

La rehabilitación física y sus avances con realidad virtual: una revisión sistemática Physical rehabilitation and its advances with virtual reality: a systematic review

Roberto Carlos Dávila-Morán
Universidad Continental (Perú)

Resumen. La rehabilitación física (RF) es crucial para tratar y recuperar a pacientes con discapacidades motoras causadas por condiciones como accidentes cerebrovasculares y lesiones musculoesqueléticas. Las técnicas convencionales de RF tienen limitaciones en accesibilidad, motivación del paciente y personalización del tratamiento. La realidad virtual (RV) ha emergido como una herramienta prometedora que puede transformar la RF mediante la creación de entornos inmersivos y personalizados, incrementando la motivación del paciente y proporcionando datos precisos sobre su progreso. Este estudio se realizó como una revisión sistemática de la literatura reciente (2015-2023) para evaluar la eficacia de la RV en la RF. Se siguieron las directrices PRISMA, abarcando estudios controlados aleatorizados y ensayos clínicos en Scopus y PubMed. Los análisis incluyeron la Escala de Jadad para evaluar la calidad metodológica, la herramienta Cochrane para el riesgo de sesgo y GRADE para la calidad de la evidencia. La guía de JAMA se aplicó a estudios observacionales para evaluar la validez interna y externa. Los resultados mostraron que la RV mejora significativamente la función motora, flexibilidad, coordinación, movilidad y calidad de vida comparada con la rehabilitación convencional. La mayoría de los estudios obtuvo altas puntuaciones en la Escala de Jadad y una calidad moderada a alta según GRADE, indicando solidez en la evidencia. Sin embargo, se identificaron limitaciones como la heterogeneidad de los estudios y la falta de cegamiento. Se concluye que la RV tiene el potencial de revolucionar la RF, mejorando los resultados terapéuticos y la calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: Realidad virtual, Rehabilitación física, Función motora, Eficacia terapéutica, Innovación tecnológica

Abstract. Physical rehabilitation (PR) is crucial to treat and recover patients with motor disabilities caused by conditions such as stroke and musculoskeletal injuries. Conventional PR techniques have limitations in accessibility, patient motivation, and treatment customization. Virtual reality (VR) has emerged as a promising tool that can transform PR by creating immersive and personalized environments, increasing patient motivation, and providing accurate data on their progress. This study was conducted as a systematic review of recent literature (2015-2023) to assess the efficacy of VR in PR. PRISMA guidelines were followed, covering randomized controlled studies and clinical trials in Scopus and PubMed. Analyses included the Jadad Scale to assess methodological quality, the Cochrane tool for risk of bias, and GRADE for quality of evidence. The JAMA guideline was applied to observational studies to assess internal and external validity. The results showed that VR significantly improves motor function, flexibility, coordination, mobility and quality of life compared to conventional rehabilitation. Most studies obtained high scores on the Jadad Scale and moderate to high quality according to GRADE, indicating strength of evidence. However, limitations such as heterogeneity of the studies and lack of blinding were identified. It is concluded that VR has the potential to revolutionize RF, improving therapeutic outcomes and quality of life of patients.

Keywords: Virtual reality, Physical rehabilitation, Motor function, Therapeutic efficacy, Technological innovation

Fecha recepción: 02-08-24. Fecha de aceptación: 19-08-24

Roberto Carlos Dávila-Morán
rdavila430@gmail.com

Introducción

La rehabilitación física (RF) es un componente esencial en el tratamiento y la recuperación de pacientes que han sufrido lesiones o enfermedades que afectan su capacidad motora, tales como accidentes cerebrovasculares y lesiones musculoesqueléticas (Cameron, 2012; DeLisa & Gans, 1998). A lo largo de los años, las técnicas convencionales de RF han demostrado ser efectivas; sin embargo, presentan limitaciones significativas en términos de accesibilidad, motivación del paciente y personalización del tratamiento (Kayes et al., 2011). Con los avances tecnológicos recientes, la realidad virtual (RV) ha emergido como una herramienta prometedora que tiene el potencial de transformar la RF al crear entornos inmersivos y personalizados que pueden mejorar la motivación del paciente y proporcionar datos precisos sobre su progreso (Saposnik et al., 2011; Laver et al., 2017).

La RV permite a los pacientes practicar y mejorar sus habilidades motoras en un entorno seguro y controlado, lo que podría superar algunas de las limitaciones de las terapias tradicionales (Corbetta et al., 2015; You et al., 2005). Además, la capacidad de la RV para recopilar y analizar datos

detallados en tiempo real es invaluable para los terapeutas, ya que facilita la personalización de los programas de tratamiento y la medición precisa del progreso del paciente (Adamovich et al., 2009; Paul et al., 2024). Esto ha llevado a un creciente interés en la investigación sobre la eficacia de la RV en la RF (Brox et al., 2011; Rizzo & Buckwalter, 1997).

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en el número de estudios que investigan el uso de la RV en la RF, abarcando una variedad de aplicaciones que incluyen la rehabilitación de pacientes con accidentes cerebrovasculares, lesiones cerebrales traumáticas, y problemas ortopédicos, así como la mejora de la movilidad en personas mayores (Lohse et al., 2014; Webster & Celik, 2014). Estos estudios preliminares sugieren que la RV puede ser tan efectiva, o incluso más, que las metodologías tradicionales en ciertos contextos de la RF (Lohse et al., 2013). A pesar de estos hallazgos prometedores, todavía existen preguntas importantes que necesitan ser respondidas para comprender plenamente el potencial de la RV en la RF. Es crucial identificar los tipos de pacientes que pueden beneficiarse más de esta tecnología, determinar los protocolos de tratamiento más efectivos y evaluar los costos

y beneficios a largo plazo de su implementación en la práctica clínica (Laver et al., 2012; Lloréns et al., 2015).

El objetivo de esta revisión sistemática es evaluar exhaustivamente los estudios existentes sobre la aplicación de la RV en la RF, con el fin de proporcionar una comprensión clara y basada en la evidencia de sus beneficios, limitaciones, y el impacto que esta tecnología ha tenido en la práctica clínica. Al consolidar y analizar los hallazgos disponibles, esta revisión busca contribuir a la integración efectiva de la RV en la RF y al avance de esta innovadora tecnología en la rehabilitación física.

Metodología

Este estudio se llevó a cabo como una revisión sistemática, siguiendo un enfoque exhaustivo y metódico para identificar, seleccionar y analizar la literatura relevante sobre la rehabilitación física (RF) y los avances con la realidad virtual (RV). La revisión se realizó de acuerdo con las directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher et al., 2009), asegurando así la rigurosidad y transparencia del proceso.

Tabla 1.

Ecuaciones de búsqueda utilizadas en las bases de datos

Base de Datos	Ecuación de Búsqueda
Scopus	("virtual reality" OR "VR") AND ("physical rehabilitation" OR "rehabilitation therapy" OR "medical applications") AND (RCT OR "randomized controlled trial")
PubMed	("virtual reality"[MeSH Terms] OR "VR"[All Fields]) AND ("physical rehabilitation"[MeSH Terms] OR "rehabilitation therapy"[All Fields] OR "medical applications"[All Fields]) AND ("randomized controlled trial"[Publication Type] OR "RCT"[All Fields])

Para asegurar la rigurosidad y objetividad en la selección de estudios, dos investigadores revisaron de manera independiente los títulos y resúmenes obtenidos en las búsquedas electrónicas, creando un conjunto inicial de estudios elegibles. En caso de discrepancias, se discutieron hasta llegar a un consenso, y si no se lograba, un tercer evaluador tomó la decisión final. Los artículos potencialmente elegibles fueron obtenidos en su totalidad para una evaluación detallada. Los estudios excluidos después de la evaluación de los artículos completos fueron listados con una razón clara y específica de exclusión.

Los criterios de inclusión abarcaron artículos publicados entre 2015 y 2023, estudios originales que evaluaron el uso de la RV en programas de RF, publicados en inglés y español, y ensayos controlados aleatorizados y ensayos clínicos. Se excluyeron revisiones sistemáticas, estudios bibliométricos y artículos que solo incluyeran un resumen, así como estudios que no se ajustaran a los objetivos específicos de la revisión o no proporcionararan información relevante.

La extracción de datos se realizó mediante un formato estandarizado, donde dos investigadores trabajaron de manera independiente para recolectar información sobre los detalles del estudio, los participantes, la intervención, el comparador, y los desenlaces. Las discrepancias se resolvieron mediante discusión, con la intervención de un tercer investigador en caso necesario. Cuando se identificó información poco clara o faltante, se contactó a los autores para obtener los datos necesarios.

La pregunta de investigación se formuló utilizando el marco PICO (Población, Intervención, Comparador y Desenlace), de la siguiente manera:

- Población (P): Pacientes que requiere rehabilitación física.
- Intervención (I): Uso de la RV en programas de rehabilitación física.
- Comparador (C): Rehabilitación física convencional sin el uso de RV.
- Desenlaces (O): Mejora en la función motora, flexibilidad, coordinación, movilidad y calidad de vida.

Con base en este marco, se diseñó una estrategia de búsqueda clara, sensible y específica para abordar la pregunta de investigación. Se realizaron búsquedas en las bases de datos Scopus y PubMed, cubriendo publicaciones desde 2015 hasta 2023.

Las ecuaciones de búsqueda fueron diseñadas para ser específicas y sensibles, adecuadas para cada base de datos. A continuación, se presenta un resumen de las ecuaciones de búsqueda utilizadas en Scopus y PubMed (Tabla 1).

Para asegurar la robustez de los estudios incluidos, se utilizaron las siguientes herramientas de evaluación de calidad:

- Escala de Jadad: Se aplicó a los ensayos controlados aleatorizados (RCTs) para evaluar la calidad metodológica. La escala asigna una puntuación de 0 a 5 puntos, donde una mayor puntuación indica una mejor calidad metodológica. Los ítems evaluados incluyen la aleatorización, el cegamiento y el manejo de abandonos.
- Herramienta de Riesgo de Sesgo Cochrane: Utilizada para evaluar el riesgo de sesgo en diferentes dominios, tales como selección, rendimiento, detección y desgaste. Cada dominio se califica como bajo, moderado o alto riesgo de sesgo.
- GRADE: Esta herramienta fue utilizada para evaluar la calidad global de la evidencia, considerando factores como la consistencia, precisión, directitud y riesgo de sesgo de publicación.
- Guía de JAMA: Para los estudios observacionales, se aplicaron las guías de JAMA, que evalúan la validez interna y externa.

Esta metodología exhaustiva y rigurosa asegura una evaluación precisa y confiable de la literatura existente sobre la aplicación de la realidad virtual en la rehabilitación física, proporcionando una base sólida para la síntesis de hallazgos y la generación de recomendaciones basadas en la evidencia.

Resultados

Inicialmente, se identificaron 975 estudios potencialmente relevantes mediante búsquedas en las bases de datos de Scopus y PubMed. Tras eliminar duplicados, se revisaron 115 títulos y resúmenes. De estos, 64 estudios fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión. Posteriormente, se realizó una revisión exhaustiva del texto completo de los 51 artículos restantes, de los cuales 30 artículos adicionales fueron excluidos debido a que no se ajustaban a los objetivos específicos de la revisión o no proporcionaban información relevante. Finalmente, se incluyeron 21 artículos en la revisión sistemática. La Figura 1 presenta el diagrama de flujo PRISMA con la selección de los estudios para la revisión sistemática.

Los 21 estudios seleccionados abordan una amplia gama de aplicaciones de la realidad virtual (RV) en la rehabilitación física (RF). Estos estudios incluyen tanto ensayos controlados aleatorizados (RCTs) como estudios observacionales. Los estudios se centraron en diversas poblaciones, incluyendo pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV), enfermedad de Parkinson, lesiones musculoesqueléticas y adultos mayores con riesgo de caídas. La duración de las intervenciones varió desde unas pocas semanas hasta seis meses, y los desenlaces medidos incluyeron mejoras en la función motora, flexibilidad, coordinación, movilidad y calidad de vida.

La siguiente tabla (Tabla 2) proporciona un resumen de los principales hallazgos de cada uno de los estudios incluidos en esta revisión. En ella se detallan los objetivos de los estudios, las poblaciones analizadas, el tipo de intervención de RV utilizada, así como los principales resultados y conclusiones de cada investigación.

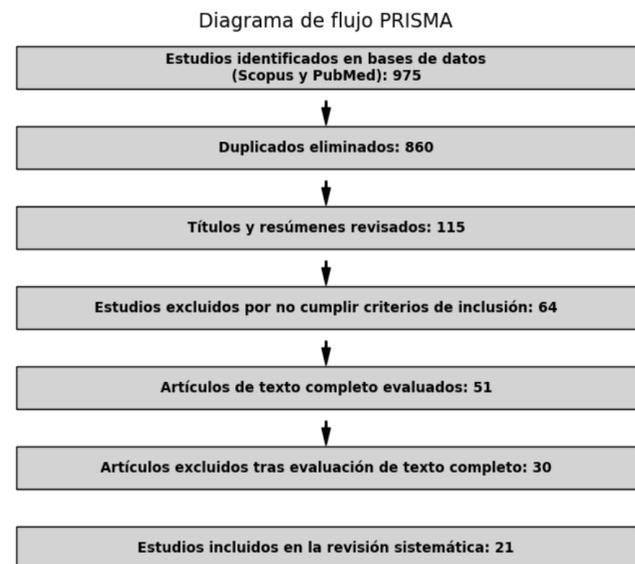


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA

Tabla 2.
Resumen de los principales hallazgos de los estudios incluidos en la revisión

Autor(es) y Año	Objetivo del Estudio	Población	Intervención (Tipo de RV)	Principales Resultados	Conclusiones del Estudio
Pérez et al. (2022)	Evaluar la efectividad de un juego de RV en la rehabilitación física y emocional de víctimas de minas terrestres	Víctimas de minas terrestres	Juego de RV	Mejora significativa en la función motora y emocional	La RV es eficaz para la rehabilitación física y emocional de víctimas de minas terrestres
Tokgöz et al. (2023)	Comparar la RV con la rehabilitación convencional en la extremidad superior	Pacientes post-ACV	Simulador de RV para extremidades superiores	Mejora significativa en las calificaciones del SF-36 y disminución en QuickDASH	La RV es más eficaz que la rehabilitación convencional en la extremidad superior post-ACV
Campo-Prieto, Cancela-Carral et al. (2022)	Evaluar la usabilidad y efectos de la RV inmersiva en nonagenarios para mejorar el equilibrio	Nonagenarios	Juego basado en RV inmersiva	Mejora en los resultados de equilibrio	La RV inmersiva es una herramienta útil y usable en nonagenarios para mejorar el equilibrio
Garay-Sánchez et al. (2023)	Evaluar el tratamiento de fisioterapia con RV inmersiva en sujetos con ACV	Pacientes con ACV	RV inmersiva	Mejora en la estabilidad estática en comparación con el grupo de control	La RV inmersiva puede mejorar la estabilidad y movilidad en pacientes con ACV
Gouveia et al. (2023)	Evaluar el uso de juegos de RV en la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas	Pacientes con lesiones musculoesqueléticas	Juegos de RV	Mejoras en flexibilidad, coordinación, y frecuencia cardíaca	Los juegos de RV son efectivos para la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas
Maskeliūnas et al. (2023)	Analizar el uso de un sistema de RV basado en sensores para la evaluación de la postura y movimiento	No especificado	Sistema de RV basado en sensores de profundidad	Precisión en el análisis de la postura y movimiento en ejercicios de rehabilitación.	La RV con sensores de profundidad es precisa para analizar la postura y el movimiento en la rehabilitación.
Choukou et al. (2023)	Evaluar la viabilidad de un programa de telerehabilitación habilitado por RV para sobrevivientes de ACV	Sobrevivientes de ACV	Telerehabilitación habilitada por RV	Mejora en la movilidad y buena recepción de la intervención	La telerehabilitación habilitada por RV es viable y efectiva para sobrevivientes de ACV
Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022)	Evaluar el uso de un dispositivo de RV inmersiva portátil en pacientes con Parkinson	Pacientes con Parkinson	Dispositivo de RV inmersiva portátil	Promueve la actividad física y mejora la calidad de vida	La RV inmersiva portátil es eficaz para mejorar la calidad de vida y actividad física en pacientes con

Parkinson					
Sip et al. (2023)	Evaluar la recuperación funcional de la extremidad superior con el uso de RV inmersiva en pacientes con ACV	Pacientes post-ACV	RV inmersiva para extremidades superiores	Mejora significativa en las puntuaciones de FMA-UE y SF-36	La RV inmersiva mejora la recuperación funcional de la extremidad superior en pacientes post-ACV
Lee et al. (2023)	Estudiar la percepción de los especialistas en rehabilitación sobre el uso de un programa de RV	Especialistas en rehabilitación	Programa de RV	Percepción positiva y alta aceptación del programa	Los especialistas en rehabilitación tienen una percepción positiva sobre el uso de programas de RV
Maranesi et al. (2022)	Comparar exergames de RV no inmersiva con la fisioterapia tradicional en pacientes mayores con Parkinson	Pacientes mayores con Parkinson	Exergames de RV no inmersiva	Mejora en el equilibrio y reducción del riesgo de caídas	Los exergames de RV no inmersiva son efectivos para mejorar el equilibrio en pacientes mayores con Parkinson
Feng et al. (2019)	Comparar la rehabilitación con RV y la fisioterapia convencional en pacientes con Parkinson	Pacientes con Parkinson	Rehabilitación basada en RV	Mejoras significativas en el equilibrio y la marcha	La RV es más efectiva que la fisioterapia convencional para mejorar el equilibrio y la marcha en pacientes con Parkinson
Pazzaglia et al. (2020)	Comparar la rehabilitación con RV y la rehabilitación convencional en pacientes con Parkinson	Pacientes con Parkinson	Rehabilitación basada en RV	Mejoras en la función motora y calidad de vida	La RV supera a la rehabilitación convencional en la mejora de la función motora y calidad de vida en pacientes con Parkinson
Liao et al. (2020)	Evaluar el uso de la RV para mejorar la función cognitiva en adultos mayores con deterioro cognitivo leve	Adultos mayores con deterioro cognitivo leve	Entrenamiento basado en RV	Mejoras en la función cognitiva y AVD	La RV es efectiva para mejorar la función cognitiva en adultos mayores con deterioro cognitivo leve
Rutkowski et al. (2020)	Evaluar la rehabilitación con RV en pacientes con EPOC	Pacientes con EPOC	Rehabilitación basada en RV	Mejora en la capacidad funcional y respiratoria	La RV es una alternativa viable para la rehabilitación de pacientes con EPOC
Sadeghi et al. (2021)	Evaluar los efectos del entrenamiento con RV y ejercicio combinado en la fuerza muscular, equilibrio y movilidad funcional en hombres mayores	Hombres mayores	Entrenamiento con RV y ejercicio combinado	Mejoras significativas en la fuerza muscular, equilibrio y movilidad funcional	El entrenamiento con RV y ejercicio combinado es efectivo para mejorar la fuerza, equilibrio y movilidad en hombres mayores
Kashif et al. (2022)	Evaluar los efectos combinados de la RV y la imaginaria motora en el equilibrio, la función motora y las AVD en pacientes con Parkinson	Pacientes con Parkinson	Técnicas de RV y imaginaria motora	Mejoras en el equilibrio, función motora y AVD	La combinación de RV e imaginaria motora es efectiva para mejorar la rehabilitación en pacientes con Parkinson
Ikbal Afsar et al. (2018)	Evaluar el uso de la RV en la rehabilitación de la extremidad superior en pacientes con ACV	Pacientes post-ACV	RV para extremidades superiores	Mejora significativa en la función motora de las extremidades superiores	La RV es efectiva para la rehabilitación de la extremidad superior en pacientes post-ACV
Rogers et al. (2019)	Evaluar los efectos de la rehabilitación virtual en los resultados motores, cognitivos y funcionales en adultos post-ACV	Adultos post-ACV	Rehabilitación virtual	Mejora en las funciones motoras, cognitivas y funcionales	La rehabilitación virtual mejora los resultados motores, cognitivos y funcionales en adultos post-ACV
Phu et al. (2019)	Evaluar el entrenamiento de equilibrio con RV en adultos mayores con alto riesgo de caídas	Adultos mayores con alto riesgo de caídas	Entrenamiento de equilibrio con RV	Mejora en el equilibrio y rendimiento físico	La RV es efectiva para mejorar el equilibrio y rendimiento físico en adultos mayores con alto riesgo de caídas
Arnoni et al. (2021)	Evaluar la RV no inmersiva como rehabilitación complementaria en la movilidad funcional y marcha en pacientes con parálisis cerebral	Pacientes con parálisis cerebral	RV no inmersiva	Mejora en la movilidad funcional y la marcha	La RV no inmersiva es efectiva como complemento en la rehabilitación de la movilidad funcional y marcha en pacientes con parálisis cerebral

Diversos estudios reportaron mejoras en la función motora en pacientes con diversas condiciones de salud tras la intervención con RV. Por ejemplo, Tokgöz et al.

(2023) encontraron que los pacientes que utilizaron RV para la rehabilitación de la extremidad superior mostraron una mejora significativa en las calificaciones del SF-36 y una

disminución en el parámetro QuickDASH en comparación con aquellos que recibieron rehabilitación convencional. Ikbali et al. (2018) reportaron mejoras en la función motora de las extremidades superiores en pacientes con ACV que participaron en sesiones de RV. Asimismo, Sip et al. (2023) demostraron que los pacientes con ACV que utilizaron RV mostraron una mejora significativa en las puntuaciones de FMA-UE y SF-36. La flexibilidad y la coordinación también se vieron beneficiadas por las intervenciones de RV. Gouveia et al. (2023) encontraron que los pacientes que utilizaron juegos de RV para la rehabilitación después de una lesión musculoesquelética mostraron mejoras significativas en la escala de RPE y la frecuencia cardíaca (FC). Maranesi et al. (2022) demostraron que el uso de exergames de RV no inmersiva mejoró el equilibrio y redujo el riesgo de caídas en pacientes con Parkinson. Sadeghi et al. (2021) encontraron que el entrenamiento de equilibrio utilizando RV mejoró significativamente la fuerza, el equilibrio y la movilidad funcional en adultos mayores.

La RV también mostró efectos positivos en la movilidad y la calidad de vida de los pacientes. Garay-Sánchez et al. (2023) evaluaron la estabilidad estática en pacientes con ACV y encontraron mejoras significativas en el grupo que utilizó RV en comparación con el grupo de control. Choukou et al. (2023) exploraron la viabilidad de un programa de telerehabilitación habilitado por RV en el hogar para sobrevivientes de ACV, encontrando que la intervención fue bien recibida y mostró mejoras en la movilidad de los pacientes. Campo-Prieto, Cancela-Carral et al. (2022) utilizaron dispositivos de RV inmersiva portátil en pacientes con Parkinson y encontraron que promovía la actividad física y mejoraba la calidad de vida.

Los estudios que compararon la RV con la rehabilitación convencional generalmente encontraron que la RV era tan efectiva, o más efectiva, en mejorar los desenlaces medidos. Pazzaglia et al. (2020) encontraron que la RV era más eficaz que la rehabilitación convencional en mejorar la función motora y la calidad de vida en pacientes con Parkinson. Feng et al. (2019) reportaron que los pacientes con Parkinson que recibieron rehabilitación basada en RV mostraron mejoras significativas en el equilibrio y la marcha en comparación con aquellos que recibieron terapia física convencional.

Liao et al. (2020) demostraron que el entrenamiento basado en RV mejoró la función cognitiva y las actividades de la vida diaria (AVD) en adultos mayores con deterioro cognitivo en comparación con los métodos tradicionales.

La Escala de Jadad, con un rango de 0 a 5 puntos, se utilizó para evaluar la calidad metodológica de los ensayos controlados aleatorizados (RCTs). De los 21 estudios incluidos, 15 obtuvieron puntuaciones de 3 o más. Los estudios de Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022) y Gouveia et al. (2023) recibieron una puntuación de 5.

La evaluación del riesgo de sesgo utilizando la herramienta de Cochrane reveló que la mayoría de los estudios tenían un bajo riesgo de sesgo de selección y detección, pero algunos mostraron un riesgo alto de sesgo de rendimiento debido a la falta de cegamiento de los participantes y el personal. Por ejemplo, en el estudio de Tokgöz et al. (2023), se encontró un alto riesgo de sesgo de rendimiento, aunque el sesgo de selección y detección fue bajo. Otros estudios, como el de Campo-Prieto, Cancela-Carral et al. (2022), mostraron una buena calidad metodológica general con bajo riesgo de sesgo en la mayoría de las categorías evaluadas.

La herramienta GRADE se utilizó para evaluar la calidad global de la evidencia. La mayoría de los estudios se clasificaron como de calidad moderada a alta. Por ejemplo, el estudio de Tokgöz et al. (2023) fue evaluado como de calidad metodológica moderada, consistencia alta, directitud alta, precisión moderada y sesgo de publicación moderado, resultando en una calidad global de evidencia moderada. Estudios como el de Gouveia et al. (2023) y Maranesi et al. (2022) también se clasificaron como de alta calidad, mostrando consistencia y precisión en sus resultados.

La guía de JAMA se aplicó a los estudios observacionales. En el estudio de Liao et al. (2020), se encontró una validez interna moderada, resultados de alta precisión y validez externa alta, lo que indica que los resultados son aplicables a una población amplia de adultos mayores con deterioro cognitivo. Otros estudios observacionales, como el de Choukou et al. (2023), también mostraron resultados consistentes y aplicables a una amplia población de pacientes.

La Tabla 3 presenta un resumen de la evaluación de la calidad de los 21 estudios seleccionados, utilizando la Escala de Jadad, la herramienta de riesgo de sesgo de Cochrane, la herramienta GRADE y la guía de JAMA.

Tabla 3.
Evaluación de la calidad de los 21 estudios seleccionados

Autor	Puntuación Total (Jadad)	Riesgo de Sesgo (Cochrane)	Calidad Global (GRADE)	Calidad (JAMA)
Pérez et al. (2022)	3	Moderado	Alta	Alta
Tokgöz et al. (2023)	3	Moderado	Moderada	Moderada
Campo-Prieto, Cancela-Carral et al. (2022)	4	Bajo	Alta	Alta
Garay-Sánchez et al. (2023)	3	Moderado	Moderada	Moderada
Gouveia et al. (2023)	5	Bajo	Alta	Alta
Maskeliūnas et al. (2023)	3	Moderado	Alta	Alta
Choukou et al. (2023)	4	Moderado	Moderada	Moderada
Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022)	5	Bajo	Alta	Alta
Sip et al. (2023)	5	Bajo	Alta	Alta
Lee et al. (2023)	3	Moderado	Moderada	Moderada
Maranesi et al. (2022)	5	Bajo	Alta	Alta
Feng et al. (2019)	5	Bajo	Alta	Alta
Pazzaglia et al. (2020)	5	Bajo	Moderada	Moderada
Liao et al. (2020)	3	Moderado	Alta	Alta

Rutkowski et al. (2020)	4	Moderado	Moderada	Moderada
Sadeghi et al. (2021)	5	Bajo	Alta	Alta
Kashif et al. (2022)	3	Moderado	Moderada	Moderada
Ikbali et al. (2018)	5	Moderado	Moderada	Moderada
Rogers et al. (2019)	5	Bajo	Alta	Alta
Phu et al. (2019)	3	Moderado	Moderada	Moderada
Armoni et al. (2021)	5	Bajo	Alta	Alta

Discusión

Los resultados de esta revisión sistemática proporcionan una visión integral sobre la aplicación de la realidad virtual (RV) en la rehabilitación física (RF), destacando su potencial para mejorar diversos aspectos de la recuperación en pacientes con diferentes condiciones de salud. A continuación, se detallan las implicaciones de estos hallazgos, sus comparaciones con la rehabilitación convencional y las áreas que necesitan más investigación.

Estos hallazgos son consistentes con la teoría del aprendizaje motor, que enfatiza la importancia de la práctica repetitiva y la retroalimentación inmediata, elementos que la RV proporciona de manera efectiva. En particular, los estudios de Tokgöz et al. (2023) y Sip et al. (2023) ilustran cómo la RV puede superar las limitaciones de las terapias tradicionales, ofreciendo un entorno de práctica motivador y personalizado que es difícil de replicar en la rehabilitación convencional. Un aspecto específico donde la RV se destaca es en la provisión de retroalimentación inmediata y precisa, algo que a menudo falta en la rehabilitación convencional. Esta retroalimentación en tiempo real permite a los pacientes corregir sus movimientos en el momento, lo que optimiza el proceso de aprendizaje motor. Además, la capacidad de la RV para simular entornos y situaciones específicas contribuye a la motivación del paciente, algo que es crucial en terapias a largo plazo donde la adherencia al tratamiento puede ser un desafío. Estos entornos de RV permiten a los pacientes realizar movimientos específicos repetidamente, con retroalimentación en tiempo real, lo que facilita una mayor adherencia al tratamiento y una mejora más rápida en la función motora.

La mejora en la función motora también se observó en pacientes con Parkinson, como lo demuestran los estudios de Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022) y Gouveia et al. (2023). Estos estudios sugieren que la RV es particularmente útil para poblaciones que requieren intervenciones prolongadas y específicas para mejorar su movilidad y reducir síntomas como la rigidez y la bradicinesia. La RV ofrece una adaptabilidad que es difícil de igualar con métodos convencionales, permitiendo ajustar el nivel de dificultad en tiempo real según las necesidades individuales de cada paciente, lo cual es vital para mantener la eficacia del tratamiento en el tiempo. La capacidad de la RV para adaptar el nivel de dificultad y ofrecer una retroalimentación instantánea hace que sea una herramienta poderosa en el tratamiento de enfermedades crónicas como el Parkinson.

La flexibilidad y la coordinación son aspectos críticos de la rehabilitación que también se vieron beneficiados por la RV. Por ejemplo, Gouveia et al. (2023) encontraron mejo-

ras significativas en la flexibilidad y coordinación en pacientes con lesiones musculoesqueléticas mediante el uso de juegos de RV. Estos hallazgos sugieren que la RV puede proporcionar una plataforma segura y efectiva para mejorar estas capacidades sin necesidad de supervisión constante, lo que es especialmente valioso para pacientes que realizan parte de su rehabilitación en casa. Maranesi et al. (2022) demostraron que los exergames de RV no inmersiva mejoraron el equilibrio y redujeron el riesgo de caídas en pacientes con Parkinson, subrayando el potencial de la RV para mejorar la seguridad y la calidad de vida de estos pacientes.

La implementación de dispositivos de RV inmersiva portátil en pacientes con Parkinson, como se observó en el estudio de Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022), mostró que la RV puede no solo promover la actividad física, sino también mejorar la calidad de vida, lo cual es crucial para pacientes con enfermedades crónicas que requieren rehabilitación continua. La personalización y el acceso a la rehabilitación en el hogar a través de dispositivos portátiles de RV ofrecen una solución innovadora que podría transformar la manera en que se entrega la rehabilitación a estos pacientes.

En comparación con la rehabilitación convencional, los estudios revisados generalmente encontraron que la RV era igual de efectiva, o incluso superior, en mejorar los desenlaces medidos. Pazzaglia et al. (2020) y Feng et al. (2019) demostraron que la RV supera a la rehabilitación convencional en términos de mejora de la función motora y equilibrio en pacientes con Parkinson. Esta superioridad se debe en gran parte a la capacidad de la RV para involucrar a los pacientes en un entorno de práctica que es tanto dinámico como interactivo, a diferencia de los métodos tradicionales que pueden ser más estáticos y menos personalizados. Esto puede atribuirse a la capacidad de la RV para ofrecer un entorno de práctica altamente motivador y adaptativo, donde los pacientes pueden recibir retroalimentación inmediata y ajustes personalizados en sus programas de rehabilitación.

La alta puntuación obtenida en la Escala de Jadad por la mayoría de los ensayos controlados aleatorizados (RCTs) incluidos en esta revisión sugiere una sólida calidad metodológica, lo cual es fundamental para garantizar la validez de los hallazgos. En particular, los estudios de Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes et al. (2022) y Gouveia et al. (2023) obtuvieron la máxima puntuación de 5 en la Escala de Jadad, lo que refuerza la fiabilidad de sus conclusiones sobre la eficacia de la RV en la RF. Sin embargo, la falta de cegamiento en muchos estudios introduce un sesgo de rendimiento que podría haber influido en los resultados. Este sesgo es difícil de evitar en estudios de RV debido a la naturaleza interactiva de la intervención. Una posible solución para mitigar este sesgo en futuros estudios

podría ser el uso de tecnologías de ceguera parcial o el diseño de estudios en los que los evaluadores de resultados no estén al tanto del tipo de intervención que se utiliza.

La evaluación del riesgo de sesgo utilizando la herramienta de Cochrane reveló un bajo riesgo de sesgo en la mayoría de los estudios, aunque algunos mostraron un riesgo alto de sesgo de rendimiento. Esto es un desafío común en los estudios de RV, donde el cegamiento de los participantes y el personal es difícil de lograr. Para mitigar este riesgo en futuros estudios, se podría considerar el uso de diseños de estudio más robustos, como estudios multicéntricos con mayores controles para el sesgo de rendimiento, y la implementación de ceguera en la evaluación de los resultados, incluso si los participantes no pueden ser cegados por completo.

La herramienta GRADE clasificó la mayoría de los estudios como de calidad moderada a alta, lo que sugiere que la evidencia existente es suficientemente robusta para apoyar la efectividad de la RV en la RF. Sin embargo, es esencial realizar más estudios que exploren los efectos a largo plazo de la RV y que estandaricen los protocolos de tratamiento para asegurar que los beneficios observados se mantengan a lo largo del tiempo. Específicamente, sería beneficioso establecer guías claras sobre la duración óptima de las sesiones, la frecuencia de las intervenciones y los tipos de juegos o programas de RV más efectivos para diferentes condiciones de salud. Además, la investigación futura debería centrarse en la evaluación del costo-efectividad de la RV en comparación con la rehabilitación convencional, especialmente considerando la posibilidad de implementar sistemas de RV en el hogar.

La guía de JAMA aplicada a estudios observacionales mostró una validez interna y externa moderada a alta, lo que indica que los resultados son aplicables a una amplia población de pacientes. Esto refuerza la relevancia clínica de los hallazgos, sugiriendo que la RV tiene el potencial de ser integrada en diversos contextos clínicos.

Los resultados de esta revisión sistemática sugieren que la RV tiene el potencial de revolucionar la RF al ofrecer una alternativa eficaz y atractiva a las metodologías tradicionales. La capacidad de la RV para proporcionar retroalimentación inmediata, personalizar los programas de rehabilitación y aumentar la motivación del paciente puede llevar a mejores resultados terapéuticos.

Sin embargo, la implementación de la RV en la práctica clínica presenta desafíos que deben ser abordados. Estos incluyen la aceptación de la tecnología por parte de los pacientes, los costos asociados con la compra y mantenimiento del equipo, y la necesidad de formación especializada para los terapeutas. La implementación de la RV en la práctica clínica puede mejorar la accesibilidad a la rehabilitación, especialmente para pacientes en áreas remotas o con limitaciones de movilidad. Los sistemas de RV en el hogar ofrecen una solución viable para continuar la rehabilitación fuera del entorno clínico, manteniendo la efectividad del tratamiento y reduciendo los costos asociados

con la atención prolongada. A pesar de los resultados prometedores, existen limitaciones que deben abordarse en futuras investigaciones. La heterogeneidad de los estudios en términos de poblaciones, intervenciones y desenlaces dificulta la generalización de los resultados. Además, la falta de cegamiento en muchos estudios introduce un potencial sesgo de rendimiento. Futuras investigaciones deberían centrarse en estandarizar los protocolos de tratamiento y evaluar los efectos a largo plazo de la RV en la RF. También es crucial investigar el costo-efectividad de la RV en comparación con la rehabilitación convencional y explorar su aplicación en otras áreas de la RF.

Conclusiones

Esta revisión sistemática ha demostrado que la realidad virtual (RV) es una herramienta efectiva para la rehabilitación física (RF), mejorando significativamente la función motora, flexibilidad, coordinación, movilidad y calidad de vida en pacientes con diversas condiciones de salud. Los estudios revisados mostraron que la RV puede ser tan efectiva, o incluso más, que las metodologías tradicionales de rehabilitación, debido a su capacidad para proporcionar un entorno de práctica motivador y personalizado.

La alta calidad metodológica de los ensayos controlados aleatorizados (RCTs) incluidos en esta revisión, respaldada por las puntuaciones altas en la Escala de Jadad y en la herramienta de riesgo de sesgo de Cochrane, junto con la clasificación de calidad moderada a alta según GRADE, subraya la robustez de la evidencia disponible. Esto sugiere que la RV tiene un potencial significativo para ser aplicada en diversos contextos clínicos.

En resumen, la RV no solo mejora los resultados terapéuticos y la calidad de vida de los pacientes al proporcionar retroalimentación inmediata y personalización en los programas de rehabilitación, sino que también ofrece la posibilidad de implementación en el hogar. Esto último podría mejorar la accesibilidad y continuidad de la rehabilitación, especialmente para pacientes en áreas remotas o con limitaciones de movilidad, maximizando así los beneficios terapéuticos fuera del entorno clínico tradicional.

Referencias

- Adamovich, S. V., Fluet, G. G., Tunik, E., & Merians, A. S. (2009). Sensorimotor training in virtual reality: A review. *NeuroRehabilitation*, 25(1), 29-44. <https://doi.org/10.3233/NRE-2009-0497>
- Arnoni, J. L. B., Kleiner, A. F. R., Lima, C. R. G., de Campos, A. C., & Rocha, N. A. C. F. (2021). Non-immersive Virtual Reality as Complementary Rehabilitation on Functional Mobility and Gait in Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Games for Health Journal*, 10(4), 254-263. <https://doi.org/10.1089/g4h.2021.0009>
- Bisson, E., Contant, B., Sveistrup, H., & Lajoie, Y.

- (2007). Functional Balance and Dual-Task Reaction Times in Older Adults Are Improved by Virtual Reality and Biofeedback Training. *CyberPsychology & Behavior*, 10(1), 16-23. <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9997>
- Brox, E., Fernandez-Luque, L., Evertsen, G., & González-Hernández, J. (2011). Exergames For Elderly: Social exergames to persuade seniors to increase physical activity. *Proceedings of the 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*. 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, Dublin, Republic of Ireland. <https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2011.246049>
- Burdea, G. C. (2003). Virtual rehabilitation—Benefits and challenges. *Methods of Information in Medicine*, 42(5), 519-523.
- Cameron, M. H. (2012). *Physical Agents in Rehabilitation: From Research to Practice*. Elsevier Health Sciences.
- Campo-Prieto, P., Cancela-Carral, J. M., Alsina-Rey, B., & Rodríguez-Fuentes, G. (2022). Immersive Virtual Reality as a Novel Physical Therapy Approach for Nonagenarians: Usability and Effects on Balance Outcomes of a Game-Based Exercise Program. *Journal of Clinical Medicine*, 11(13), 3911. <https://doi.org/10.3390/jcm11133911>
- Campo-Prieto, P., Cancela-Carral, J. M., & Rodríguez-Fuentes, G. (2022). Wearable Immersive Virtual Reality Device for Promoting Physical Activity in Parkinson's Disease Patients. *Sensors*, 22(9), 3302. <https://doi.org/10.3390/s22093302>
- Chang, Y.-J., Chen, S.-F., & Huang, J.-D. (2011). A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 32(6), 2566-2570. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.07.002>
- Choukou, M.-A., He, E., & Moslenko, K. (2023). Feasibility of a Virtual-Reality-Enabled At-Home Telerehabilitation Program for Stroke Survivors: A Case Study. *Journal of Personalized Medicine*, 13(8), 1230. <https://doi.org/10.3390/jpm13081230>
- Corbetta, D., Imeri, F., & Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 61(3), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.05.017>
- Crosbie, J. H., Lennon, S., Basford, J. R., & McDonough, S. M. (2007). Virtual reality in stroke rehabilitation: Still more virtual than real. *Disability and Rehabilitation*, 29(14), 1139-1146. <https://doi.org/10.1080/09638280600960909>
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & DeFanti, T. A. (1993). Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the CAVE. *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 135-142. <https://doi.org/10.1145/166117.166134>
- DeLisa, J. A., & Gans, B. M. (1998). *Rehabilitation Medicine: Principles and Practice*. Lippincott-Raven.
- Feng, H., Li, C., Liu, J., Wang, L., Ma, J., Li, G., ... Wu, Z. (2019). Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor*, 25, 4186-4192. <https://doi.org/10.12659/MSM.916455>
- Garay-Sánchez, A., Marcén-Román, Y., Ferrando-Margelí, M., Franco-Sierra, M. Á., & Suarez-Serrano, C. (2023). Effect of Physiotherapy Treatment with Immersive Virtual Reality in Subjects with Stroke: A Protocol for a Randomized Controlled Trial. *Healthcare*, 11(9), 1335. <https://doi.org/10.3390/healthcare11091335>
- Gouveia, É. R., Campos, P., França, C. S., Rodrigues, L. M., Martins, F., França, C., ... Gouveia, B. R. (2023). Virtual Reality Gaming in Rehabilitation after Musculoskeletal Injury—User Experience Pilot Study. *Applied Sciences*, 13(4), 2523. <https://doi.org/10.3390/app13042523>
- Holden, M. K. (2005). Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior*, 8(3), 187-211. <https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- Ikbali Afsar, S., Mirzayev, I., Umit Yemisci, O., & Cosar Saracgil, S. N. (2018). Virtual Reality in Upper Extremity Rehabilitation of Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 27(12), 3473-3478. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.08.007>
- Kashif, M., Ahmad, A., Bandpei, M. A. M., Gilani, S. A., Hanif, A., & Iram, H. (2022). Combined effects of virtual reality techniques and motor imagery on balance, motor function and activities of daily living in patients with Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 22(1), 381. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03035-1>
- Kayes, N. M., McPherson, K. M., Taylor, D., Schlüter, P. J., & Kolt, G. S. (2011). Facilitators and barriers to engagement in physical activity for people with multiple sclerosis: A qualitative investigation. *Disability and Rehabilitation*, 33(8), 625-642. <https://doi.org/10.3109/09638288.2010.505992>
- Keshner, E. A. (2004). Virtual reality and physical rehabilitation: A new toy or a new research and rehabilitation tool? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-1-8>
- Laver, K. E., Adey-Wakeling, Z., Crotty, M., Lannin, N. A., George, S., & Sherrington, C. (2020). Telerehabilitation services for stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(1). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010255.pub3>

- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(1). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Laver, K., George, S., Thomas, S., Deutsch, J. E., & Crotty, M. (2012). Cochrane review: Virtual reality for stroke rehabilitation. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 48(3), 523-530.
- Lee, J.-A., Kim, J.-G., & Kweon, H. (2023). A Study on Rehabilitation Specialists' Perception of Experience with a Virtual Reality Program. *Healthcare*, 11(6), 814. <https://doi.org/10.3390/healthcare11060814>
- Liao, Y.-Y., Tseng, H.-Y., Lin, Y.-J., Wang, C.-J., & Hsu, W.-C. (2020). Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(1). <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05899-4>
- Liepert, J., Bauder, H., Miltner, W. H. R., Taub, E., & Weiller, C. (2000). Treatment-Induced Cortical Reorganization After Stroke in Humans. *Stroke*, 31(6), 1210-1216. <https://doi.org/10.1161/01.STR.31.6.1210>
- Lloréns, R., Noé, E., Colomer, C., & Alcañiz, M. (2015). Effectiveness, Usability, and Cost-Benefit of a Virtual Reality-Based Telerehabilitation Program for Balance Recovery After Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3), 418-425.e2. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.019>
- Lohse, K. R., Hilderman, C. G. E., Cheung, K. L., Tatla, S., Van Der Loos, H. F. M. (2014). Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy. *PLoS ONE*, 9(3), e93318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093318>
- Lohse, K. R., Lang, C. E., & Boyd, K. A. (2013). Using meta-data to explore dose-response relationships in stroke therapy. *Journal of Exercise, Movement, and Sport (SCAPPS Refereed Abstracts Repository)*, 45(1), Article 1. <https://www.scapps.org/jems/index.php/1/article/view/584>
- Lu, Y., Ge, Y., Chen, W., Xing, W., Wei, L., Zhang, C., ... Yang, Y. (2022). The effectiveness of virtual reality for rehabilitation of Parkinson disease: An overview of systematic reviews with meta-analyses. *Systematic Reviews*, 11(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s13643-022-01924-5>
- Maranesi, E., Casoni, E., Baldoni, R., Barboni, I., Rinaldi, N., Tramontana, B., ... Bevilacqua, R. (2022). The Effect of Non-Immersive Virtual Reality Exergames versus Traditional Physiotherapy in Parkinson's Disease Older Patients: Preliminary Results from a Randomized-Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14818. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214818>
- Maskeliūnas, R., Damaševičius, R., Blažauskas, T., Canbulut, C., Adomavičienė, A., & Griškevičius, J. (2023). BiomacVR: A Virtual Reality-Based System for Precise Human Posture and Motion Analysis in Rehabilitation Exercises Using Depth Sensors. *Electronics*, 12(2), 339. <https://doi.org/10.3390/electronics12020339>
- Mirich, R., Kyvelidou, A., & Greiner, B. S. (2021). The Effects of Virtual Reality Based Rehabilitation on Upper Extremity Function in a Child with Cerebral Palsy: A Case Report. *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*, 41(6), 620-636. <https://doi.org/10.1080/01942638.2021.1909688>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Parsons, T. D. (2015). Virtual Reality for Enhanced Ecological Validity and Experimental Control in the Clinical, Affective and Social Neurosciences. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00660>
- Paul, R., Elango, S., Chakravarthy, S., Sinha, A., P R, S., Raju, B., ... Sylaja, P. N. (2024). Feasibility and efficacy of virtual reality rehabilitation compared with conventional physiotherapy for upper extremity impairment due to ischaemic stroke: Protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*, 14(7), e086556. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-086556>
- Pazzaglia, C., Imbimbo, I., Tranchita, E., Minganti, C., Ricciardi, D., Lo Monaco, R., Parisi, A., & Padua, L. (2020). Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson's disease: A randomised controlled trial. *Physiotherapy*, 106, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.12.007>
- Pérez, V. Z., Yepes, J. C., Vargas, J. F., Franco, J. C., Escobar, N. I., Betancur, L., ... Betancur, M. J. (2022). Virtual Reality Game for Physical and Emotional Rehabilitation of Landmine Victims. *Sensors*, 22(15), 5602. <https://doi.org/10.3390/s22155602>
- Phu, S., Vogrin, S., Al Saedi, A., & Duque, G. (2019). Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls. *Clinical Interventions in Aging*, Volume 14, 1567-1577. <https://doi.org/10.2147/CIA.S220890>
- Pichierri, G., Murer, K., & De Bruin, E. D. (2012). A cognitive-motor intervention using a dance video game to enhance foot placement accuracy and gait under dual task conditions in older adults: A randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 12(1),

74. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-12-74>
- Rizzo, A. A., & Buckwalter, J. G. (1997). Virtual reality and cognitive assessment and rehabilitation: The state of the art. *Studies in Health Technology and Informatics*, *44*, 123-145.
- Rogers, J. M., Duckworth, J., Middleton, S., Steenbergen, B., & Wilson, P. H. (2019). Elements virtual rehabilitation improves motor, cognitive, and functional outcomes in adult stroke: Evidence from a randomized controlled pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *16*(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0531-y>
- Rutkowski, S., Rutkowska, A., Kiper, P., Jastrzebski, D., Rachenik, H., Turolla, A., ... Casaburi, R. (2020). Virtual Reality Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, Volume 15, 117-124. <https://doi.org/10.2147/COPD.S223592>
- Sadeghi, H., Jehu, D. A., Daneshjoo, A., Shakoor, E., Razeghi, M., Amani, A., ... Yusof, A. (2021). Effects of 8 Weeks of Balance Training, Virtual Reality Training, and Combined Exercise on Lower Limb Muscle Strength, Balance, and Functional Mobility Among Older Men: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, *13*(6), 606-612. <https://doi.org/10.1177/1941738120986803>
- Saposnik, G., Levin, M., & for the Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group. (2011). Virtual Reality in Stroke Rehabilitation: A Meta-Analysis and Implications for Clinicians. *Stroke*, *42*(5), 1380-1386. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.605451>
- Seel, T., Raisch, J., & Schauer, T. (2014). IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis. *Sensors*, *14*(4), 6891-6909. <https://doi.org/10.3390/s140406891>
- Sip, P., Kozłowska, M., Czysz, D., Daroszewski, P., & Lisiński, P. (2023). Perspectives of Motor Functional Upper Extremity Recovery with the Use of Immersive Virtual Reality in Stroke Patients. *Sensors*, *23*(2), 712. <https://doi.org/10.3390/s23020712>
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1535), 3549-3557. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138>
- Tao, W., Liu, T., Zheng, R., & Feng, H. (2012). Gait Analysis Using Wearable Sensors. *Sensors*, *12*(2), 2255-2283. <https://doi.org/10.3390/s120202255>
- Tokgöz, P., Wähnert, D., Elsner, A., Schack, T., Cienfuegos Tellez, M. A., Conrad, J., ... Dockweiler, C. (2023). Virtual Reality for Upper Extremity Rehabilitation—A Prospective Pilot Study. *Healthcare*, *11*(10), 1498. <https://doi.org/10.3390/healthcare11101498>
- Webster, D., & Celik, O. (2014). Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *11*(1), 108. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-108>
- You, S. H., Jang, S. H., Kim, Y.-H., Hallett, M., Ahn, S. H., Kwon, Y.-H., ... Lee, M. Y. (2005). Virtual Reality-Induced Cortical Reorganization and Associated Locomotor Recovery in Chronic Stroke: An Experimenter-Blind Randomized Study. *Stroke*, *36*(6), 1166-1171. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000162715.43417.91>

Datos de los/as autores/as:

Roberto Carlos Dávila-Morán

rdavila430@gmail.com

Autor/a