (PPT) (Cuesta-Gómez et al., 2020), el Box

and Block Test (BBT) (Marcos-Antón et al., 2023) y el Minnesota Manual Dexterity Test (MMDT) (Doğan et al., 2023); la funcionalidad en la vida diaria, evaluada mediante el test ABILHAND (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023); y la fuerza de agarre, medida con el dinamómetro hidráulico Jamar (Cuesta-Gómez et al., 2020; Marcos-Antón et al., 2023). Todos los estudios analizados indican un tiempo de intervención de 8 semanas, a excepción de Cuesta-Gómez et al. (2020) que propone uno de 10 semanas.

Los resultados de la variable de destreza manual son bastante heterogéneos, consiguiendo mejoras significativas en las tareas de coordinación bimanual (Norouzi et al., 2021) así como en la motricidad gruesa y fina en el PPT tanto en la mano afectada como en la mano no afectada (Cuesta-Gómez et al., 2020). Destaca la terapia combinada de RV con fisioterapia convencional en el estudio de Norouzi et al. (2021) en la precisión y en la consistencia de la coordinación bimanual con respecto a la intervención de RV o fisioterapia convencional aislada.

Adicionalmente, los resultados del BBT test y MMDT fueron similares: hay una mejora significativa en la medición post-intervención (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023) así como tras el seguimiento (Cuesta-Gómez et al., 2020) pero no se encontraron diferencias significativas entre los grupos (Cuesta-Gómez et al., 2020; Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023).

No se obtienen resultados significativos en el test ABILHAND tras 8 semanas de intervención (Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023)

En la variable de fuerza de agarre, los resultados intra-grupo muestran una tendencia dispar entre los diferentes estudios: no se obtienen cambios significativos en el grupo experimental, pese a una mejora clínica en el estudio de Marcos-Antón et al. (2023), mientras que en la investigación de Cuesta-Gómez et al. (2020) sí se logra un aumento significativo en la mano no afectada en la evaluación post-

intervención. Ambos estudios coinciden en una disminución de la fuerza de agarre durante el seguimiento (Cuesta-Gómez et al., 2020; Marcos-Antón et al., 2023).

La terapia con RV en pacientes con EM es una técnica innovadora, por lo que la cantidad de evidencia científica es limitada: Turolla et al. (2013) coincide con los resultados de Norouzi et al. (2021) acordando la combinación de RV con terapia convencional para una mejora en la coordinación bimanual. Pese a que ambos estudios difieren en la patogénesis (los sujetos de la investigación Turolla et al. (2013) son post-ictus), los dos grupos comparten déficits en coordinación motora fina, aunque la diferencia en la etiología de la patología obliga a que los resultados se interpreten con prudencia.

Asimismo, los hallazgos obtenidos sobre la mejora post-intervención en las pruebas de PPT, BBT y MMDT test en el grupo de RV (Cuesta-Gómez et al., 2020; Doğan et al., 2023; Marcos-Antón et al., 2023) concuerdan con los resultados de Jonsdottir et al. (2018) donde se obtuvieron resultados positivos en la destreza manual en el grupo intervención con “*serious games*” tras 4 semanas.

Pese a obtener resultados heterogéneos en los diferentes estudios analizados en la variable de función de miembro superior, los estudios coinciden en un tiempo mínimo de 8 semanas para obtener resultados significativos, así como en la combinación de técnicas convencionales con RV para obtener avances. De igual manera, la disminución de las variables tras el seguimiento resalta la importancia de la terapia frente a la no intervención en pacientes con EM.

6. Futuras líneas de investigación.

En primer lugar, se necesita estandarizar las pruebas de evaluación, debido al elevado número de test que miden la misma variable, para facilitar las comparaciones de investigaciones y reducir así el riesgo de sesgo. Asimismo, destaca la necesidad de futuros estudios que comparen entrenamiento con RV

frente a entrenamientos convencionales de equilibrio con el objetivo de evaluar cuál es más eficaz en las diferentes variables analizadas. Por otro lado, dentro del factor de velocidad de la marcha, se requiere más investigación para determinar el umbral de “alta intensidad” más adecuado para obtener un progreso sin riesgo de caídas.

7. Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.

El 25 de septiembre de 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó una agenda compuesta por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), diseñados para abordar los principales desafíos sociales, económicos y ambientales antes del año 2030 (ONU, 2023). Este trabajo fin de grado contribuye a varios de estos objetivos:

- ODS 3: Salud y Bienestar. Esta investigación tiene como propósito optimizar el tratamiento de adultos que conviven con EM, utilizando la RV como un recurso innovador dentro del proceso de rehabilitación. Se pretende favorecer el bienestar físico y psicológico de los pacientes, promoviendo enfoques de rehabilitación innovadores que aumenten la eficacia del tratamiento, el compromiso y la motivación del paciente.
- ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura. La incorporación de tecnologías digitales avanzadas como la RV en el ámbito clínico impulsa el desarrollo de nuevas estrategias sanitarias. Esta intervención representa un avance en la transformación tecnológica de la fisioterapia, fomentando soluciones más modernas, eficaces y adaptables a distintas necesidades.
- ODS 10: Reducción de las desigualdades. Dado que la EM afecta a personas de diversos orígenes y condiciones, este trabajo también pretende aportar evidencia sobre tratamientos que puedan implementarse de forma equitativa. Se establece la RV como una herramienta tecnológica accesible que tiene por objetivo una atención más inclusiva, minimizando por tanto las disparidades de acceso a dicha rehabilitación.

8. Conclusiones.

- La RV ha mostrado ser útil para reducir la fatiga en personas con EM, especialmente cuando se combina con otras técnicas como la tDCS. Aun así, su efecto puede depender de cada paciente y del tipo de intervención aplicada.
- En cuanto al equilibrio, la RV aporta beneficios destacables frente a otras terapias, ayudando a mejorar el control postural, la marcha y, en algunos casos, a prevenir caídas, gracias a su capacidad para trabajar distintos aspectos funcionales a la vez.
- Toda intervención fisioterapéutica produce una mejora en el tiempo del TUG test frente a la no intervención, siendo heterogéneos los resultados de la RV frente a otras terapias como el entrenamiento de equilibrio. Destaca la importancia de ejercicios cognitivo-motores adaptados y de la combinación de ejercicios de estabilidad y movilidad.
- Las intervenciones orientadas a mejorar la velocidad de la marcha producen un aumento de esta variable, destacando la RV de forma aislada o combinada con tDCS así como el entrenamiento en cinta rodante con y sin RV y con tareas duales. Se subraya la importancia de una intervención temprana y el entrenamiento a distintas velocidades para la mejora de la capacidad funcional.
- La combinación de terapia combinada con RV es más efectiva que de forma aislada en tareas de coordinación bimanual y destreza manual. Respecto a la fuerza de agarre, no se pueden extraer conclusiones definitivas sobre la superioridad de una terapia respecto o a otra, aunque los hallazgos indican la importancia de llevar a cabo una intervención activa. No hay mejoras significativas en la prueba ABILHAND tras 8 semanas.

9. Referencias bibliográficas.

- Barry, G., Galna, B., & Rochester, L. (2014). The role of exergaming in Parkinson's disease rehabilitation: a systematic review of the evidence. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11, 33. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-33>
- Charehjou, B., Moghadas, Y., & Minoonejad, H. (2024). The Combination of Transcranial Direct Current Stimulation and Virtual Reality Training on Fatigue, Balance and Walking in Patients With Multiple Sclerosis. *Physical Treatments*, 14(3), 171-182. <http://dx.doi.org/10.32598/ptj.14.3.578.2>
- Choi, J. H., Han, E. Y., Kim, B. R., Kim, S. M., Im, S. H., Lee, S. Y., & Hyun, C. W. (2014). Effectiveness of commercial gaming-based virtual reality movement therapy on functional recovery of upper extremity in subacute stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 38(4), 485–493. <https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.4.485>
- Comber, L., Galvin, R., & Coote, S. (2017). Gait deficits in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait & posture*, 51, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.09.026>
- Coote, S., Finlayson, M., & Sosnoff, J. J. (2014). Level of mobility limitations and falls status in persons with multiple sclerosis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(5), 862–866. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.10.018>
- Corrini, C., Gervasoni, E., Perini, G., Cosentino, C., Putzolu, M., Montesano, A., Pelosin, E., Prosperini, L., & Cattaneo, D. (2023). Mobility and balance rehabilitation in multiple sclerosis: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 69, 104424. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.104424>

- Cuesta-Gómez A, Sánchez-Herrera-Baeza P, Oña-Simbaña ED, Martínez-Medina A, Ortiz-Comino C, Balaguer-Bernaldo-de-Quirós C, Jardón-Huete A, & Cano-de-la-Cuerda R. (2020). Effects of virtual reality associated with serious games for upper limb rehabilitation inpatients with multiple sclerosis: Randomized controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 17(1), 90-90. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00718-x>
- Dalgas, U., Langeskov-Christensen, M., Stenager, E., Riemenschneider, M., & Hvid, L. G. (2019). Exercise as Medicine in Multiple Sclerosis-Time for a Paradigm Shift: Preventive, Symptomatic, and Disease-Modifying Aspects and Perspectives. *Current neurology and neuroscience reports*, 19(11), 88. <https://doi.org/10.1007/s11910-019-1002-3>
- Dávila-Morán, R.C. (2024). La rehabilitación física y sus avances con realidad virtual: una revisión sistemática. *Retos*, 60, 467-476. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>
- Dávila-Morán, R. C., Salazar Montenegro, J., Chávez-Díaz, J. M., & Peralta Loayza, E. F. (2024). Usos de la realidad virtual en la rehabilitación física: Una revisión sistemática. *Retos*, 61, 1060-1070. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.110044>
- De Keersmaecker, E., Guida, S., Denissen, S., Dewolf, L., Nagels, G., Jansen, B., Beckwée, D., & Swinnen, E. (2025). Virtual reality for multiple sclerosis rehabilitation. *The Cochrane database of systematic reviews*, 1(1), CD013834. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013834.pub2>
- Doğan, M., Ayvat, E., & Kılınc, M. (2023). Telerehabilitation versus virtual reality supported task-oriented circuit therapy on upper limbs and trunk functions in patients with multiple sclerosis: A randomized controlled study. *Multiple*

Sclerosis and Related Disorders, 71, 104558.
<https://doi.org/10.1016/j.msard.2023.104558>

Galperin, I., Mirelman, A., Schmitz-Hübsch, T., Hsieh, K. L., Regev, K., Karni, A., Brozgol, M., Cornejo Thumm, P., Lynch, S. G., Paul, F., Devos, H., Sosnoff, J., & Hausdorff, J. M. (2023). Treadmill training with virtual reality to enhance gait and cognitive function among people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Journal of Neurology*, 270(3), 1388-1401.
<https://doi.org/10.1007/s00415-022-11469-1>

Jonsdottir, J., Gervasoni, E., Bowman, T., Bertoni, R., Tavazzi, E., Rovaris, M., & Cattaneo, D. (2018). Intensive Multimodal Training to Improve Gait Resistance, Mobility, Balance and Cognitive Function in Persons With Multiple Sclerosis: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Frontiers in neurology*, 9, 800. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00800>

Khan, F., & Pallant, J. (2007). Chronic pain in multiple sclerosis: prevalence, characteristics, and impact on quality of life in an Australian community cohort. *The journal of pain*, 8(8), 614–623.
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2007.03.005>

Kramer, A., Dettmers, C., & Gruber, M. (2014). Exergaming With Additional Postural Demands Improves Balance and Gait in Patients With Multiple Sclerosis as Much as Conventional Balance Training and Leads to High Adherence to Home-Based Balance Training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(10), 1803-1809.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.020>

Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical therapy*, 83(8), 713–721.

- Maggio, M. G., De Luca, R., Manuli, A., Buda, A., Foti Cuzzola, M., Leonardi, S., D'Aleo, G., Bramanti, P., Russo, M., & Calabrò, R. S. (2022). Do patients with multiple sclerosis benefit from semi-immersive virtual reality? A randomized clinical trial on cognitive and motor outcomes. *Applied Neuropsychology: Adult*, 29(1), 59-65. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1708364>
- Maghzi, A.H., Borazanci, A., McGee, J., Alexander, J.S., Gonzalez-Toledo, E., & Minagar, A. (2011). Multiple Sclerosis: Pathophysiology, Clinical Features, Diagnosis, and Management. *Elsevier*, 1-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384913-7.00001-0>.
- Marcos-Antón, S., Jardón-Huete, A., Oña-Simbaña, E. D., Blázquez-Fernández, A., Martínez-Rolando, L., & Cano-de-la-Cuerda, R. (2023). sEMG-controlled forearm bracelet and serious game-based rehabilitation for training manual dexterity in people with multiple sclerosis: A randomised controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20(1), 110. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01233-5>
- Molhemi, F., Monjezi, S., Mehravar, M., Shaterzadeh-Yazdi, M.-J., Salehi, R., Hesam, S., & Mohammadianinejad, E. (2020). Effects of Virtual Reality vs Conventional Balance Training on Balance and Falls in People With Multiple Sclerosis: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(2), 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.09.395>
- Montalbán, M. A., & Arrogante, O. (2020). Rehabilitación mediante terapia de realidad virtual tras un accidente cerebrovascular: Una revisión bibliográfica. *Revista Científica de la Sociedad Española de Enfermería Neurológica*, 52, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.sedene.2020.01.002>
- Norouzi, E., Gerber, M., Pühse, U., Vaezmosavi, M., & Brand, S. (2021). Combined virtual reality and physical training improved the bimanual coordination of

women with multiple sclerosis. *Neuropsychological Rehabilitation*, 31(4), 552-569. <https://doi.org/10.1080/09602011.2020.1715231>

Organización de las Naciones Unidas. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos y metas de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Ozkul, C., Guclu-Gunduz, A., Yazici, G., Atalay Guzel, N., & Irkeç, C. (2020). Effect of immersive virtual reality on balance, mobility, and fatigue in patients with multiple sclerosis: A single-blinded randomized controlled trial. *European Journal of Integrative Medicine*, 35, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101092>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Pagliari, C., Tella, S. D., Bonanno, C., Cacciante, L., Cioeta, M., De Icco, R., Jonsdottir, J., Federico, S., Franceschini, M., Goffredo, M., Rainoldi, F., Rovaris, M., Springhetti, I., Calabrò, R. S., Tassorelli, C., Rossini, P. M., Baglio, F., & for RIN_TeleSM_Group (2025). Enhancing the effect of rehabilitation on multiple sclerosis: A randomized clinical trial investigating the impact of remotely-supervised transcranial direct current stimulation and virtual reality telerehabilitation training. *Multiple sclerosis and related disorders*, 94, 106256. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2024.106256>

- Río, J., & Montalbán, X. (2014). Descripción actual de la esclerosis múltiple. *Medicina Clínica*, 143, 3-6. [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(15\)30002-6](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(15)30002-6)
- Turolla, A., Dam, M., Ventura, L., Tonin, P., Agostini, M., Zucconi, C., Kiper, P., Cagnin, A., & Piron, L. (2013). Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10, 85. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-85>
- Vilageliu-Jordà, È., Enseñat Cantallops, A., & García Molina, A. (2022). Uso de la realidad virtual inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. Revisión sistemática. *Revista de Neurología*, 74(10), 331. <https://doi.org/10.33588/rn.7410.2022034>
- Viñas-Diz, S., & Sobrido-Prieto, M. (2016). Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: Revisión sistemática. *Neurología*, 31(4), 255-277. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2015.06.012>
- Zanotto, T., Galperin, I., Pradeep Kumar, D., Mirelman, A., Yehezkyahu, S., Regev, K., Karni, A., Schmitz-Hübsch, T., Paul, F., Lynch, S. G., Akinwuntan, A. E., He, J., Troen, B. R., Devos, H., Hausdorff, J. M., & Sosnoff, J. J. (2025). Effects of a 6-Week Treadmill Training With and Without Virtual Reality on Frailty in People With Multiple Sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 106(2), 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2024.09.010>

10. Anexos.

Tabla 1: Evaluación de la calidad de los estudios (Escala PEDro).

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Charehjou et al., 2024	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6
Cuesta-Gómez et al., 2020	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6
Doğan et al., 2023	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6
Galperin et al., 2023	sí	sí	sí	sí	no	no	sí	sí	sí	sí	sí	8
Maggio et al., 2022	sí	sí	sí	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	7

Marcos-Antón et al., 2023	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6
Molhemi et al., 2020	sí	sí	si	sí	no	no	sí	sí	si	sí	sí	8
Norouzi et al., 2021	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	si	sí	sí	7
Ozkul et al., 2020	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6
Pagliari et al., 2025	sí	sí	sí	sí	no	no	sí	sí	sí	sí	sí	8
Zanotto et al., 2025	sí	sí	no	sí	no	no	sí	sí	no	sí	sí	6

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2: Características de los estudios incluidos.

Autores y año de publicación	Participantes	Intervención / Comparación	Medida de variables	Resultados
Charehjou et al., 2024	30 pacientes diagnosticados con EM divididos en 10 sujetos por grupo. Edad de 18-55 años y EDSS ≤ 6 .	<p>Ensayo clínico aleatorizado con tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Grupo tDCS 2) Grupo VR 3) Grupo tDCS-VR <p>Duración de 2 semanas (3 sesión/semana) para los grupos VR y tDCS-VR, mientras que para el grupo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fatiga: FSS para evaluar gravedad e impacto en la vida diaria y MFIS, para medir su impacto en la dimensión física, cognitiva y psicosocial. - Equilibrio estático y dinámico: BBS. - Velocidad de la marcha: T25-FW. 	La rehabilitación con RV aislada y en combinación con la estimulación transcraneal mejoran la fatiga, el equilibrio y la velocidad de la marcha en pacientes con EM. Se encuentran efectos más significativos cuando se combinan ambas terapias.

		tDCS la duración fue de 5 días consecutivos.		
Cuesta-Gómez et al., 2020	30 pacientes diagnosticados con EM: remitente recurrente (RRMS n=11), secundaria progresiva (SPMS n=13) y primaria progresiva (n=6). Edad media de 46.66 ± 2.04 , 60% mujeres y EDSS medio de 5.44 ± 0.23 .	<p>Ensayo clínico aleatorizado con ciego simple, dividido en dos grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Rehabilitación motora convencional + sistema Leap Motion Controller (LMC). 2) Rehabilitación motora convencional. 	<p>Medición pre y post intervención y seguimiento 1 mes después:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fatiga: FSS. - Fuerza de agarre: dinamómetro. - Destreza manual gruesa (BBT), fina y coordinación (PPT) y fina y velocidad (Nine Hole Peg Test, NHPT). - Calidad de vida: Multiple Sclerosis Impact Scale (MSIS-29). 	La rehabilitación basada en juegos serios con sistema LMC mejora la destreza manual gruesa y fina unilateral además de la coordinación en pacientes con EM, mostrando mejores resultados en el lado afecto.

		Duración: 10 semanas, 2 sesiones por semana con una duración cada una de 60 minutos.	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfacción: Client Satisfaction Questionnaire (CSQ-8). - Adherencia: registro de asistencia. 	
Doğan et al., 2023	34 sujetos con EM divididos en TR (n=15) y V-TOCT (n=17). Edad de 18-55 años, 76,4% mujeres y escala EDSS: 2-5.6).	<p>Ensayo clínico aleatorizado controlado, prospectivo y evaluador cegado con 2 grupos de intervención:</p> <p>1) Telerehabilitación basada en aplicación móvil (TR).</p>	<p>Evaluada pre y post intervención.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio estático, dinámico y coordinación: Escala de Impairment del Tronco (TIS). - Severidad de la ataxia: escala internacional de ataxia (K-ICARS). 	Las intervenciones con V-TOCT y de TR mejoran las habilidades del miembro superior, funciones del tronco y la ataxia. No obstante, el VT-TOCT es más efectivo en la mejora del control dinámico del

		<p>1) Terapia de circuito orientada a tareas con soporte de RV (V-TOCT).</p> <p>Duración de 8 semanas, realizando 3 sesiones semanales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Función manual en actividades de la vida diaria: Cuestionario ABILHAND. - Destreza manual y función del miembro superior: MMDT. - Rango de movimiento de hombro, muñeca y tronco. - Suavidad de movimiento: índice de Longitud del Arco Espectral (SPARC) y el Logaritmo de la Dimensión sin Unidad (LDJ). - Alcance funcional: Forward Functional Reach: FFR. 	tronco y la función cinética.
--	--	---	--	-------------------------------

Galperin et al., 2023	124 sujetos con RRMS divididos en TT+VR (n=53) y TT (n=51). Edad: 20-65 años, 72,7% mujeres y EDSS: 2.0 a 6.0.	<p>Ensayo clínico aleatorizado controlado con evaluador ciego con 2 grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entrenamiento en cinta con RV (TT + VR). 2. Entrenamiento en cinta sin RV (TT). <p>Se llevó a cabo 3 veces a la semana durante 6 semanas.</p>	<p>Evaluación previa y al final el tratamiento y a los 3 meses de seguimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de la marcha en doble tarea: sensores inerciales Opals. - Velocidad de procesamiento cognitivo: Symbol Digit Modalities Test (SDMT). - Velocidad de la marcha: T25FW y 6MWT. 	El entrenamiento en cinta con o sin RV tiene un efecto positivo en la marcha y la movilidad.
Maggio et al., 2022	60 pacientes RRMS y SPMS divididos en sVRT (n=30) y	Ensayo clínico aleatorizado con 2 grupos:	<ul style="list-style-type: none"> - Movilidad funcional: TUG. 	El entrenamiento con RV semi-inmersiva es más efectivo en funciones

	<p>entrenamiento cognitivo convencional (n=30). Edad: 50.0 ± 11.4 años, 51,7% hombres y escala EDSS >7</p>	<p>1. Entrenamiento cognitivo con RV semi-inmersiva (sVRT). 2. Entrenamiento cognitivo convencional con papel y lápiz.</p> <p>Ambos grupos recibieron entrenamiento de fuerza, movilidad, control postural y marcha. La duración de la intervención en el estudio fue de 8 semanas, con un total de 24 sesiones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio: Tinetti balance and Gait Scale (Tinetti B-G). - Control del tronco: Control Trunk Test (CONT TK). 	<p>motoras, cognitivas y en calidad de vida que el entrenamiento convencional. Asimismo, la combinación de entrenamiento cognitivo y motor unido a la RV podría ser una estrategia de rehabilitación efectiva en pacientes con EM.</p>
--	---	--	--	--

Marcos-Antón et al., 2023	30 sujetos con EM: RRMS (n=15), SPMS (n=10) y PPMS (n=5) divididos en dos grupos de 15 sujetos. Edad: 48.27 ± 7.06 años, 46,67% hombres y EDSS de 3.0 a 7.5.	<p>Ensayo clínico aleatorizado controlado de doble ciego dividido en 2 grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Rehabilitación con mYO Armband® y serious games + rehabilitación convencional. 2) Rehabilitación convencional. <p>Se realizaron 2 sesiones semanales de 60 minutos durante 8 semanas.</p>	<p>Evaluación previa, al finalizar y a las 2 semanas tras finalizar de seguimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> - ROM muñeca: goniómetro. - Fuerza de agarre: dinamómetro. - Destreza manual gruesa: BBT test. - Fatiga: FSS. - Funcionalidad del miembro superior: ABILHAND. - Calidad de vida: MSIS-29. 	El uso de la RV mejoró el ROM de la muñeca además de la fuerza de agarre en comparación con la rehabilitación convencional. No hubo diferencias en destreza manual, funcionalidad, fatiga o calidad de vida.
---------------------------	--	--	--	--

Molhemi et al., 2020	39 pacientes con EM: VR (n=19) y entrenamiento convencional (n=20). Edad: 18-64 años y EDSS >6.	<p>Ensayo controlado aleatorizado, simple ciego.</p> <p>Dos grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) RV 2) Entrenamiento convencional de equilibrio. <p>Duración: 6 semanas, 3 sesiones semanales de 30 minutos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio (BBS, Limits of Stability). - Movilidad (TUG) - Velocidad de la marcha: (10MW). - Caídas (historial de caídas). 	<p>Equilibrio: Mejoras significativas en ambos grupos, con mayor eficacia en el control direccional en el grupo convencional.</p> <p>Movilidad: Mejora en el grupo de VR, especialmente en tareas de doble tarea cognitiva y motora.</p> <p>Caídas: Reducción significativa de caídas en el grupo de VR en el seguimiento a 3 meses</p>
----------------------	---	---	---	---

Norouzi et al., 2021	45 mujeres iraníes con RRMS (edad media: 26.39 \pm 3.45, EDSS medio de 2.15 \pm 1.38).	<p>Ensayo clínico aleatorizado con tres grupos:</p> <p>1) RV</p> <p>2) Entrenamiento físico convencional (CPT)</p> <p>3) Combinado (COMB).</p> <p>Duración: 8 semanas (2 sesiones/semana, 30 min).</p> <p>Tarea de coordinación bimanual anti-fase con análisis digital.</p>	<p>Evaluación: pre, post y seguimiento (4 semanas después).</p> <p>Coordinación bimanual medida a través de dos indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precisión (error absoluto del desfase relativo - AEw). - Consistencia (desviación estándar del desfase relativo - SDw) <p>Evalúadas mediante una tarea de movimiento anti-fase de muñeca con feedback visual.</p>	Mejora significativa en la coordinación bimanual en todos los grupos, siendo el grupo combinado (COMB) el que obtuvo los mejores resultados tanto en precisión como en consistencia, con efectos mantenidos en el seguimiento. COMB > VRT > CPT en eficacia.
----------------------	--	--	---	--

Ozkul et al., 2020	54 pacientes con EM (n=13 por grupo, 4 pérdidas). Edad de 18-65 años y EDSS >6	<p>Estudio clínico controlado, aleatorizado y simple ciego. Tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) RV inmersiva (IVR). 2) Entrenamiento de equilibrio (BTG). 3) Grupo control (CG) <p>Duración: 8 semanas, 2 sesiones semanales de 50 min.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Equilibrio (BBS y posturografía). - Movilidad (TUG). - Fatiga (FFS). 	<p>Balance: Mejoras en estabilidad postural (ojos abiertos/superficie firme y ojos cerrados/superficie de espuma) en IVRG y BTG. El grupo de entrenamiento de equilibrio mejoró el BBS, mientras que IVRG mejoró más la estabilidad con ojos cerrados/superficie firme.</p> <p>Movilidad: Mejoras significativas en ambos grupos de entrenamiento</p>
--------------------	--	---	--	---

				(IVRG y BTG) sin diferencias intergrupales. Fatiga: Reducción significativa de la fatiga en ambos grupos de entrenamiento.
Pagliari et al., 2025	111 personas con EM. Edad 25–70 años y EDSS ≤6.5.	Ensayo clínico aleatorizado multicéntrico, cegado por evaluadores. Cuatro grupos: 1) TR RS-AtDCS (telerehabilitación + tDCS activa).	Evaluación pre y post tratamiento. - Equilibrio postural: Mini-BESTest. - Movilidad: TUG. - Percepción subjetiva de la capacidad para caminar: 10-MSWS. - Cognición: MoCA, SDMT.	Todos los grupos TR mejoraron función motora respecto a UC. Grupo TR RS-AtDCS mostró mayor mejora en percepción de la marcha (12-MSWS) y ansiedad (STAI-Y1). Sin cambios significativos en cognición o fatiga. La

		<p>2) TR RS-StDCS (telerehabilitación + tDCS simulada).</p> <p>3) TR (telerehabilitación sin tDCS),</p> <p>4) UC (tratamiento habitual).</p> <p>Intervención de 6 semanas (5 sesiones/semana, 45 min).</p>	<p>- Participación: MSQOL-54, FSS, BDI, STAI-Y, Regulatory Emotional Self-Efficacy (RESE).</p>	combinación TR + tDCS activa fue segura, bien tolerada y eficaz para movilidad y ansiedad.
Zanotto et al., 2025	83 personas con EM divididos en TT+VR (n=44) y TT (n=39). Edad media de 49.4	Estudio controlado, aleatorizado y multicéntrico. Comparó el entrenamiento en cinta con (TT+VR) y sin RV (TT).	<p>- Índice de fragilidad (FI) evaluado con 40 ítems.</p> <p>- FI físico (sin ítems cognitivos).</p>	El índice de fragilidad (FI) mejoró en ambos grupos, pero solo el grupo TT+VR mostró mejoras significativas en los

	años, 73.5% mujeres.	Duración de 6 semanas, 3 veces por semana.	- FI cognitivo (sin ítems físicos).	aspectos cognitivos de la fragilidad (FI-cognitivo). No se encontraron interacciones significativas entre el tiempo y el grupo para el FI total.
--	----------------------	--	-------------------------------------	--

Nota. Elaboración propia.