

Realidad virtual inmersiva para la rehabilitación de la enfermedad de Parkinson: una revisión narrativa

Rojas-Bustamante Enrique¹ | Adalid-Peralta Laura Virginia²

1. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México, México.

2. Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez, México.

Correspondencia

Laura Virginia Adalid Peralta.
Av. Insurgentes Sur 3877, La Fama,
Tlalpan, 14269 Ciudad de México,
México.

✉ adalid.laura@yahoo.com

Resumen

La enfermedad de Parkinson (EP) es el segundo padecimiento neurodegenerativo con mayor prevalencia a escala global. Actualmente, los síntomas motores de la EP se tratan combinando medicamentos y fisioterapia. La presente revisión narrativa tiene como objetivo ofrecer una perspectiva general del uso de la realidad virtual inmersiva (RVI) en el tratamiento de los síntomas motores en la EP. La metodología consistió en una búsqueda sistemática de artículos científicos en PubMed con palabras clave relacionadas con el tema. Si bien la información sobre el tema en la literatura científica es limitada, los estudios disponibles muestran que las estrategias de rehabilitación que emplean la realidad virtual tienen un efecto positivo en la distancia ($p = 0.001$), cadencia de paso ($p = 0.003$) y la movilidad de las extremidades superiores ($p = 0.002$) en pacientes con EP. Asimismo, diversos autores muestran el potencial de la RVI para ofrecer a los pacientes una terapia motivadora e inmersiva. Así, la tecnología de realidad virtual inmersiva, en desarrollo constante, podría representar una estrategia viable de rehabilitación para la enfermedad de Parkinson.

Palabras clave: *Enfermedad de Parkinson; realidad virtual; ejercicio físico; rehabilitación*

Introducción

La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo complejo que surge en la edad adulta. La EP constituye la segunda enfermedad neurodegenerativa más frecuente después del Alzheimer.¹ De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2016 su incidencia fue de 1 por cada 100 individuos mayores de 60 años, lo que indica que aproximadamente 6,3 millones de personas tienen EP en el mundo. Se estima que para el año 2030 esta cifra aumente globalmente a 12 millones.²

Esta enfermedad se caracteriza clínicamente por el temblor en reposo, rigidez, bradicinesia y alteración de la marcha. Sin embargo, el proceso degenerativo también da lugar a otras manifestaciones no motoras como disautonomía, dolor, trastornos del estado de ánimo, alteraciones del sueño y demencia, entre otras.³ Existe un amplio espectro en las manifestaciones clínicas y el curso de la EP, ya que varían de acuerdo con cada paciente. Las razones de estas diferencias clínicas son poco conocidas, no obstante, la edad y la edad de inicio de la EP son los factores más influyentes.

A medida que la EP progresa con la edad, también aumenta el deterioro de las manifestaciones axiales, como la alteración de los reflejos posturales, imantación de la marcha, hipofonía, disartria y disfagia. Dichas alteraciones suelen ser uno de los principales problemas de la EP avanzada, pues no suelen responder al tratamiento farmacológico.⁴

Actualmente, se ha planteado la necesidad de tratar la EP por medio de fisioterapia en combinación con fármacos e intervenciones quirúrgicas.⁵ Evidencia científica sugiere que el ejercicio constante es esencial para combatir su progreso.⁶ De acuerdo con Tomlinson y colaboradores (2014),⁷ el tratamiento fisioterapéutico busca mejorar la independencia del paciente por medio de estrategias de señalización, así como de movimiento cognitivo y ejercicio, basadas en el desplazamiento, postura, función del miembro superior, equilibrio, marcha, actividad y capacidad físicas. Generalmente, las intervenciones fisioterapéuticas utilizadas para mejorar los síntomas motores de la EP incluyen el entrenamiento de marcha y balance, de resistencia progresiva y de fuerza, ejercicios en cinta rodante, aeróbicos y acuáticos, baile, o la realidad virtual (RV).^{8,9}



“2022 © Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez. Esta obra está bajo una licencia de acceso abierto Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el trabajo original sea correctamente citado. No se permite la reutilización comercial.”

La realidad virtual inmersiva (RVI) es una tecnología de reciente creación en la cual la persona tiene la sensación de presencia en un entorno virtual por medio de equipo especializado, como un casco con pantallas para cada ojo; incluye controles, sensores y trajes que captan el movimiento o incluso habitaciones inmersivas donde se proyecta un ambiente de realidad virtual en las cuatro paredes para simular un entorno natural (Figura 1).¹⁰ Esta tecnología permite a los pacientes realizar diversos ejercicios físicos de rehabilitación en ambientes controlados, inmersivos y seguros.¹¹ Además, al replicar escenarios de la vida real, las habilidades motoras aprendidas por los pacientes durante el entrenamiento pueden ser transferidas a sus actividades diarias.¹¹ Por ejemplo, el tomar y poner cubos virtuales a través de movimientos precisos puede ayudar a los pacientes a mejorar la manipulación de los objetos y disminuir el temblor en reposo de las manos.¹



Figura 1. Ejemplo de un casco de realidad virtual disponible de forma comercial

Actualmente, la fisioterapia es el método de elección para tratar a los pacientes con EP; por su parte, la RVI es una herramienta prometedora para brindar una terapia atractiva y enriquecedora, capaz de mejorar las capacidades motoras de los pacientes. Por ello, la presente revisión narrativa tiene como objetivo analizar la utilidad de la RVI en combinación con el ejercicio físico para el tratamiento de los síntomas motores de la enfermedad de Parkinson.

Metodología

El presente artículo es una revisión narrativa. Se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos en PubMed utilizando los siguientes términos —en su traducción al inglés, en español— y combinaciones de palabras: "Parkinson disease", "virtual reality", "immersive virtual reality", "treatment", "rehabilitation", "physiotherapy" y "trial". Las referencias adicionales se obtuvieron buscando manualmente en listas de referencias. Los artículos revisados fueron publicados hasta primer trimestre del 2022 en inglés y en español.

Criterios de selección

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo según los criterios de selección, exclusión y extracción de datos. Los autores realizaron de forma independiente una selección de estudios que utilizaban una intervención de ejercicio físico en combinación con RVI para tratar pacientes con EP. Se incluyeron aquellos artículos experimentales cuyo objetivo principal fue la rehabilitación física de los pacientes o el análisis del interés y uso del ambiente de RV. Los estudios se filtraron de acuerdo con la información del título, resumen y texto completo; esto último, en aquellos casos en los que los resúmenes no presentaban la información necesaria. Durante el preanálisis se comprobó si los artículos cumplían con los criterios de inclusión y se excluyeron aquellos que utilizaran realidad virtual no inmersiva en las intervenciones.

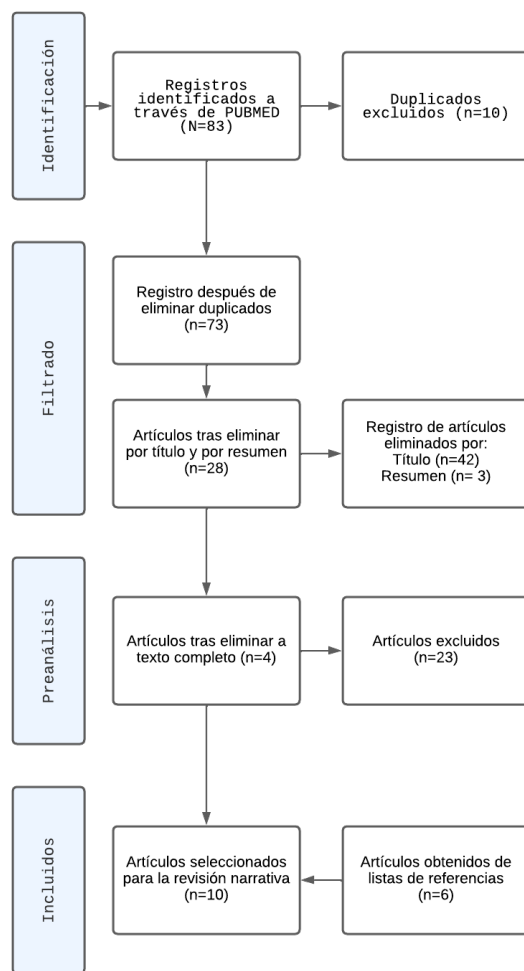


Figura 2. Proceso de selección de artículos

Ejercicio físico como tratamiento de la enfermedad de Parkinson

La efectividad de la rehabilitación del Parkinson por medio del ejercicio físico ha sido estudiada por diversos autores. De acuerdo con Lau y colaboradores (2018),¹³ estudios en ratas han mostrado que el entrenamiento aeróbico en cintas rodantes mejora la función mitocondrial y aumenta la actividad de factores neurotróficos, como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), en la región nigroestriatal del cerebro. Además, se tienen evidencias de que el ejercicio físico puede favorecer la plasticidad cerebral al promover las respuestas neurogenerativas, neuroadaptativas y neuroprotectoras mediadas por la liberación del factor neurotrófico derivado de la glía (GDNF) y el factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), cuya expresión está ligada con la disminución del estrés oxidativo.¹⁴ Por otro lado, estudios en modelos animales y humanos han expuesto que el ejercicio promueve el metabolismo del sistema nervioso central, modula la neuroinflamación y facilita la plasticidad del hipocampo, lo cual es esencial para el aprendizaje espacial.¹⁵

Existen diversos reportes acerca de los beneficios que tiene el ejercicio físico en diferentes intensidades en los síntomas de la EP.¹⁶ Por ejemplo, se ha documentado que el ejercicio intenso puede reducir los niveles de bradicinesia, aumentar la fuerza muscular y la función física de pacientes con EP moderada.¹⁷ Además, los ejercicios que aumentan la fuerza muscular o se enfocan en mejorar el equilibrio, la postura o la caminata, han probado ser eficaces para reducir el riesgo de caídas, una de las principales causas de mortandad en pacientes de edad avanzada con EP.¹⁸ Esto puede lograrse por medio del ejercicio en una cinta rodante, el cual ha mostrado tener un impacto positivo en la caminata, el tiempo de soporte, y la velocidad y distancia del paso en cuatro semanas de terapia.¹⁷ Estos ejercicios pueden realizarse en conjunto con aparatos de RVI para ofrecer a los pacientes una terapia inmersiva y motivadora, capaz de brindar una sensación de control, desafío y progreso, factores que son muy importantes para mantener la adherencia al tratamiento a largo plazo.¹⁹

Estudios de rehabilitación de la enfermedad de Parkinson por medio de realidad virtual inmersiva

Las investigaciones más recientes han demostrado efectos positivos del tratamiento por RVI en diversos síntomas motores de la EP.²⁰⁻²⁶ Principalmente, los estudios han analizado el efecto de la terapia en la marcha,^{23,25} problemas de equilibrio y simetría de la postura,²² movilidad del cuerpo,^{21,24} y manipulación de objetos,^{20,26} factores que impactan fuertemente en la calidad de vida de los pacientes (**Véase Tabla suplementaria 1**).

Para ello, los investigadores han utilizado diversas estrategias, como el diseño de entornos virtuales específicos para la terapia,^{20,22,24,26-29} el uso de una cinta rodante para promover la rehabilitación motora²³ y el empleo de pasillos electrónicos.^{22,25}

Aunque el uso de la RVI puede ser una herramienta ventajosa para la rehabilitación de la EP, aún existen desafíos metodológicos que los investigadores deben superar. Por ejemplo, la terapia de caja y bloque realizada por Cikajlo y Peterlin-Potisk (2019)²⁶ demostró una mejora significativa en el tiempo de manipulación ($p = 0.009$), cubos colocados ($p = 0.028$), temblor promedio ($p = 0.002$) y en la escala unificada de valoración de la enfermedad de Parkinson (UPDRS, por sus siglas en inglés) para las extremidades superiores con un tamaño de efecto pequeño. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas entre el grupo de RVI y el grupo que utilizó una pantalla LCD convencional durante el tratamiento. Esto puede deberse al bajo número de participantes en las pruebas clínicas ($n=20$), problema al que se enfrentan muchos de las investigaciones que utilizan RVI para rehabilitación.^{20,25-28,30}

Por otro lado, encontramos diversos estudios piloto como el propuesto por Janeh y colaboradores, (2019),²² quienes obtuvieron resultados muy prometedores al incrementar significativamente la distancia de paso ($p = 0.001$; $\eta^2 = 0.387$), ancho de paso ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.436$), tiempo de paso ($p = 0.02$; $\eta^2 = 0.208$), cadencia del paso ($p = 0.003$; $\eta^2 = 0.280$) y el índice de asimetría de los pacientes ($p = 0.037$; $\eta^2 = 0.185$) por medio de un sistema de RVI combinado con un pasillo electrónico y sensores en las extremidades inferiores para medir el progreso de la terapia. Los autores mencionan que se requieren mayores estudios que utilizando un grupo control y aplicando el tratamiento de forma prolongada para ver sus efectos a largo plazo. Sin embargo, es posible que la combinación de diversas tecnologías pueda ser muy útil en el tratamiento de la EP.

Por último, varios investigadores se dieron a la tarea de analizar la percepción de los pacientes hacia este tipo de rehabilitación, la usabilidad del sistema en un ambiente clínico, la posible aparición de malestares asociados al simulador y el impacto de la RVI en la motivación de los pacientes para continuar con la terapia. El estudio realizado por Finley y colaboradores (2020),²⁸ buscaba determinar tanto la efectividad de la terapia como el interés de los pacientes por el ambiente virtual Worldplay, desarrollado por los autores para brindar rehabilitación a pacientes con EP.

Para ello, realizaron el análisis de las medianas de las respuestas obtenidas en diversos cuestionarios, y encontraron que tanto los pacientes como el grupo control mostraron altos niveles de interés en el Inventario de Motivación Intrínseca. El Inventario de Sensación de Presencia de la Comisión de Televisión Independiente y la Escala de Usabilidad del Sistema no observaron cambios significativos en el Cuestionario de Malestares Relacionados con el Simulador (($p = 0.5$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Campo-Prieto (2022),²¹ Chen (2020)²⁹ y Brandín-De la Cruz (2020),²³ quienes obtuvieron opiniones positivas sobre el tratamiento y un buen promedio en la usabilidad de sus respectivos sistemas.

Dificultades en la terapia por realidad virtual inmersiva

Diversos autores han resaltado los desafíos de la aplicación clínica de la RVI. Las revisiones sistemáticas realizadas por Dockx (2016),³⁰ Gil (2018)³¹ y Canning (2020)³² mencionan que aún existe poca evidencia que demuestre la superioridad de la rehabilitación por medio de RVI en comparación con la terapia convencional. Esto se debe principalmente a que una gran parte de los estudios con esta tecnología aún se encuentran en etapa piloto o no son pruebas controladas aleatorizadas, lo que dificulta asegurar la efectividad de los tratamientos. Por otra parte se encuentra el problema de la falta de una metodología estandarizada para realizar tratamientos con este tipo de tecnología, ya que los estudios actuales emplean diversos ambientes virtuales, softwares y equipo en conjunto con la RVI. Todos estos factores limitan la capacidad para replicar los tratamientos en diferentes ambientes clínicos y representa uno de los principales desafíos para los investigadores que buscan utilizar esta herramienta.³³ A pesar de las dificultades que presenta, quizás la mayor ventaja de la terapia por RV es que permite a los terapeutas personalizar la terapia y aplicar diversas formas de rehabilitación. Asimismo, permite medir el rendimiento de los pacientes durante la terapia, de manera que se pueden adaptar las intervenciones a las necesidades de cada paciente.^{20,22,27-29} Este enfoque personalizado puede ser el futuro para el tratamiento de la EP, en lugar de una terapia física generalizada que pueda ser utilizada en la mayoría de los pacientes.³²

Por otro lado, diversos estudios concluyen que la rehabilitación por RVI es generalmente bien recibida por los pacientes, lo que puede promover la motivación y la adhesión al tratamiento a largo plazo.^{20,21,26-29} Esto está confirmado por la revisión sistemática realizada por Sevckenko y Lindgren (2022),³⁴ cuyos resultados sugieren que la RVI puede ser una intervención igual de efectiva al entrenamiento convencional, pero con una experiencia más satisfactoria. Asimismo, de acuerdo

con los resultados obtenidos por Janeh y colaboradores (2019),²² es posible que el ejercicio en conjunto con la RVI sea un tratamiento más efectivo para mejorar a corto plazo la marcha y el equilibrio de los pacientes con EP en comparación con la fisioterapia convencional, por lo que puede ser una estrategia prometedora de rehabilitación.

A pesar de estos beneficios, la RVI todavía no se aplica de forma generalizada en la práctica clínica. Esto se debe al bajo número de estudios que comparen la intervención de RVI con un control pasivo, por lo que la evidencia de su efectividad sobre las terapias convencionales es insuficiente.³⁰⁻³² Por lo tanto, se requieren de mayores trabajos de investigación para poder determinar los posibles beneficios de la realidad virtual, crear programas de fisioterapia que sean efectivos para tratar a las personas con EP y obtener más evidencias para determinar el impacto de la RVI a nivel cerebral.

Conclusiones

Estudios recientes sobre la rehabilitación de los síntomas motores en la enfermedad de Parkinson mediante realidad virtual inmersiva han arrojado resultados prometedores. Si bien la mayoría de las investigaciones actuales enfrentan diversos desafíos, las pocas evidencias disponibles parecen indicar que la realidad virtual inmersiva puede ser una herramienta por lo menos igual de efectiva que la terapia convencional para tratar los síntomas motores de la EP. Además, diversos estudios que han analizado la percepción de los pacientes hacia este tipo de terapia muestran que esta tecnología podría superar algunas de las dificultades que presentan las terapias convencionales, como la baja adherencia al tratamiento y el costo elevado.

Referencias

1. Saavedra J, Millán P, Buriticá O. Introducción, epidemiología y diagnóstico de la enfermedad de Parkinson. *Acta Neurol Colomb*. 2019; 35(1): 2-10. [doi:10.22379/24224022244](https://doi.org/10.22379/24224022244)
2. Córdor I, Atencio-Paulino J, Contreras-Cordova C. Características clínico epidemiológicas de la enfermedad de Parkinson en un hospital nacional de la sierra peruana. *Rev Fac Med Hum*. 2019; 19(4):14-21. [doi:10.25176/RFMH.v19i4.2342](https://doi.org/10.25176/RFMH.v19i4.2342)
3. Carrillo F. Enfermedad de Parkinson y parkinsonismos. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*. 2019; 12(73): 4273-84. [doi:10.1016/j.med.2019.03.002](https://doi.org/10.1016/j.med.2019.03.002)
4. Martínez-Fernández R, Gasca-Salas C, Sánchez-Ferro Á, Ángel-Obeso J. Actualización en la enfermedad de Parkinson. *Rev Med Clin Condes*. 2016; 27(3): 363-79. [doi:10.1016/j.mclc.2016.06.010](https://doi.org/10.1016/j.mclc.2016.06.010)

5. Fox SH, Katzenschlager R, Lim SY, Ravina B, Seppi K, Coelho M, et al. The Movement Disorder Society Evidence-Based Medicine Review Update: Treatments for the motor symptoms of Parkinson's disease. *Mov Disord.* 2011; 26 (S3):S2-S41. doi:10.1002/mds.23829
6. van Nimwegen M, Speelman AD, Hofman-van Rossum EJ, Overeem S, Deeg JHD, Borm FG, et al. Physical inactivity in Parkinson's disease. *J Neurol.* 2011; 258(12): 2214-21. doi:10.1007/s00415-011-6097-7
7. Tomlinson CL, Herd CP, Clarke CE, Meek C, Patel S, Stowe R, et al. Physiotherapy for Parkinson's disease: A comparison of techniques. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014; 2014(6): CD002815. doi:10.1002/14651858.CD002815.pub2
8. Miller K, Suárez-Iglesias D, Seijo-Martínez M, Ayán C. Fisioterapia para la congelación de la marcha en la enfermedad de Parkinson: revisión sistemática y metaanálisis. *Rev Neurol.* 2020; 70(5): 161-70. doi:10.33588/rn.7005.2019417+
9. Armstrong MJ, Okun MS. Diagnosis and treatment of Parkinson disease: A review. *JAMA.* 2019; 323(6): 548-60. doi:10.1001/jama.2019.22360
10. Georgiev DD, Georgieva I, Gong Z, Nanjappan V, Georgiev GV. Virtual reality for neurorehabilitation and cognitive enhancement. *Brain Sci.* 2021; 11(2): 221. doi:10.3390/brainsci11020221
11. Wu J, Zhang H, Chen Z, Fu R, Yang H, Zeng H, et al. Benefits of virtual reality balance training for patients with Parkinson disease: Systematic review, meta-analysis, and meta-regression of a randomized controlled trial. *JMIR Serious Games.* 2022; 10(1):e30882. doi:10.2196/30882.
12. Cikajlo I, Peterlin Potisk K. Advantages of using 3D virtual reality based training in persons with Parkinson's disease: A parallel study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019; 16(1):119. doi:10.1186/s12984-019-0601-1.
13. Lau YS, Patki G, Das-Panja K, Le WD, Ahmad SO. Neuroprotective effects and mechanisms of exercise in a chronic mouse model of Parkinson's disease with moderate neurodegeneration. *Eur J Neurosci.* 2011; 33(7):1264-74. doi:10.1111/j.1460-9568.2011.07626.x
14. Marosi K, Bori Z, Hart N, Sárga L, Koltai E, Radák Z, et al. Long-term exercise treatment reduces oxidative stress in the hippocampus of aging rats. *Neuroscience.* 2012; 226: 21-8. doi:10.1016/j.neuroscience.2012.09.001.
15. Cotman CW, Berchtold NC, Christie LA. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosci.* 2007; 30(9):464-72. doi:10.1016/j.tins.2007.06.011. Erratum in: *Trends Neurosci.* 2007 Oct;30(10):489.
16. Xu X, Fu Z, Le W. Exercise and Parkinson's disease. *Int Rev Neurobiol.* 2019; 147: 45-74. doi:10.1016/bs.irm.2019.06.003
17. Dibble LE, Foreman KB, Addison O, Marcus RL, LaStayo PC. Exercise and medication effects on persons with Parkinson disease across the domains of disability: A randomized clinical trial. *J Neurol Phys Ther.* 2015; 39(2):85-92. doi:10.1097/NPT.0000000000000086
18. Mak MK, Wong-Yu IS, Shen X, Chung CL. Long-term effects of exercise and physical therapy in people with Parkinson disease. *Nat Rev Neurol.* 2017; 13(11):689-703. doi: 10.1038/nrneurol.2017.128. Epub 2017 Oct 13. PMID: 29027544.
19. Lewis GN, Rosie JA. Virtual reality games for movement rehabilitation in neurological conditions: how do we meet the needs and expectations of the users? *Disabil Rehabil.* 2012; 34(22):1880-6. doi:10.3109/09638288.2012.670036
20. Sánchez-Herrera-Baeza P, Cano-de-la-Cuerda R, Oña-Simbaña ED, Palacios-Ceña D, Pérez-Corrales J, Cuenca-Zaldivar JN, et al. The impact of a novel immersive virtual reality technology associated with serious games in Parkinson's disease patients on upper limb rehabilitation: A mixed methods intervention study. *Sensors (Basel).* 2020; 20(8):2168. doi:10.3390/s20082168.
21. Campo-Prieto P, Cancela-Carral JM, Rodríguez-Fuentes G. Wearable immersive virtual reality device for promoting physical activity in Parkinson's disease patients. *Sensors (Basel).* 2022; 22(9):3302. doi:10.3390/s22093302
22. Janeh O, Fründt O, Schönwald B, Gulberti A, Buhmann C, Gerloff C, et al. Gait training in virtual reality: Short-term effects of different virtual manipulation techniques in Parkinson's disease. *Cells.* 2019; 8(5):419. doi:10.3390/cells8050419
23. Brandín N, Secorro S, Calvo Y, Benyoucef P, Herrero, P, Bellosta P. Entrenamiento antigraavitatorio e inmersivo de realidad virtual para la rehabilitación de la marcha en la enfermedad de Parkinson: estudio piloto y de viabilidad. *Rev Neurol.* 2020; 71:447-54. doi:10.33588/rn.7112.2020352
24. Robles-García V, Corral-Bergantiños Y, Espinosa N, García-Sancho C, Sanmartín G, Flores J, et al. Effects of movement imitation training in Parkinson's disease: A virtual reality pilot study. *Parkinsonism Relat Disord.* 2016; 26:17-23. doi:10.1016/j.parkreldis.2016.02.022
25. Espay A, Baram Y, Dwivedi A, Shukla R, Gartner M, Gaines L, et al. At-home training with closed-loop augmented-reality cueing device for improving gait in patients with Parkinson disease. *JRRD.* 2010; 47(6):573-82. doi:10.1682/JRRD.2009.10.0165
26. Cikajlo I, Peterlin Potisk K. Advantages of using 3D virtual reality based training in persons with Parkinson's disease: A parallel study. *J Neuroeng Rehabil.* 2019; 16(1):119. doi:10.1186/s12984-019-0601-1
27. Bank PJM, Cidota MA, Ouwehand PEW, Lukosch SG. Patient-tailored augmented reality games for assessing upper extremity motor impairments in Parkinson's disease and stroke. *J Med Syst.* 2018; 42(12):246. doi:10.1007/s10916-018-1100-9
28. Finley JM, Gotsis M, Lympouridis V, Jain S, Kim A, Fisher BE. Design and development of a virtual reality-based mobility training game for people with Parkinson's disease. *Front Neurol.* 2021; 11:577713. doi:10.3389/fneur.2020.577713
29. Chen W, Bang M, Krivonos D, Schimek H, Naval A. An immersive virtual reality exergame for people with Parkinson's disease. *Computers helping people with special needs.* 2020; 12376:138-45. doi:10.1007/978-3-030-58796-3_18
30. Dockx K, Bekkers EM, Van den Bergh V, Ginis P, Rochester L, Hausdorff JM, et al. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016; 12(12):CD010760. doi:10.1002/14651858.CD010760.pub2
31. Gil A, Elizagaray-García I, Ranea Lm Rojas O, Gómez S. Efectividad de los programas de inmersión virtual en los

- pacientes con enfermedad de Parkinson. Revisión sistemática. *Rev Neurol*. 2018; 66(03):69-80. [doi:10.33588/rn.6603.2017459](https://doi.org/10.33588/rn.6603.2017459)
32. Canning CG, Allen NE, Nackaerts E, Paul SS, Nieuwboer A, Gilat M. Virtual reality in research and rehabilitation of gait and balance in Parkinson disease. *Nat Rev Neurol*. 2020; 16(8):409-25. [doi:10.1038/s41582-020-0370-2](https://doi.org/10.1038/s41582-020-0370-2)
 33. Weber H, Barr C, Gough C, van den Berg M. How commercially available virtual reality-based interventions are delivered and reported in gait, posture, and balance rehabilitation: A systematic review. *Phys Ther*. 2020; 100(10): 1805-15. [doi:10.1093/ptj/pzaa123](https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa123)
 34. Sevchenko K, Lindgren I. The effects of virtual reality training in stroke and Parkinson's disease rehabilitation: A systematic review and a perspective on usability. *Eur Rev Aging Phys Act*. 2022; 19(1):4. [doi:10.1186/s11556-022-00283-3](https://doi.org/10.1186/s11556-022-00283-3)

Artículo sin conflicto de interés

© Archivos de Neurociencias

Tabla 1. Estudios de rehabilitación de la enfermedad de Parkinson por medio de realidad virtual inmersiva.

Referencia y tipo de estudio	Número de participantes. (HyY) Grupos de estudio:	Intervención y duración	Equipo de RV utilizado	Software o ambiente de RV	Parámetros analizados	Pruebas estadísticas	Principales resultados
Cikajlo, et al. 2019 ²⁶ EPA	20 (2-3) Grupo RV: 10 Grupo control: 10	-Ejercicio de tomar y poner cubos virtuales a través de movimientos precisos -10 sesiones por 3 semanas	3D Oculus Rift CV1 con LMC para cada mano	10 cubos, desarrollado por los autores	-Cinética de la mano -Efectividad clínica usando una BBT -UPDRS antes y después del entrenamiento -Motivación con una versión modificada del IMI	- Bartlett para determinar la normalidad y equidad de varianzas -Mack-Skilling -Cohen U3	El grupo RV demostró una mejora significativa en el tiempo de manipulación (p = 0.009), cubos colocados (p = 0.028), temblor promedio (p = 0.002) y UPDRS para las extremidades superiores (U3 = 0.35).
Sánchez-Herrera-Baeza, et al. 2020 ²⁰ IMM	6 (1-4)	-Cuatro juegos con diferentes ejercicios motores para entrenar el alcance, agarre y pronación -30 minutos, tres veces a la semana, por seis semanas. 18 sesiones por paciente	Oculus Rift 2 y dos LMC	Desarrollado por los autores y presentado a manera de videojuego	-Fuerza del agarre de la mano -BBT -PPT -ARAT -Cuestionario de satisfacción del cliente	-Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov para verificar la normalidad de la distribución -Wilcoxon -Cohen U3	Se observaron mejoras significativas en la fuerza de agarre (p = 0.028) (U3 = >0.50), coordinación fina y general en ambas manos (p = 0.026 a 0.028) (U3 = >0.20), coordinación fina y general en el lado más afectado (p = 0.027) (U3 = >0.50) y velocidad de movimientos en el lado afectado (p = 0.039) (U3 = >0.20). También se reportó un elevado nivel de satisfacción (3.66± 0.18 puntos de 4)
Janeh, et al. 2019 ²² Pre/post piloto	15 (2-3)	-Caminata a través de un pasillo electrónico a la velocidad elegida por el paciente hasta llegar a la línea objetivo -Una sesión de 1.5 a 2 horas	HTC Vive y controles Vive en conjunto con el sistema de pasillo electrónico GAITRite	Desarrollado por los autores utilizando Unity3D, diseñado para empatar con el sistema de pasillo electrónico	-Parámetros de la marcha analizados por el sistema GAITRite: distancia de paso, velocidad, cadencia, asimetría, entre otras -UPDRS -SSQ, SUS	-Shapiro-Wilk -ANOVA general -ANOVA de una vía para parámetros no laterales -ANOVA de dos vías para parámetros laterales -eta cuadrada (η ²) para el tamaño del efecto -Wilcoxon para comparar el SSQ pre-post tratamiento. -Spearman y Bonferroni para correlacionar los datos clínicos con la marcha	Se incrementó de forma significativa la distancia de paso (F2.21,30.99 = 8.85; p = 0.001; η ² = 0.387), el acho del paso (F3.05,42.74 = 10.8; p < 0.001; η ² = 0.436), el tiempo de paso (F2.65,37.17 = 3.67; p = 0.02; η ² = 0.208), cadencia de paso (F3,42.07 = 5.44; p = 0.003; η ² = 0.280), entre otros. Se observó una mejora en el índice de asimetría (F2.82,39.54 = 3.17; p = 0.037; η ² = 0.185)
Bank, et al. 2018 ²⁷ PC	20 (1-3) Grupo EP: 10 Grupo infarto cerebral: 10 Grupo control: 10	Juegos distintos a cada paciente para determinar diferentes aspectos del movimiento. Los pacientes realizaron las tareas con el brazo más afectado. La duración del tratamiento fue de 35 a 105 min	AIRO II en conjunto con LMC para detectar el movimiento de la mano y un sensor Microsoft Kinect	Desarrollado por los autores utilizando Unity3D en conjunto con Vuforia Leap Motion Orion Beta y The Kinect for Windows SDK	-NASA-TLX -GEQ, SUS -Cuestionario de presencia -Velocidad y dirección de los movimientos de las extremidades superiores -Adaptación de la apertura de la mano -Calidad de la manipulación de objetos -evasión de objetos	-Juego 1: Pruebas U de Mann-Whitney para la tasa de éxito y pruebas t para comparar entre grupos -Juego 2: ANOVAs entre grupos y factores (tamaño de cubo) -Juego 3: Pruebas U de Mann-Whitney, Wilcoxon y ANOVAs -η ² para el tamaño del efecto -Prueba t para SUS y ANOVA para NASA-TLX y GEQ -Bonferroni	En comparación con el GC el grupo EP obtuvo menor rapidez en el juego 2 (F(1,18)=6.5; p = .02; η ² = .27) y en el juego 3 requirieron más tiempo (F(1,18)=4.8; p = .04; η ² = .21), fueron más lentos (F(1,18)=10.7; p = .004; η ² = .37) y su trayectoria fue más larga (F(1,15)=11.5; p = .004; η ² = .43). Se requiere de mayores consideraciones para llevarlo a la práctica clínica
Finley, et al. 2020 ²⁸ Observacional	17 (1-3) Grupo EP: 9 Grupo fisioterapeutas: 8	-Rompecabezas donde los pacientes deben completar una palabra con las letras ubicadas dentro del ambiente virtual, para ello deben moverse, alcanzar, rotar y evadir obstáculos. La dificultad se ajustó de acuerdo con las habilidades de cada paciente -Tres sesiones de 30 minutos en una semana	HTC Vive, dos controles HTC Vive, sensores Vive para los pies y un sensor Vive para el tronco	Wordplay VR, desarrollado por los autores utilizando Unity3D	-ITC-SOPI, para analizar la sensación de presencia, el nivel de compromiso y la sensación de realidad del entorno virtual -IMI -SUS -SSQ	-Wilcoxon para analizar SSQ post tratamiento en fisioterapeutas -Friedman para analizar SSQ post tratamiento en grupo EP -Friedman no paramétrico para medir la eficiencia de los fisioterapeutas	No se observaron cambios significativos en los malestares relacionados con el simulador medidos por el SSQ (p = 0.5), no hubo cambios significativos en el punto en el tiempo (pre vs post, p = 0.62) o día (p = 0.86), y no hubo cambios significativos entre el punto en el tiempo y día (p = 0.16). Ambos grupos de participantes mostraron altos niveles de interés, indicado por las medianas de cada grupo en las respuestas del IMI, ITC-SOPI y SUS para el sistema Wordplay VR

Doi: 10.31157/an.v27i4.366

Chen, et al. 2020 ²⁹ Prototipo	27 (-) Grupo EP: 20 Grupo fisioterapeutas: 7	El paciente debía mover los controles con las manos para apuntar y disparar a los globos dentro del entorno virtual, con cada impacto un marcador se mostraba para llevar el progreso del juego hasta acabarse el tiempo. Cada paciente jugó dos rondas del juego	HTC Vive y dos controles HTC Vive	Desarrollado por los autores utilizando Unity 3D	SUS	Se calcularon los promedios de las respuestas del SUS	Los pacientes encontraron el juego fácil de usar (3.8) y accesible (4), pero poco práctico (4). Además, el tratamiento resultó difícil para aquellos pacientes con temblores intensos en las manos. Los autores esperan hacer mejoras al prototipo con base en los resultados obtenidos
Brandín-De la Cruz, et al, 2020 ²³ Pre/post piloto	12 (9 completados) (-)	-Los pacientes deambularon sobre un tapiz rodante con un sistema de descarga del peso corporal establecido aproximadamente en 20% del peso corporal y equipados con un casco de realidad virtual controlado por un joystick para cada mano -Se realizaron 12 sesiones de 30 minutos durante cuatro semanas	Casco de VR y un joystick para cada mano, en conjunto con un tapiz rodante con sistema de carga de peso corporal	Ambiente virtual simulando un ambiente marciano con rocas y dunas	-Eficacia de la intervención por medio de las pruebas 6MWT y 10MWT -Nivel de equilibrio con la escala de Tinetti -Calidad de vida con el formulario SF-36 -Velocidad de la marcha	-Shapiro-Wilk -Wilcoxon para determinar la diferencia en las puntuaciones de la evaluación pre y post por las variables de la intervención -d de Cohen	Se observaron diferencias significativas al comparar los valores pre y post para la distancia (p = 0,005; efecto: 0,3) con la prueba de marcha de seis minutos, para la velocidad (p = 0,047; efecto: 0,2) con la prueba de distancia de 10 metros, para el equilibrio (p = 0,044; efecto: 0,6) con la escala de Tinetti, y para la función física (p = 0,027; efecto: 0,4), el rol físico (p = 0,049; efecto: 0,6) y el dolor corporal (p = 0,018; efecto: 0,5) medidos con la SF-36
Robles-García, et al, 2016 ²⁴ PCA pre/post piloto	16 (-) Grupo EP: 8 Grupo control: 8	-Impacto de la terapia de imitación en la hipometría del movimiento. El grupo experimental imitó el movimiento repetitivo de golpeteo de dedos observado a través de un casco de RV -Tres sesiones de 25 a 35 minutos a la semana por 4 semanas	Casco de RV en conjunto con un Biometrics Data Link System para medir el movimiento	Proyección de un avatar virtual con los movimientos de dedos a imitar	-Amplitud del movimiento -Excitabilidad corticoespinal	-ANOVA para cada variable pre y post intervención -t de student para comparar las diferencias entre grupos para cada hemisferio en pre y post -ANOVA para analizar las diferencias en el la curva input-output entre grupos en pre y post	La amplitud de movimiento incrementó significativamente en el grupo EP después del entrenamiento de imitación (F2,14=5.4; p<0.05). El análisis del periodo de silencio mostró cambios significativos en el hemisferio izquierdo del grupo EP (F2,14=3.9 p<0.05), el análisis post intervención mostró un incremento significativo (p<0.05; post-hoc) en periodo de silencio hasta dos semanas después sin entrenamiento
Espay, et al. 2010 ²⁵ CPT	13 (-)	-El dispositivo de RV muestra a los pacientes un patrón de ajedrez sobrepuesto con el suelo del mundo real, una serie de alertas auditivas marcan el ritmo por el cual el paciente deberá caminar por el patrón del suelo -Dos veces al día, 30 minutos en total, por dos semanas	Goggles de RV con el sistema de pasillo electrónico GAITRite	Proyección de un patrón de ajedrez en el suelo	-Velocidad de la marcha -Distancia y cadencia del paso -FOGQ -UPDRS	-Se evaluaron todos los parámetros en diversas condiciones por medio de análisis de varianza seguido de computaciones con Bonferroni -Cada efecto de la intervención y el efecto entre visitas fueron evaluados con pruebas t pareadas -Análisis de regresión múltiple para determinar el efecto del UPDRS base en el cambio absoluto en la velocidad y distancia de paso pre y post	Para la condición de retroalimentación visual-auditiva se observó una mejora de 20 a 30% en la velocidad de la marcha (p = 0.006) y de 10 a 20% en la longitud de paso (p = 0.004). En la condición sin dispositivo de RVI, pero con una imagen residual inmediata del mismo, se vio una mejora de 10 a 30% en la velocidad de la marcha (p < 0.001) y una mejora de 10 a 20% en la longitud del paso (p = 0.003)

HyY: Escala Hoehn y Yahr; EPA: estudio paralelo aleatorizado; IMM: intervención de métodos mixtos; PC: prueba controlada; PCA: prueba controlada aleatorizada; CMR: cohorte medida repetida; CPT: cohorte prospectivo transversal; RVI: realidad virtual inmersiva; LMC: control leap motion; BBT: prueba de caja y bloque; UPDRS: Escala Unificada de Valoración de Parkinson; IMI: Inventario de Motivación Intrínseca; PPT: prueba de precisión de Purdue; ARAT: prueba de brazo de investigación acción; SSQ: cuestionario de mareo por simulación; SUS: Escala de Usabilidad de Sistema; GEQ: cuestionario de experiencia del juego; ITC-SOPI: Inventario de Sensación de Presencia de la Comisión de Televisión Independiente; 6MWT: prueba de marcha de seis metros; 10MWT: prueba de marcha de diez metros; FOGQ: cuestionario de congelación de la marcha.