



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **EFFECTIVIDAD DE LA REALIDAD VIRTUAL PARA LA REHABILITACIÓN DE LA MARCHA EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON**

**Nagüel Marí Marí**

**Grado de Fisioterapia**

**Facultad de Enfermería y Fisioterapia**

**Año Académico 2022-23**

# **EFFECTIVIDAD DE LA REALIDAD VIRTUAL PARA LA REHABILITACIÓN DE LA MARCHA EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON**

**Nagüel Marí Marí**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Enfermería y Fisioterapia**

**Universidad de las Illes Balears**

**Año Académico 2022-23**

Palabras clave del trabajo:

Enfermedad de Parkinson, Realidad Virtual, Marcha, Rehabilitación

*Nombre Tutor/Tutora del Trabajo: Iosune Salinas Bueno*

## Resumen

**Introducción y objetivos:** La Enfermedad de Parkinson (EP) es una enfermedad neurodegenerativa que representa un problema de primer orden a nivel global debido a su elevada prevalencia. Su tratamiento se basa en la cirugía, el tratamiento farmacológico y la rehabilitación. Dichas opciones terapéuticas están en constante evolución gracias a los avances de la medicina y la tecnología. Una de las herramientas más novedosas para el tratamiento mediante la rehabilitación de la EP se trata de la realidad virtual (RV). El objetivo principal del presente trabajo es el de analizar la efectividad de la RV para la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP.

**Estrategia de búsqueda y resultados:** Se realiza una búsqueda bibliográfica en las bases de datos BVS, PubMed, LILACS, Cochrane y PEDro. Mediante dicha búsqueda, una vez aplicados los filtros correspondientes, se obtienen un total de 24 publicaciones que incluyen un total de 9 revisiones sistemáticas y 15 estudios incluyendo estudios piloto, ensayos clínicos controlados y otras publicaciones.

**Discusión:** Los estudios resultantes mayoritariamente exponen los efectos positivos de la RV en los diferentes parámetros de la marcha y el equilibrio dinámico. Además, se puede comprobar como la RV también tiene efectos positivos en otros síntomas relacionados con la EP.

**Conclusiones:** La RV ha demostrado ser una herramienta segura y tan efectiva o incluso superior al tratamiento convencional para la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP, no obstante son necesarios más estudios futuros ya que la terapia con RV está en constante evolución.

**Palabras clave:** Enfermedad del Parkinson, Realidad Virtual, Marcha, Rehabilitación

## Resum

**Introducció i objectius:** La Malaltia de Parkinson (MP) és una malaltia neurodegenerativa que representa un problema de primer ordre a escala global a causa de la seva elevada prevalença. El seu tractament es basa en la cirurgia, el tractament farmacològic i la rehabilitació. Aquestes opcions terapèutiques estan en constant evolució gràcies als avanços de la medicina i la tecnologia. Una de les eines més noves per al tractament mitjançant la rehabilitació de la MP es tracta de la realitat virtual (RV). L'objectiu principal del present treball es tracta d'analitzar l'efectivitat de la RV per a la rehabilitació de la marxa en pacients amb MP.

**Estratègia de cerca i resultats:** Es realitza una cerca bibliogràfica en les bases de dades BVS, PubMed, LILACS, Cochrane i PEDro. Mitjançant aquesta cerca i una vegada aplicats els filtres corresponents, s'obtenen un total de 24 publicacions que inclouen un total de 9 revisions sistemàtiques i 15 estudis incloent estudis pilot, assajos clínics controlats i altres publicacions.

**Discussió:** Els estudis resultants majoritàriament exposen els efectes positius de la RV en els diferents paràmetres de la marxa i l'equilibri dinàmic. A més, es pot comprovar com la RV també té efectes positius en altres símptomes relacionats amb la MP.

**Conclusions:** La RV ha demostrat ser una eina segura i tan efectiva o fins i tot superior al tractament convencional per a la rehabilitació de la marxa en pacients amb MP, no obstant això són necessaris més estudis futurs, ja que la teràpia amb RV està en constant evolució.

**Paraules clau:** Malaltia del Parkinson, Realitat Virtual, Marxa, Rehabilitació

## Abstract

**Introduction and objectives:** Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disease that represents a major global problem due to its high prevalence. Its treatment is based on surgery, pharmacological treatment and rehabilitation. These therapeutic options are constantly evolving thanks to advances in medicine and technology. One of the newest tools for treatment through rehabilitation is the virtual reality (VR). The main objective of this work is to analyse the effectiveness of VR in gait rehabilitation in patients with PD.

**Research strategy and results:** A bibliographical search is carried out in the BVS, PubMed, LILACS, Cochrane and PEDro databases. This search, after applying the corresponding filters, reports a total of 24 publications including a total of 9 systematic reviews and 15 studies including pilot studies, controlled clinical trials and other publications.

**Discussion:** The resulting studies mostly expose the positive effects of VR in the different parameters of gait and dynamic equilibrium. In addition, it can be seen that VR also has positive effects on other PD related symptoms.

**Conclusions:** VR has proven to be a safe and effective tool and even superior to conventional treatment for the gait rehabilitation in PD, nevertheless more future studies are needed due to the constant evolution of VR.

**Keywords:** Parkinson's disease, Virtual Reality, Marching, Rehabilitation

## Índice

Introducción .....	5
Objetivos del trabajo .....	9
Estrategia de búsqueda bibliográfica .....	10
Resultados de la búsqueda bibliográfica .....	11
Discusión .....	13
Velocidad de la marcha .....	14
Longitud de paso .....	15
Cadencia de pasos.....	16
Tiempo de apoyo monopodal .....	17
Equilibrio .....	18
Otras variables.....	20
Conclusiones.....	25
Bibliografía.....	26
Anexos .....	30

## **Introducción**

La Enfermedad de Parkinson (EP) es una enfermedad neurodegenerativa que produce una afectación crónica y progresiva del sistema nervioso central de los pacientes afectados. Actualmente en España se estima que hay alrededor de unas 150.000 personas afectadas por esta enfermedad (1) y a nivel global podemos afirmar que se trata de la segunda afectación neurodegenerativa más común por detrás del Alzheimer (2–5). Así pues, se puede decir que la EP se trata de un problema sociosanitario de primer orden que aumentará su magnitud en el futuro, debido al aumento de la esperanza de vida de la población y a su envejecimiento. La prevalencia de esta enfermedad en el año 2022 fue de 150 – 200 personas afectadas por cada 100.000 habitantes, pero se estima que en el año 2050 esta prevalencia aumente hasta llegar a los 566,9 casos por cada 100.000 habitantes (6).

Esta enfermedad es el resultado de la degeneración y muerte de las neuronas productoras de dopamina causando un desequilibrio en los neurotransmisores y ocasionando una serie de manifestaciones clínicas (4,7,8). Los principales síntomas de la EP se tratan de síntomas motores, aunque también encontramos síntomas cognitivos y conductuales (9). En relación con los síntomas motores, encontramos que los pacientes presentan temblor en reposo, rigidez, bradicinesia y problemas tanto en la marcha como en el equilibrio. Dichos problemas motores, consecuentemente provocan una mayor dependencia funcional de los pacientes, una pérdida de la movilidad, un aumento del riesgo de caída de los mismos, así como una disminución de su calidad de vida (10–13). Se puede ver como las alteraciones de la marcha son el síntoma que genera un mayor impacto en la calidad de vida y la dependencia de los pacientes (14,15).

Se puede definir la marcha como el movimiento de translación del cuerpo humano. Este desplazamiento se realiza gracias al conjunto de movimientos repetidos de los segmentos corporales manteniendo el equilibrio (16). Los pacientes afectados por EP presentan una marcha característica con las siguientes particularidades:

- Reducción de la velocidad de la marcha. La velocidad de la marcha se define como la distancia recorrida por el cuerpo en una unidad de tiempo y es medida en metros por segundo generalmente.
- Reducción de la longitud de los pasos. Este parámetro expresa el espacio entre los dos pies cuando ambos están en contacto con el suelo. Esta variable normalmente se mide en centímetros.
- Reducción de la fase de apoyo monopodal. Durante el ciclo de la marcha, podemos encontrar una fase de apoyo y una fase de oscilación de las extremidades. La fase de oscilación de una pierna se corresponde con la fase de apoyo monopodal de la contralateral (17). En los pacientes con EP, la fase de apoyo monopodal se ve reducida.
- Aumento de la cadencia de pasos, realizando un mayor número de pasos durante una unidad de tiempo determinada.
- El incremento de las asimetrías de la marcha, expresadas en la variabilidad de la longitud de paso de ambas extremidades de los pacientes.
- Aspectos posturales que generan una posición de inestabilidad que consecuentemente dificultan el patrón de la marcha. Se puede distinguir una postura corporal encorvada durante la marcha, y la semiflexión de las extremidades en los pacientes con EP (15).

Adicionalmente también podemos observar fenómenos episódicos que afectan a la marcha como la festinación o la congelación de la marcha (FOG). La festinación es la tendencia a inclinarse hacia adelante al caminar y avanzar de manera involuntaria con pasos cortos y cada vez más acelerados. La FOG, que afecta aproximadamente a un 60% de los pacientes en los estados avanzados de la EP, se define como un breve periodo de tiempo en el cual el paciente tiene la imposibilidad de realizar un paso. Se pueden vincular las particularidades de la marcha parkinsoniana con sus fenómenos episódicos, ya que se ha establecido una fuerte relación entre la FOG y las asimetrías de la marcha (10). A su vez, también existe una relación entre la FOG y el riesgo de caídas debido a las características de dicho fenómeno episódico.



El tratamiento de esta enfermedad tiene fundamentalmente 3 opciones terapéuticas: El tratamiento farmacológico, el quirúrgico y la rehabilitación (12). Este trabajo se centra en la opción terapéutica de la rehabilitación y como se puede ver en la guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con EP, existen varios abordajes de rehabilitación para el manejo de esta enfermedad. Principalmente se puede ver como la EP se puede abordar mediante la fisioterapia, la terapia ocupacional, la logopedia, la neuropsicología, la nutrición y la dietética. A su vez, el tratamiento fisioterápico tradicional, se centra en los ejercicios de resistencia progresiva, el ejercicio aeróbico supervisado, el tapiz rodante de baja intensidad y los ejercicios de fortalecimiento, estiramiento y funcionamiento (18). Dichos ejercicios de fisioterapia convencional se ven complementados por las nuevas herramientas emergentes de la rehabilitación, como por ejemplo la terapia basada en la realidad virtual.

La RV es una herramienta prometedora en el ámbito de la rehabilitación (13). Se trata de una tecnología que tiene sus inicios en los últimos años de la década de 1950, cuando Morton Heilig diseñó un equipo que involucraba la estimulación de múltiples sentidos (vista, oído, olfato y tacto) y permitió la primera experiencia multisensorial virtual de la historia (19). La RV a lo largo de los años ha tenido una gran evolución y actualmente la podemos definir como la simulación de un entorno sea este real o imaginario, generado mediante tecnología informática que permite al usuario recibir una retroalimentación multisensorial en tiempo real e interactuar en él. Podemos encontrar diferentes tipos de RV en relación a la inmersión de los usuarios en los diferentes entornos recreados. Basándonos en diferentes publicaciones, en este trabajo se decide usar la clasificación que divide el uso de esta tecnología entre la modalidad inmersiva y la no inmersiva. Esta división simplifica y clarifica la clasificación de las diferentes aplicaciones de RV, ya que esta herramienta tecnológica está en constante evolución y los límites de los diferentes tipos de RV en algunas ocasiones son difusos.

En primer lugar, podemos mencionar la realidad virtual inmersiva. Este tipo de RV es aquella en la que el usuario se sumerge en el entorno virtual de forma completa. Este tipo de RV requiere múltiples condiciones indispensables que se tratan de:

- Pantalla de campo visual total, conseguida usualmente mediante un dispositivo montado en un casco que proporcione una interfaz natural para la navegación en el entorno virtual.
- Visualización estereoscópica para mejorar la percepción de la profundidad y el sentido del espacio.
- El entorno virtual es presentado a gran escala y se relaciona adecuadamente con el tamaño humano.
- Seguimiento de la ubicación y posición del cuerpo de los usuarios, así como de sus acciones y movimientos por parte del sistema informático.
- Retardo de tiempo despreciable en la actualización de la pantalla con la retroalimentación de las acciones y movimientos de los cuerpos de los usuarios.
- Uso de tecnologías no visuales para aumentar la ilusión de estar completamente inmerso en el entorno virtual generado, así como interacciones realistas con los objetos virtuales presentes en el entorno.

En segundo lugar, encontramos la realidad virtual no inmersiva, en la que no se cumplen los anteriores puntos en su totalidad y frecuentemente es descrita como aquella en la que los usuarios pueden explorar el entorno virtual haciendo uso de diferentes dispositivos de hardware comunes en la actualidad (20,21).

Esta tecnología tiene actualmente múltiples finalidades, dentro de las cuales debemos destacar la aplicación de la RV a la asistencia sanitaria. La aplicación de esta tecnología en el ámbito sanitario permite a los usuarios interactuar en tiempo real en un entorno simulado, permitiendo así recrear situaciones idóneas para la rehabilitación de múltiples patologías (4). A pesar de los prometedores datos que se le atribuyen a la RV, al tratarse esta de una herramienta relativamente novedosa y todavía en constante evolución debido a los avances tecnológicos, la terapia basada en la RV no es generalmente utilizada en el ámbito clínico para la rehabilitación de la marcha en pacientes afectados por EP. Del mismo modo podemos comprobar la actualidad del tema tratado en el presente trabajo, ya que existen diferentes estudios preliminares y estudios que se están llevando a cabo actualmente con la intención de estudiar la efectividad de dicho tratamiento para la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP. (13,22,23)

## **Objetivos del trabajo**

El objetivo principal del presente trabajo ha derivado de la pregunta PICO y consiste en evaluar la efectividad de la terapia basada en la realidad virtual para la rehabilitación de la marcha en pacientes que sufren la Enfermedad de Parkinson.

Como objetivos específicos se establecen los siguientes:

- Determinar qué tipo de RV es más efectiva para la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP.
- Evaluar si la edad de los pacientes influye en los resultados del tratamiento basado en la RV.

## **Estrategia de búsqueda bibliográfica**

Para la realización de este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica en el metabuscador BVS, así como en las bases de datos específicas PubMed y LILACS y en las bases de datos de revisiones Cochrane y PEDro.

Dicha búsqueda se realizó mediante la combinación de las palabras clave del presente trabajo: "*Parkinson's Disease*", "*Virtual Reality*", "*Gait*", "*Rehabilitation*" y la combinación del operador booleano "*AND*". A su vez, para perfilar la búsqueda se utilizaron los siguientes criterios de inclusión:

- Texto completo.
- Publicaciones en lengua inglesa o castellana.
- Publicaciones realizadas dentro de los últimos 5 años, es decir entre los años 2017 y 2022

La pregunta de investigación en la que se centra la investigación principal de este trabajo es la siguiente: ¿Es más efectivo el tratamiento con realidad virtual en comparación al tratamiento convencional para la rehabilitación de la marcha en pacientes con Enfermedad de Parkinson?

## **Resultados de la búsqueda bibliográfica**

Una vez realizada la búsqueda mencionada anteriormente, se encontraron un total de 211 artículos en las diferentes bases de datos. Dicha búsqueda se redujo a un total de 127 publicaciones una vez fueron aplicados los criterios de inclusión. A continuación, se exponen los resultados de la búsqueda en las diferentes bases de datos.

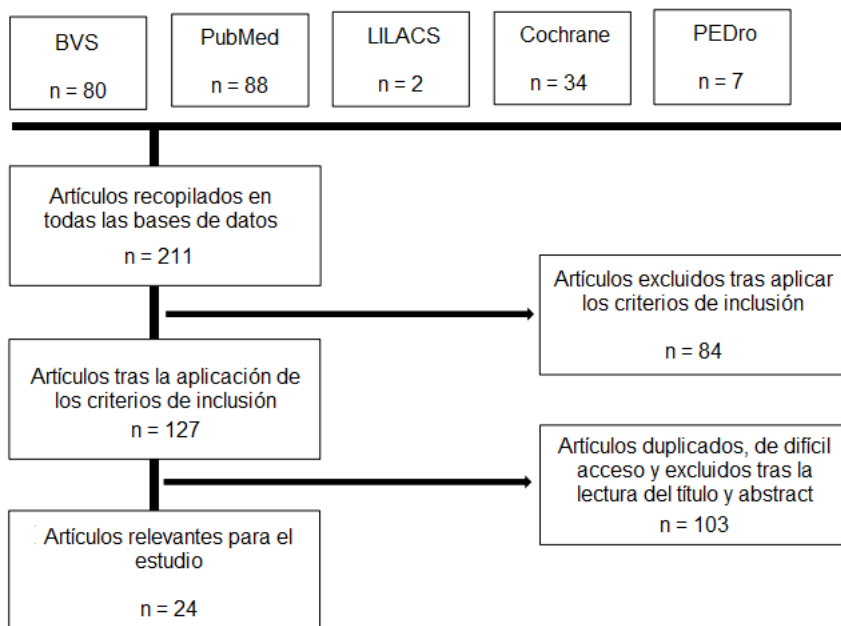
En primer lugar, se realizó la búsqueda: “*(Parkinson's disease) AND (Virtual reality) AND (gait) AND (rehabilitation)*” en el metabuscador BVS con la obtención de 80 publicaciones que quedaron reducidas a 57 una vez aplicados los criterios de inclusión. A continuación, la búsqueda con el mismo operador booleano y las mismas palabras claves fueron repetidas en las bases de datos específicas PubMed y LILACS. Se encontraron 88 y 2 artículos respectivamente de los cuales 31 y 1 artículos cumplían con los criterios de inclusión. Finalmente se realizó la búsqueda y se aplicaron los criterios de inclusión en las bases de datos de revisiones Cochrane y PEDro obteniéndose 34 y 7 resultados respectivamente. En la base de revisiones Cochrane, se desestimó un resultado ya que, estaba escrito en un idioma que no se corresponde a los mencionados en los criterios de inclusión, quedando un total de 33 resultados.

Posteriormente se descartaron los artículos repetidos del total de resultados, aquellos a los que no se pudo acceder, así como aquellos que tras la lectura del título y el abstract o el cuerpo del artículo no resultaron relevantes para la presente investigación, quedando un total de 24 artículos. Estas 24 publicaciones fueron ampliamente abordadas para dar respuesta a los objetivos del presente trabajo. *(Ver Figura 1)*

Con la finalidad de simplificar la comparación de la información extraída de las diferentes revisiones sistemáticas se realizó una segunda tabla con una recopilación de la información de las diferentes revisiones sistemáticas encontradas, excluyendo los resultados de los artículos duplicados *(Tabla 1)* y una tercera tabla, que muestra las variables analizadas por el presente trabajo de manera gráfica. *(Tabla 2)*

Del mismo modo también se realizó una tabla comparativa de los ensayos clínicos en la cual podemos observar de manera más visual la información más relevante para nuestro estudio. (Tabla 3)

Ilustración 1 – Diagrama de flujo



## **Discusión**

Una vez analizados las 24 publicaciones científicas resultantes de la búsqueda bibliográfica, se puede dar respuesta a los diferentes objetivos

El tratamiento basado en la terapia con RV se muestra efectivo para la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP. En las diferentes revisiones sistemáticas obtenidas (3–5,24–28), se expone que la terapia basada en la RV se trata de un tratamiento tan efectivo como la terapia convencional o incluso superior. Estos hallazgos fueron también confirmados por los resultados de los ensayos clínicos, ya que en ellos también se confirma la efectividad de este tratamiento. Dicha efectividad se debe a la combinación de los ejercicios realizados en un entorno virtual y a las características propias de esta tecnología. La RV proporciona estímulos visuales y auditivos a los usuarios, permitiendo la retroalimentación multisensorial de estos. Se ha confirmado los efectos positivos de la retroalimentación visual y auditiva en la rehabilitación de la marcha de los pacientes con EP. Además, esta tecnología presenta factores positivos adicionales como el aumento de la adherencia al tratamiento de los pacientes debido al aumento de su motivación o la mejora de la neuroplasticidad, el aprendizaje motor y el modelado cognitivo.

Para poder objetivar la mejora de la marcha se contemplan los siguientes aspectos:

- La velocidad de la marcha
- La longitud de paso
- La cadencia de pasos
- El tiempo de apoyo monopodal
- El equilibrio dinámico

## Velocidad de la marcha

En primer lugar, el indicador más evidente y claro para objetivar la rehabilitación de la marcha se trata de la propia velocidad. Adicionalmente, se puede considerar que tratando cualquier patología que provoque una alteración de la marcha, se debería analizar la velocidad y tener esta medición muy presente ya que su correlación con la fragilidad y consecuentemente la mortalidad está claramente establecida y comprobada (29).

Relacionando los resultados obtenidos de las diferentes revisiones sistemáticas, se puede afirmar que la velocidad de la marcha expresada en metros por segundo es el aspecto de la marcha que presenta un mayor número de estudios que respaldan la evidencia de la RV para su mejoría. Concretamente, se puede observar cómo en 12 de los artículos tomados en consideración por las diferentes revisiones sistemáticas, la velocidad de la marcha de los pacientes aumenta y solamente en 2 de las publicaciones incluidas no se obtiene un beneficio. Además, también se ha podido comprobar la mejora de la velocidad de la marcha en los ensayos clínicos estudiados, como por ejemplo en el realizado por Brandín. En esta publicación se registra y evalúa la velocidad de la marcha mediante la prueba de 10m llamada 10 Meter Walk Test (10 MWT). Dicha prueba consiste en pedirle a un paciente que camine a una velocidad cómoda sobre una superficie de 14 metros en línea recta. La medición de la velocidad se expresa mediante los metros por segundo que recorre el paciente y en esta prueba no se registran ni los primeros ni los últimos 2 metros, para no tener en cuenta el periodo de aceleración ni desaceleración que experimenta el cuerpo del paciente durante la prueba. En el mencionado estudio, se observan diferencias significativas en los valores pre y post para la velocidad de la marcha en los sujetos evaluados. ( $p=0,047$ ) (8).

A continuación, podemos ver como en el estudio realizado por Cano, también se demuestra la eficacia y efectividad de la RV para mejorar la velocidad de la marcha en pacientes con EP. Este estudio explora la aplicación de la terapia basada en la RV en pacientes con diferentes problemas neurológicos y se puede comprobar como la velocidad de la marcha aumenta de manera significativa tomando como registro la misma prueba de 10 MWT. Concretamente los resultados de la prueba mejoran tanto en tarea única como en tarea simultánea,



en otras palabras, caminando solamente y también caminando y realizando otra tarea de manera simultánea. ( $p=0.0011$  en tarea única y  $p=0.0025$  en tarea simultánea). Tomando en consideración únicamente a los pacientes que sufren EP del estudio, que se corresponden a un total del 22% de dicho estudio, podemos objetivar la mejora de la velocidad de la marcha. Concretamente 35 pacientes fueron evaluados en relación a la marcha en tarea única, mejorando los metros por segundo de 1.01 en la medición anterior a la intervención hasta llegar a los 1.03 en la medición posterior. En relación a los beneficios de la marcha realizando tareas simultáneas, esta demuestra conseguir una mayor mejoría, con un resultado de 0.86 metros por segundo anteriores a la intervención y consiguiendo llegar hasta los 0.92 metros por segundo en los resultados posteriores a la intervención (30).

### Longitud de paso

El segundo parámetro de la marcha que es estudiado en este trabajo es la longitud de la zancada y de paso de los pacientes. Podemos definir la longitud de zancada como la distancia lineal medida en metros entre dos contactos de talón consecutivos de la misma extremidad y del mismo modo la longitud de paso se trata de la distancia lineal expresada en metros entre el contacto inicial del talón de una extremidad y el de la extremidad contralateral (31).

En las diferentes revisiones sistemáticas analizadas encontramos una homogeneidad en los resultados que han analizado esta variable ya que en todas ellas se expone que la terapia basada en la RV mejora este parámetro en comparación a la terapia convencional activa. De este modo, se confirma que la RV es completamente válida, segura y efectiva para mejorar la longitud de la distancia de paso y zancada de los pacientes con EP. Concretamente, en la revisión Cochrane realizada por Dockx, donde encontramos una revisión de los efectos del uso de la RV en pacientes con EP, se puede observar como la RV en comparación con los programas de fisioterapia convencionales puede conducir a una mejora moderada de la longitud de paso y zancada. Concretamente se indica una diferencia significativa entre el grupo control que recibió fisioterapia activa convencional y el grupo intervención que realizó

ejercicios basados en la RV (13). En referencia a los ensayos clínicos analizados, los resultados también nos indican la mejora de la longitud de paso y zancada de los pacientes. En el estudio de la RV inmersiva realizado por Lheureux en el 2020 se puede observar cómo se obtienen una mejoría de la longitud de paso en los pacientes que se someten a la terapia de tapiz rodante con RV inmersiva en comparación a la terapia de tapiz rodante sin RV ( $p = 0.008$ ) (7).

### Cadencia de pasos

A continuación, se analiza la cadencia de pasos de los pacientes. Esta variable de la marcha puede ser definida como el número de pasos o zancadas que realiza un individuo a una velocidad cómoda y espontánea en un periodo de tiempo determinado (17). Se puede ver como en el mismo estudio mencionado previamente, los pacientes reducen su cadencia de pasos cuando realizan el entrenamiento sobre tapiz rodante sin estímulos externos. De todos modos, cuando se añade la RV inmersiva al tapiz rodante, los resultados superan a los anteriores, consiguiendo la mejor cadencia de paso del estudio. Concretamente la cadencia disminuyó de 110.3 pasos por minuto de media en la marcha sobre el suelo, hasta los 105.2 en la marcha sobre tapiz rodante con RV, con un valor  $p$  de 0.009 resultando esta una reducción significativa en el estudio. A pesar de que esta variable no está tan expuesta en los diferentes estudios analizados, se sobreentiende que al aumentar la longitud de paso mediante el uso de la RV, la cadencia de los pacientes se verá reducida. Esto es debido a que los pacientes pueden recorrer la misma distancia realizando un menor número de pasos ya que la distancia de paso ha aumentado. Se puede concluir por tanto, que las medidas son de magnitud inversa.

### Tiempo de apoyo monopodal

El siguiente aspecto tomado en consideración para evaluar la marcha de los pacientes se trata del tiempo de apoyo monopodal durante el ciclo de la marcha. La marcha humana como se ha mencionado anteriormente está compuesta por una fase de apoyo y una fase de oscilación. La fase de apoyo equivale al 60% del ciclo de la marcha de una persona sana. En esta fase encontramos una fase de apoyo monopodal y una fase de doble apoyo. El apoyo monopodal se da simultáneamente a la fase de oscilación de la pierna contralateral. Cuando la pierna oscilante contacta con el suelo, se produce la fase de doble apoyo que se da hasta la nueva oscilación de la pierna que había estado en apoyo monopodal anteriormente. Esta fase de doble apoyo tiene una duración del 20% del ciclo de la marcha y se ve aumentado en los pacientes con problemas y disfunciones de la marcha (32). Así pues, el análisis de la duración de la fase apoyo monopodal, así como de la fase de doble apoyo nos proporciona información para la evaluación de la marcha. Se pueden ver mejoras significativas de esta variable de la marcha usando tanto RV inmersiva como no inmersiva. El estudio realizado por Nuic expone como en los pacientes que son sometidos a 18 sesiones de entrenamiento basadas en el videojuego "Toap Run" utilizando la tecnología de RV de Xbox y el sistema Kinect durante 6 semanas, se reduce significativamente el tiempo de la fase de doble apoyo ( $p = 0.002$ ). Los pacientes de este estudio, además del tratamiento basado en el sistema Kinect de RV no inmersiva, se sigue el tratamiento usual de los pacientes para la EP (14). En otro estudio elaborado por Calabrò en el 2019, se puede comprobar como la terapia basada en la RV inmersiva reduce el tiempo de la fase de doble apoyo. En el mencionado estudio se utiliza el sistema CAREN de realidad virtual, que consigue una pantalla de campo visual total sin utilizar un casco de realidad virtual. El estudio expone múltiples ventajas del uso de la terapia mediante el sistema CAREN en comparación a la fisioterapia convencional, entre ellos, la reducción de la fase de doble apoyo del ciclo de la marcha ( $p < 0.001$ ) (9).

## Equilibrio

El equilibrio se define como la capacidad de las personas de mantener su propio cuerpo, otros cuerpos u objetos en una posición estable y controlada por medio de movimientos compensatorios sobre una superficie sea esta estable o inestable (33). La marcha humana implica tener un control del equilibrio para poder ser llevada a cabo. Inicialmente se debe partir de una posición de estabilidad y posteriormente, a medida que el cuerpo humano avanza en su translación, se debe equilibrar el centro de gravedad con los movimientos compensatorios de los diferentes segmentos corporales. Una vez establecida la relación entre la marcha y el equilibrio, se puede ver como los estudios resultantes de la búsqueda bibliográfica presentan unos resultados muy homogéneos en relación a la mejora significativa del equilibrio en los pacientes con EP sometidos a terapia basada en RV. Esta mejora es objetivada mediante diferentes pruebas y escalas validadas como la escala Berg (BBS), el mini-BESTest o la escala de Tinetti. La BBS se trata de una escala para la valoración del equilibrio que evalúa 14 ítems, y tiene una puntuación comprendida entre el 0 y el 56. Esta escala, permite la evaluación tanto del equilibrio estático como del dinámico (34). Del mismo modo, la puntuación obtenida de los usuarios nos proporciona información sobre su capacidad motora y funcional, estableciendo diferentes grupos cuantificando su capacidad de marcha. De entre las diferentes revisiones sistemáticas del presente trabajo, podemos destacar la realizada por Bo Wang, que de los 12 estudios que la conforman, 9 analizan la BBS y 7 de ellos demuestran mejoras significativas de este indicador mientras que 2 de ellos no muestran diferencias significativas con el entrenamiento convencional del equilibrio. Concretamente esta revisión sistemática demostró una mejora significativa de la BBS con una diferencia de media de 2.69, un intervalo de confianza al 95% de 1.37 – 4.02 y un valor  $p < 0.0001$  (24). Se puede observar la misma dirección de los resultados de las revisiones sistemáticas en los ensayos clínicos analizados en este trabajo. El estudio realizado por Gulcan compara un grupo control que realiza un programa de entrenamiento convencional 3 veces por semana durante 6 semanas y un grupo intervención que realiza un programa de entrenamiento combinando realidad virtual y aumentada con un programa de entrenamiento convencional. En este estudio,

tanto el grupo control como el grupo intervención mejoraron significativamente la medición del BBS ( $p = 0.002$  y  $p = 0.009$  respectivamente) (35).

Otras medidas que cuantifican y valoran el equilibrio de los pacientes son el mini-BESTest y la escala de Tinetti. En primer lugar, el mini-BESTest se trata de una versión simplificada del BESTest que incluye 14 de los ítems originales con una puntuación máxima de 28 puntos. Las secciones de la prueba tratan los ajustes posturales anticipatorios, la orientación sensorial, el control postural reactivo y la marcha dinámica (36). En relación a la escala de Tinetti, esta se puede definir como el estudio de la marcha y el equilibrio que determina el riesgo de caídas de los individuos y simultáneamente permite identificar las actividades con mayor dificultad de realización. La prueba se compone de 2 partes diferenciadas, la parte que evalúa la marcha que está compuesta por 7 ítems y la parte que evalúa el equilibrio compuesta por 9 ítems. La puntuación máxima es de 28 puntos y a menor puntuación, más alto es el riesgo de caídas. (37) Siguiendo la dirección de los resultados que evalúan el equilibrio mediante la BBS, los estudios que evalúan el equilibrio mediante estos indicadores alternativos muestran una mejora estadística o significativa de los resultados. Concretamente en el estudio de Elvira Maranesi en el que se comparan los efectos de la realidad virtual no inmersiva y la rehabilitación mediante fisioterapia convencional, se puede ver una mejora estadística del equilibrio utilizando la escala de Tinetti ( $p = 0.004$ ). Del mismo modo, el riesgo de caídas fue reducido significativamente ( $p = 0.010$ ) solamente en el grupo que recibió un entrenamiento basado en la RV (22). Encontramos también estudios que confirman la mejora del equilibrio utilizando varios registros para objetivar dicha mejoría. Como se puede ver en el estudio de Hao Feng en el que se investigan los efectos de la RV en comparación a la fisioterapia convencional, tanto la BBS como pruebas alternativas que valoran el equilibrio y el riesgo de caída mejoraron significativamente. Este estudio analiza el equilibrio con la BBS y adicionalmente con el Timed Up and Go (TUG) y la Funtional Gait Assessment (FGA). Tras ser sometidos a 12 sesiones de terapia basada en la RV, los pacientes en comparación con el grupo control al que se le realizó fisioterapia convencional mostraron mejoras significativas tanto en la BBS, como en la FGA y el TUG (38).

## Otras variables

Una vez comprobada la mejora generalizada de los diferentes parámetros de la marcha utilizando la terapia basada en la RV, encontramos un estudio con resultados de gran importancia en la implementación de este tipo de terapia en los pacientes con EP. El estudio expone la fuerte relación entre los efectos de la terapia basada en la RV y la reserva cognitiva de los pacientes. En este estudio, los participantes se someten a 12 sesiones de 45 minutos en un entorno virtual reproducido por el sistema interactivo no invasivo denominado Nirvana. Primeramente, se evaluó el índice de reserva cognitiva mediante un cuestionario y posteriormente se realizaron las 12 sesiones de rehabilitación. Se establece una importante correlación positiva entre la reserva cognitiva de los individuos evaluados y los efectos de la terapia basada en RV tanto en la BBS como en la prueba de marcha de 6 minutos (6 MWT). Los resultados muestran una tendencia de mejora más elevada tras la terapia en los pacientes con mayor reserva, mientras que los pacientes con menor reserva cognitiva tras ser sometidos a la terapia con RV no mejoran tanto sus resultados o incluso los empeoran (11).

Otro de los estudios analizados para dar respuesta a la pregunta de investigación del presente trabajo se centra en las situaciones cotidianas que presentan una mayor prevalencia en la alteración de la marcha en los pacientes con EP. En este estudio se analizan las respuestas de 58 individuos a un cuestionario de los trastornos de la marcha y gracias a ello se identifican dichas situaciones. Entre los usuarios evaluados podemos encontrar pacientes que sufren FOG, así como pacientes que no sufren esta alteración episódica de la marcha. Los resultados de este estudio apuntan al estrés como un desencadenante de las situaciones más prevalentes que generan alteraciones en la marcha. Caminar con prisa se define como la situación cotidiana que más frecuentemente ocasiona trastornos de la marcha, en un 72.1% de las personas evaluadas. Se establece del mismo modo una relación directa entre la ansiedad y la prisa, con la FOG. En segundo lugar, la situación que la precede se trata de caminar en lugares concurridos y en los que encontramos mucha gente, afectando a un total del 58.6% de las personas. Así como la marcha con prisa, esta situación viene también

determinada por la ansiedad que sienten los pacientes al percibirse juzgados y observados en grandes multitudes. Finalmente, la tercera situación que genera más alteraciones de la marcha se trata de realizar tareas simultáneas durante la marcha, en un 55.4% de los casos. Esta situación a diferencia de las anteriores viene determinada por la atención y no tanto por la ansiedad. Se ha comprobado como los pacientes que padecen FOG presentan una conectividad funcional deteriorada en las redes frontoparietales que están al servicio de la capacidad de atención de los pacientes. Por esta razón, los pacientes con FOG sufren más alteraciones de la marcha al realizar tareas simultáneas. Este estudio nos permite identificar las situaciones cotidianas más frecuentes que provocan alteraciones en la marcha y es de especial interés ya que dichas situaciones podrían ser simuladas en un entorno de RV para así poder ser entrenadas y mejorar la calidad de la marcha de los pacientes con EP (10).

En relación a la FOG, uno de los problemas más graves de la EP que generan un gran número de caídas en los pacientes, ha sido demostrada la fuerte relación entre las asimetrías de la marcha y este fenómeno episódico. En un estudio podemos ver como mediante las características de la realidad virtual y su retroalimentación se puede manipular la marcha de los pacientes para así reducir las asimetrías de los pasos e igualar la longitud de zancada de ambas extremidades. En este estudio, los pacientes utilizaron un casco de realidad virtual inmersiva y simularon la marcha en un sistema de tapiz rodante. La duración del experimento fue de 1.5 a 2 horas y los pacientes caminaron en diferentes entornos y condiciones. Entre las diferentes condiciones, aquellas en las que la asimetría fue igualada mediante estrategias de aprendizaje motor revelaron un efecto significativo en la longitud de paso, tiempo de paso, tiempo de oscilación, anchura de paso, variabilidad del tiempo de paso y variabilidad del tiempo de oscilación. De esta manera, se llega a la conclusión que, mediante la retroalimentación visual y propioceptiva recibida gracias a la RV, los pacientes con EP pueden mejorar la asimetría de la longitud de paso de las dos extremidades, aumentando la longitud de paso y el tiempo de oscilación de la pierna con menor rendimiento. Así pues, los resultados de este estudio sugieren que el entrenamiento basado en la RV con disociación visual y propioceptiva puede tener efectos importantes en la restauración de la simetría de la marcha

en pacientes con EP y FOG (39). En relación a la efectividad de la terapia basada en RV en pacientes que presentan FOG, se ha visto como se trata de una terapia efectiva, con los beneficios anteriormente expuestos a lo largo de este trabajo. En otras palabras, independientemente de la presencia de FOG en los pacientes, la terapia basada en la RV se muestra como una terapia eficaz, segura y efectiva para el tratamiento de la EP. De todos modos, se ha visto como el tratamiento consistente de tapiz rodante junto con RV, no muestra mejoras en los episodios de FOG en los pacientes con EP. Este resultado sugiere que los episodios de FOG, pese a estar relacionadas tanto con la estabilidad postural como con las propias caídas de los pacientes (aspectos a los que la terapia basada en la RV produce mejoras significativas) continúan siendo un problema poco comprendido que puede ser controlado por diferentes mecanismos (40).

La terapia basada en la RV, adicionalmente ha demostrado tener efectos no solo en el equilibrio dinámico y la marcha de los pacientes, sino que también produce mejoras significativas en los componentes de la función motora y los síntomas motores físicos característicos de la EP. En un estudio en el que se compara un grupo de pacientes tratados mediante terapia física y otro grupo de pacientes tratados mediante terapia física y adicionalmente RV e imagería motora, se pueden comprobar las mejoras en los síntomas motores físicos. Estas mejoras fueron significativas tanto a corto como a largo plazo (6 – 18 semanas). Concretamente se objetivaron mejoras significativas en el temblor en reposo de los pacientes, la rigidez, la postura y la marcha (2).

Se debe mencionar y analizar la seguridad de esta herramienta de rehabilitación, que como se puede comprobar en la gran mayoría de los estudios, generalmente no presenta efectos adversos en los pacientes. De todos modos, se puede diferenciar entre la RV no inmersiva y la RV completamente inmersiva, siendo esta última peor tolerada a grandes rasgos por los pacientes y la población en general. Los efectos adversos más frecuentes son los mareos, las náuseas, la desorientación y el riesgo de caída que experimentan los pacientes. Se puede ver como existen estudios que tienen el objetivo de evaluar la seguridad de los protocolos de tratamiento basado en RV. Aram Kim analizó a un total de 33 individuos diferenciándolos en tres grupos de 11 personas cada uno, para



analizar la seguridad de la terapia basada en la RV inmersiva. Se agruparon personas jóvenes y sanas, ancianos sanos y finalmente pacientes con EP para así comparar los posibles efectos adversos que provoca la terapia. Los participantes fueron sometidos a 20 minutos de terapia y como resultado no se encontraron cambios significativos en ningún grupo en relación a los posibles efectos adversos de la terapia basada en RV inmersiva. De esta manera, se puede llegar a la conclusión que los pacientes con EP pueden beneficiarse de la terapia basada en la RV inmersiva, sin experimentar efectos adversos. Se sustenta la seguridad de esta modalidad de RV en la rehabilitación de la marcha en pacientes con EP (41). En cualquier caso, se ha comprobado como a pesar de tratarse de una herramienta generalmente segura y efectiva, existe la posibilidad de sufrir efectos adversos causados por la propia inmersión en el entorno virtual. Adicionalmente, en un estudio abordado anteriormente, se comprueba como los pacientes que se someten a la terapia mediante RV completamente inmersiva usando un casco de RV presentan algunos parámetros de la marcha alterados. Concretamente al utilizar la RV inmersiva, podemos ver un incremento de la anchura de paso, así como un incremento de la variabilidad de la marcha y la cadencia de paso. Estas variaciones en el patrón de la marcha de los pacientes demuestran que las personas al someterse a la RV completamente inmersiva tienen una marcha más insegura debido al aislamiento del mundo real. Así mismo en estudios previos, se muestra como incluso en individuos sanos que se sometieron a un entorno de RV completamente inmersivo, se mostraron las mismas alteraciones en los parámetros de la marcha, confirmando que aislarse del mundo real, genera alteraciones en el patrón de la marcha incluso en personas adultas sanas (39).

Finalmente encontramos un estudio que tiene el objetivo de determinar el efecto de la duración del tratamiento mediante tapiz rodante con RV. Así pues en este estudio, en el que 77 personas de entre 40 y 70 años completaron el protocolo completo, se comparan los resultados obtenidos en un grupo de pacientes que realizó entrenamiento durante 6 semanas y en uno que realizó el mismo tratamiento durante el doble de tiempo. Se sugiere que un tratamiento de mayor duración resultará en una mejora más importante en la reducción del número de caídas en los pacientes con EP, aunque de todos modos, el rendimiento de los

diferentes parámetros de la marcha presentan una mejora similar en ambos grupos. La diferencia sustancial de los efectos de la duración del tratamiento puede ser observado en la mejora de las funciones cognitivas de los pacientes, ya que estas solo se objetivaron en el grupo que recibió sesiones de RV durante más tiempo y en la reducción del número de caídas de los pacientes. En este estudio aparte, se confirma que este tratamiento mejora los diferentes parámetros de la marcha, así como reduce el riesgo de caída de los pacientes.

(42)

## **Conclusiones**

La terapia basada en la RV es igual o más efectiva que la terapia convencional para la rehabilitación de la marcha en personas con EP. Esta herramienta de rehabilitación ha demostrado ser segura y tener un gran potencial para la rehabilitación de las alteraciones de la marcha, consiguiendo mejoras significativas en la longitud de paso, la velocidad de la marcha, la cadencia de paso, el equilibrio, la asimetría de la marcha y el tiempo de apoyo monopodal. Adicionalmente, la terapia basada en la RV consigue mejorar otros síntomas motores de la EP y reducir el número de caídas sufridas por los pacientes.

En relación al primer objetivo específico de este trabajo, se puede decir que pese a que existen diferentes tipos de RV efectivas, la que tiene una mejor aceptación, menores efectos adversos y por tanto la preferente para tratar la rehabilitación de la marcha de pacientes que sufren EP se trata de la no inmersiva.

Para finalizar respondiendo al segundo objetivo específico, se puede ver como la edad de los pacientes no es el factor más influyente en los resultados del tratamiento. Se ha comprobado la relación de la efectividad del tratamiento con la reserva cognitiva de los pacientes y del mismo modo se ha comprobado como pacientes de avanzada edad responden bien al tratamiento basado en la RV. De esta manera se puede concluir que la edad, pese a tener una influencia en el tratamiento, no se trata del factor más determinante de su efectividad.

Sea como fuere, para objetivar la efectividad real de la terapia basada en la RV y su alcance, se deberían realizar más estudios con una mayor población así como evaluar los efectos a largo plazo de la terapia, realizando un seguimiento posterior al tratamiento. Del mismo modo cabe mencionar que esta herramienta está en constante evolución y por tanto sería conveniente renovar el estudio en años posteriores, adaptando la investigación a los nuevos avances tecnológicos de la RV y su implementación en el ámbito de la rehabilitación.

## **Bibliografía**

1. Santos García D, Blázquez-Estrada M, Calopa M, Escamilla-Sevilla F, Freire E, García Ruiz PJ, et al. Present and future of parkinson's disease in Spain: Parkinson-2030 delphi project. *Brain Sci.* 2021 ago 1;11(8).
2. Kashif M, Ahmad A, Bandpei MAM, Syed HA, Raza A, Sana V. A Randomized Controlled Trial of Motor Imagery Combined with Virtual Reality Techniques in Patients with Parkinson's Disease. *J Pers Med.* 2022 mar 1;12(3).
3. Navarro-Lozano F, Kiper P, Carmona-Pérez C, Rutkowski S, Pinero-Pinto E, Luque-Moreno C. Effects of Non-Immersive Virtual Reality and Video Games on Walking Speed in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2022 nov 8;11(22):6610.
4. Gao Q, Bian R, Chen Y, Gao Q, He CQ, Bian R. Effect of Virtual Reality on Balance in Individuals With Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials [Internet]. 2020. Available from: <https://academic.oup.com/ptj/article/100/6/933/5802008>
5. Freitag F, Brucki SMD, Barbosa AF, Chen J, de Oliveira Souza C, Valente DF, et al. Is virtual reality beneficial for dual-task gait training in patients with Parkinson's disease?: A systematic review. *Dementia e Neuropsychologia.* 2019 jul 1;13(3):259-67.
6. Escamilla F, González G, Moya MA. Recomendaciones de práctica clínica en la ENFERMEDAD DE PARKINSON. Grupo Andaluz de Trastornos del movimiento. Sociedad Andaluza de Neurología. 2022.
7. Lheureux A, Lebleu J, Frisque C, Sion C, Stoquart G, Warlop T, et al. Immersive Virtual Reality to Restore Natural Long-Range Autocorrelations in Parkinson's Disease Patients' Gait During Treadmill Walking. *Front Physiol.* 2020 sep 23;11.
8. Brandín-De la Cruz N, Secorro N, Calvo S, Benyoucef Y, Herrero P, Bellosta-López P. Entrenamiento antigravitatorio e inmersivo de realidad virtual para la rehabilitación de la marcha en la enfermedad de Parkinson: estudio piloto y de viabilidad. *Rev Neurol.* 2020 dic 1;71(12):447-54.
9. Calabrò RS, Naro A, Cimino V, Buda A, Paladina G, di Lorenzo G, et al. Improving motor performance in Parkinson's disease: a preliminary study on the promising use of the computer assisted virtual reality environment (CAREN). *Neurological Sciences.* 2020 abr 1;41(4):933-41.
10. Kosutzka Z, Kusnirova A, Hajduk M, Straka I, Minar M, Valkovic P. Gait disorders questionnaire—promising tool for virtual reality designing in patients with parkinson's disease. *Front Neurol.* 2019 sep 1;10.
11. Imbimbo I, Coraci D, Santilli C, Loreti C, Piccinini G, Ricciardi D, et al. Parkinson's disease and virtual reality rehabilitation: cognitive reserve influences the walking and balance outcome. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05123-3>
12. Alves MLM, Mesquita BS, Morais WS, Leal JC, Satler CE, dos Santos Mendes FA. Nintendo Wii™ Versus Xbox Kinect™ for Assisting People With Parkinson's Disease. *Percept Mot Skills.* 2018 jun 1;125(3):546-65.

13. Dockx K, Bekkers EMJ, van den Bergh V, Ginis P, Rochester L, Hausdorff JM, et al. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. Vol. 2016, Cochrane Database of Systematic Reviews. John Wiley and Sons Ltd; 2016.
14. Nuic D, Vinti M, Karachi C, Foulon P, van Hamme A, Welter ML. The feasibility and positive effects of a customised videogame rehabilitation programme for freezing of gait and falls in Parkinson's disease patients: A pilot study. *J Neuroeng Rehabil.* 2018 abr 10;15(1).
15. 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 may 1;8(5).
16. Canavese F. Orthopedic Management of Children with Cerebral Palsy: A comprehensive approach. Nova Science Publishers Inc. No 1. 2015.
17. Cámara J. Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. Gait analysis: phases and spatio-temporal variables. *Entramado* Vol. 7. No 1. 2011 (Ene – Jun).
18. Grupo de trabajo de la Guía de Práctica Clínica para el manejo de Pacientes con Enfermedad de Parkinson. Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Enfermedad de Parkinson. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. 2014.
19. Olguin Carbajal M, Rivera Zárata I, , Hernández Montañez E. Introducción a la Realidad Virtual. *Polibits* [Internet]. 2006; (33):11-15. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640446002>
20. Giraldi G, Silva R, Oliveira J. Introduction to Virtual Reality. LNCC - Full Text View - *ClinicalTrials.gov* [Internet]. [citado 2023 ene 12]. Available from: <https://www.incc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-0603.pdf>
21. Escartín E. La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance. Universidad de Sevilla – Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías. 2000 ene.
22. Maranesi E, Casoni E, Baldoni R, Barboni I, Rinaldi N, Tramontana B, et al. The Effect of Non-Immersive Virtual Reality Exergames versus Traditional Physiotherapy in Parkinson's Disease Older Patients: Preliminary Results from a Randomized-Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 nov 10;19(22):14818.
23. Effects of a Treadmill Gait Training Protocol in a Gamified Virtual Reality Environment With tDCS in Parkinson's Disease - Full Text View - *ClinicalTrials.gov* [Internet]. [citado 2023 ene 15]. Available from: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05243394>
24. Wang B, Shen M, Wang YX, He ZW, Chi SQ, Yang ZH. Effect of virtual reality on balance and gait ability in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2019 jul 1;33(7):1130-8.
25. Lei C, Sunzi K, Dai F, Liu X, Wang Y, Zhang B, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *PLoS One.* 2019 nov 1;14(11).

26. Triegaardt J, Han TS, Sada C, Sharma S, Sharma P. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. Vol. 41, *Neurological Sciences*. Springer; 2020. p. 529-36.
27. Lu Y, Ge Y, Chen W, Xing W, Wei L, Zhang C, et al. The effectiveness of virtual reality for rehabilitation of Parkinson disease: an overview of systematic reviews with meta-analyses. *Syst Rev*. 2022 dic 1;11(1).
28. Kashif M, Ahmad A, Bandpei MAM, Farooq M, Iram H, E Fatima R. Systematic review of the application of virtual reality to improve balance, gait and motor function in patients with Parkinson's disease. Vol. 101, *Medicine (United States)*. Lippincott Williams and Wilkins; 2022. p. E29212.
29. Valiñas LP, Faraldo MJ, Bugarín R. Empleo de la velocidad de la marcha como indicador de fragilidad. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social. 2019.
30. Cano Porrás D, Sharon H, Inzelberg R, Ziv-Ner Y, Zeilig G, Plotnik M. Advanced virtual reality-based rehabilitation of balance and gait in clinical practice. *Ther Adv Chronic Dis*. 2019;10.
31. Duque Ramírez JR, Agudelo Mendoza AI, Briñez Santamaría TJ, Guarín Urrego V, Ruiz Restrepo JP, Zapata García MC. Descripción de los parámetros de referencia de la marcha en adultos de la población antioqueña entre 20 y 54 años de edad. *Unidad CES Facultad de fisioterapia*. 2012.
32. Hernández Stengele F. Diseño y construcción de prototipo neumático de prótesis de pierna humana. Capítulo tres: Biomecánica de la marcha humana. Tesis Licenciatura, Departamento de computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. 2008. [Internet]. Available from: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/hernandez\\_s\\_f/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/capitulo3.pdf)
33. Garcia Lopez J, Rodriguez Marroyo JA. Biomecánica Básica aplicada a la Actividad Física y al Deporte. Equilibrio y estabilidad del cuerpo humano. Paidotribo. 2015 ene. [Internet]. 811. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/309579800>
34. Berg KO, Maki BE, Williams H et al. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Arch Phys Med Rehab* 1992; 73:1073-1080
35. Gulcan K, Guclu-Gunduz A, Yasar E, Ar U, Sucullu Karadag Y, Saygili F. The effects of augmented and virtual reality gait training on balance and gait in patients with Parkinson's disease. *Acta Neurol Belg* [Internet]. 2022 nov 28; Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s13760-022-02147-0>
36. Potter K, Brandfass K. The Mini-Balance Evaluation Systems Test (Mini-BESTest). Vol. 61, *Journal of Physiotherapy*. Australian Physiotherapy Association; 2015. p. 225.
37. Carballo Rodríguez A, Gómez Salgado J, Casado Verdejo I, Ordás B, Fernández D. Estudio de prevalencia y perfil de caídas en ancianos institucionalizados. *Gerokomos*. 2018;29(3):110-116
38. Feng H, Li C, Liu J, Wang L, Ma J, Li G, et al. Virtual reality rehabilitation versus conventional physical therapy for improving balance and gait in parkinson's disease patients: A randomized controlled trial. *Medical Science Monitor*. 2019;25:4186-92.

39. Janeh O, Steinicke F. A Review of the Potential of Virtual Walking Techniques for Gait Rehabilitation. Vol. 15, *Frontiers in Human Neuroscience*. Frontiers Media S.A.; 2021.
40. Bekkers EMJ, Mirelman A, Alcock L, Rochester L, Nieuwhof F, Bloem BR, et al. Do Patients With Parkinson's Disease With Freezing of Gait Respond Differently Than Those Without to Treadmill Training Augmented by Virtual Reality? *Neurorehabil Neural Repair*. 2020 may 1;34(5):440-9.
41. Kim A, Darakjian N, Finley JM. Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil*. 2017 feb 21;14(1).
42. Pelosin E, Ponte C, Putzolu M, Lagravinese G, Hausdorff JM, Nieuwboer A, et al. Motor-Cognitive Treadmill Training With Virtual Reality in Parkinson's Disease: The Effect of Training Duration. *Front Aging Neurosci*. 2022 ene 5;13.

## Anexos

Tabla 1 – Resultados de los artículos que conforman las revisiones sistemáticas

	CG - CPTG	IG	VR y Dosis	Medidas	Resultados
Sarasso (2021) N = 22	Intervención activa			Velocidad de la marcha Longitud de paso DGI 6 MWT BBS TUG ABC UPDRS PDQ-36	El entrenamiento de equilibrio en RV es mas efectivo y sus efectos son inmediatos tras el tratamiento
Li R (2021) N = 22	Intervención activa y Intervención pasiva			BBS PDQ-39 UPDRS HAMD	El entrenamiento basado en RV significativamente mejoró el equilibrio, la calidad de vida, las actividades de la vida diaria y los síntomas de la depresión
Elena P (2021) N = 14	Intervención activa			DGI BBS TUG ABC PDQ-39 UPDRS	Terapia con RV está relacionada con mejoras de la calidad de vida, el equilibrio y la marcha.
Moon (2020) N = 15	Edad = 62.14 H&Y = 2 – 3 Terapia ocupacional tradicional	Edad 63.38 H&Y = 2 – 3	Nintendo Wii Fit + Terapia ocupacional convencional 24 sesiones de 30 min, 3 días por semana	BBS TUG MBI	El entrenamiento con RV resultó en mejoras significativas en el resultado del BBS
Yuan (2020) N = 24	Edad = 66.5	Edad = 67.8	Ejercicio basado en videojuegos interactivos Terapia durante 6 – 12 semanas	BBS SF-36 MFES MSL	La terapia basada en videojuegos interactivos puede funcionar como terapia alternativa en pacientes con EP leve o moderado
Lina C (2020) N = 12	Intervención activa			Velocidad de la marcha BBS TUG MBI	RV puede mejorar el equilibrio, la velocidad de la marcha y las actividades de la vida diaria.
Marotta N (2020) N = 7	Intervención activa y intervención pasiva			Locomoción funcional	La RV muestra efectos positivos inmediatos en la locomoción funcional.
Chen (2020) N = 14	Intervención activa			DGI BBS TUG ABC	La RV en comparación a la intervención activa mejora el BBS. No hay diferencia entre los grupos en relación a TUG y Estabilidad de la marcha.
Triegaardt (2020) N = 10	Intervención activa y intervención pasiva			Velocidad de la marcha Longitud de paso BBS UPDRS MoCA PDQ-39	Comparada con la intervención activa, la RV permite un aumento de la longitud de paso Comparado con la intervención pasiva, mejora UPDRS, BBS, velocidad de marcha y longitud de paso
Ferraz (2019)	N = 44 Estadio = 2.5 Edad = 69	N = 20 Estadio = 2.5 Edad = 69	Xbox Kinect + fisioterapia convencional 24 sesiones de 50 minutos, 3 días por semana	UPDRS PDQ-39 6 MWT 10 MWT	Solamente el GI logró mejoras significativas de la velocidad de la marcha en el 10 MWT Todos los grupos mejoraron significativamente 6MWT y PDQ-39
Fundarò (2019)	N = 10 Estadio = 2.5	N = 10 Estadio = 2.5	RV + Tapiz rodante Lokomat + Fisioterapia convencional	UPDRS FIM	Solamente el GC mejoro el 10 MWT significativamente.



	Edad = 68	Edad = 68	2 sesiones de 30 minutos, 5 días por semana	10 MWT Velocidad Lokomat	IG mejoró significativamente la velocidad del lokomat inversamente relacionado con 10 MWT
Pazzaglia (2019) N = 51	Edad = 70	Edad = 72	Entrenamiento RV durante 18 sesiones de 40 minutos, 3 días por semana	BBS DGI DASH Short SF-36	El protocolo de RV fue superior a un tratamiento de rehabilitación convencional
Hao Feng (2019) N = 28	Edad = 66.9 H&Y = 2.5 - 4	Edad = 67.4 H&Y = 2.5 - 4	Entrenamiento RV 60 sesiones de 45 minutos, 5 días por semana	BBS TUG UPDRS FGA	El equilibrio y la marcha mejoran significativamente tras la intervención de RV
Cikajlo (2019) N = 20	Edad = 67.6 H&Y = 2 - 3 Realidad virtual 2D	Edad = 71.3 H&Y = 2 - 3	3D Oculus rift Ejercicios de elegir y colocar 10 sesiones durante 3 semanas	BBT IMI	La RV inmersiva incrementa el interés del paciente y la eficiencia del funcionamiento físico
Santos (2019) N = 45	Edad = 64.5 H&Y = 1 - 3	Edad = 61.7 Edad grupo ejercicio + Wii = 66.6 H&Y = 1 - 3	Nintendo Wii Sesiones de 50 minutos, 2 días por semana	BBS DGI TUG PDQ-39	La combinación de la terapia con RV + ejercicio convencional resulta más efectiva que otras intervenciones solas.
Lei C (2019)	Intervención activa			Velocidad de la marcha Longitud de paso BBS TUG ABC UPDRS PDQ-39 BAI MoCA	La RV mejoró a la intervención activa en longitud de paso, calidad de vida, equilibrio, confianza en el equilibrio, síntomas neuropsiquiátricos. No hubo efectos sobre la velocidad de la marcha, DGI, Funciones motoras y cognitivas, Actividades de la vida diaria
Wang (2019)	Intervención activa			Velocidad de la marcha Longitud de paso 6 MWT BBS TUG	Se ha demostrado una mejora significativa del equilibrio y la longitud de paso en la terapia con RV en comparación con la intervención activa.
Melo (2018)	N = 25 Estadio = 1.89 Edad = 63.25 Entrenamiento convencional de la marcha	N = 12 Estadio = 1.4 Edad = 62	Xbox Kinect 12 sesiones de 20 minutos, 2 días por semana	UPDRS 6 MWT IMU PDQ-39	Mejoras significativas de la velocidad de la marcha en el GI y en el grupo de cinta rodante en relación a la fisioterapia convencional. VR es igual de efectiva que tapiz rodante.
Song (2018)	N = 29 Mantener actividades habituales Edad = 65 Duración PD = 9	N = 31 Edad 68 duración PD = 7	Exergame a domicilio	FGA TUG Auto evaluación de la movilidad y el equilibrio.	NO hay diferencias entre grupos excepto para el TUG (mejor resultado del grupo control) La movilidad de los participantes del GI mejoró, mientras en el GC empeoró
Dantas (2018)	N = 11 Edad = 70	N = 8 Edad = 65.6 H&Y = 1 - 3	Xbox Kinect	MMSE - Mini mental state examination	Ambos grupos mejoraron los resultados evaluados
Alves LMM (2018) N = 27	N = 9 Edad 61.7 H&Y = 1.8 10 sesiones de ejercicio convencional de equilibrio Estadio = 1.78	N = 18 Edad = 60.8 H&Y = 1.75 Estadio = 1.56 - 1.89	Nintendo Wii Fit (9) Xbox Kinect (9) 10 sesiones de 45 - 60 minutos, durante 5 semanas.	MMSE GDS WHOQOL-OLD Beck Anxiety inventory VFT Digit Span TUG 10 MWT 30 Sec. walk test	La Nintendo Wii tiene mejores resultados debido a la interfaz más simple y las menores distracciones. IG Nintendo Wii mejoró el 30 sec. Walk test (más distancia recorrida, menor número de pasos) Medidas de ansiedad y Digit Span disminuyen (Wii)

Tollar (2018)	N = 49 Bicicleta estática y CG Edad = 69.0 Estadio = 2 - 3	N = 25 Edad = 70 Estadio = 2 - 3	Exergaming de agilidad	DGI BBS BEST TAT	El grupo RV mejoró significativamente el BBS en comparación con el GC
Ribas (2017)	N = 10 Ejercicio convencional de equilibrio Estadio = 1.5 Edad = 60.9	N = 10 Estadio = 1.25	Nintendo Wii Fit 24 sesiones de 30 minutos, 2 días por semana	BBS 6 MWT	RV Mejora significativa del BBS
Gandolfi (2017)	N = 38 SIBT Edad = 69.8 Duración EP = 7.5 H&Y = 2.5-3	N = 36 Edad 67.5 Duración EP = 6.2 H&Y = 2.5	Entrenamiento del equilibrio con RV (Nintendo Wii) 21 sesiones de 50 minutos, 3 días por semana	BBS ABC DGI UPDRS GDS	Mejora significativa del BBS y el índice de marcha dinámico (DGI) en el GI Ambos grupos mejoran el 10 MWT, DGI, PDQ-39
Chen (2017) N = 46	Ejercicio convencional Estadio = 2.52	Estadio = 2.57	Entrenamiento de equilibrio con RV 30 sesiones de 50 minutos, 5 días por semana	BBS TUG UPDRS CoP HAMD	Mejora significativa del BBS y TUG en el GI
Strouwen (2017) N = 121	Entrenamiento cognitivo y de la marcha tratados independientemente Edad = 66.1 Duración EP = 8.9 H&Y = 2 - 3	Entrenamiento cognitivo y de la marcha tratados simultáneamente Edad = 65.8 Duración EP = 8.4 H&Y = 2 - 3	6 semanas de entrenamiento cognitivo y de la marcha. Los grupos se diferencian por la simultaneidad de los aspectos del tratamiento.	MoCA FAB	Ambos protocolos tienen efectos similares.
Docx (2016)	Intervención activa y pasiva			Velocidad de la marcha Longitud de paso BBS PDQ-39	RV comparada con intervención pasiva: mejores resultados en marcha equilibrio y calidad de vida RV comparada con intervención activa: Mejora moderada de la longitud de paso. Efectos similares en marcha equilibrio y calidad de vida
Carpinella (2016) N = 42	Edad = 70 H&Y = 2 - 4	Edad = 70 H&Y = 2 - 4	Controlador de juego 20 sesiones de 45 minutos, 3 días por semana	BBS 10 MWT Tele-healthcare satisfaction questionnaire	RV mejora significativa entre en BBS en comparación con el GC
Shih (2016)	N = 10 Ejercicio tradicional Estadio = 1 - 3 Edad = 68.8	N = 10 Estadio = 1-3 Edad = 67.5	Nintendo Wii Fit 16 sesiones de 50 minutos, 2 días por semana	LOS OLS BBS TUG	El GI mejora significativamente en LOS y OLS (Estabilidad postural)
Robles (2016)	Captura de los movimientos propios de los pacientes con VR N = 15 Edad = 64.2	N = 15 Edad = 68.75	Full-amplitude repetitive finger-tapping (FT) 4 semanas de entrenamiento	Finger-tapping test Excitabilidad corticospinal	El grupo de intervención exhibió una mayor amplitud de movimiento después del tratamiento. Por lo tanto, indica que la RV puede ayudar a mejorar la función motora en el contexto de la terapia de imitación del movimiento.
Özgönel (2016) N = 33	Programa de rehabilitación convencional. Edad = 65 Estadio = 2.09	Edad = 65 Estadio = 2.09	Xbox Kinect 12 sesiones de 40 minutos, 3 días por semana	BBS TUG UPDRS	
Lin (2016) N = 33	Ejercicios convencionales de equilibrio Estadio = 2.9 Edad = 61.7	Estadio = 2.7 Edad = 61.7	Entrenamiento del equilibrio con RV (Xbox Kinect) 20 sesiones de 30 minutos, 5 días por semana	BBS TUG	Mejora significativa del GI en comparación al GC en BBS y TUG

Ginis (2016)	N = 18 Edad = 66.1 años Duración PD = 11.6 H&Y = 2 - 3	N = 22 Edad = 67.3 Duración PD = 10.6 H&Y = 2-3	Smartphone APP (CuPID-system) 18 sesiones de entrenamiento de la marcha de 30 minutos, 3 días a la semana.	Mini BESTest SF-36	Ambos grupos mejoraron la velocidad de la marcha y la marcha con doble tarea. El GI mostró un beneficio significativamente superior en el equilibrio y la calidad de vida en las mediciones posteriores.
D'alencar (2015)	N = 16 Estadio = 2.3 Edad = 70	N = 15 Estadio = 2.2 Edad = 70	Nintendo Wii Balance Board 10 sesiones de 35 min, 3 días por semana	10 MWT	No mejora estadísticamente significativa de la velocidad de la marcha. Correlación entre el estadio de la EP y la velocidad de la marcha
Harris DM (2015)	Intervención activa y pasiva			BBS SOT	No se puede determinar la eficacia de la terapia con RV
Yang (2015)	N = 12 Ejercicios convencionales de equilibrio Estadio = 3 Edad = 75.4 Duración EP = 8.3	N = 11 Edad = 72.5 Duración EP = 9.4 H&Y = 3	Entrenamiento personalizado del equilibrio con RV 12 sesiones de 50 minutos, 2 días por semana	BBS TUG DGI UPDRS III PDQ-39	No hay diferencias significativas Ambas terapias fueron efectivas para la rehabilitación de la marcha, el equilibrio y la calidad de vida
Liao (2015)	N = 24 Estadio = 1.95 Duración EP = 6.6 Edad = 64.8 Grupo educación salud	N = 12 Estadio = 2 Duración EP = 7.9 Edad = 67.3	Nintendo Wii Balance Board + Tapiz rodante 12 sesiones de 4 minutos, 2 días por semana	STP FGA SOT LOS TUG FES-I	El GI y el GC mejoró significativamente la longitud de paso, la velocidad de marcha y la FGA. No hay diferencias entre IG y GC IG fue superior en: LOS, Equilibrio dinámico, TUG, FES-I y PDQ-39, así como la velocidad con obstáculos. VR mejora la marcha y la fuerza muscular
Lee (2015)	N = 10 Tratamiento enfocado al neurodesarrollo + Estimulación funcional eléctrica Edad = 70.1	N = 10 Edad = 68.4	Nintendo Wii Ejercicios de baile con RV + tratamiento enfocado al neurodesarrollo + Estimulación funcional eléctrica 30 sesiones de 45 minutos, 5 días por semana	BBS ADL BDI MBI index	Mejora significativa del BBS
Navarro (2015)		N = 7 Edad 66.8	Xbox Kinect	MMSE 10 MWT	Mejora en el 10 MWT
Killane (2015)	N = 7 Edad = 64 H&Y = 2.3	N = 13 Edad = 64.2 H&Y = 2.4	Intervención de doble tarea con RV	MoCA FAB UPDRS FoG	Mejora de los resultados post intervención. GI mostró un descenso del número de episodios de FoG
Barros (2014) N = 15	Edad 45 – 85 H&Y = 2 – 4	Edad 45 – 85 H&Y = 2 – 4	Ejercicios virtuales como aerobic y equilibrio (Nintendo Wii) 14 sesiones de 40 minutos, 2 días por semana	UPDRS FIM Análisis biomecánico marcha	La terapia con Nintendo Wii Fit Plus es efectiva y eficiente en un corto periodo de tiempo para la mejora de la marcha
SU (2014) N = 42	Edad = 64.7 H&Y = 2 – 3	Edad = 64.7 H&Y = 2 – 3	RV proyectada + Tabla de equilibrio 15 pruebas para cada nivel de dificultad con 5 minutos de descanso	Pico de velocidad End of movement	Variar la velocidad del movimiento de los objetos en un entorno de RV tiene un impacto en la velocidad.
Esculier (2014)	N = 8 Edad = 61.9 años	N = 8 Edad = 63.5 Duración PD = 8.5	Nintendo Wii Fit	TUG Sit-to-stand test Observación de la activación cortico-motora de la extremidad inferior.	GI mejoró TUG y Sit-to-Stand test. GI aumento los potenciales evocados del cuádriceps en observación.
Van den Heuvel (2014)	N = 16 Edad = 68.8	N = 17 66.3 Estadio = 2.5	Entrenamiento con retroalimentación virtual	FRT BBS SLS	No hay diferencias significativas

	Ejercicios convencionales de equilibrio Estadio = 2.5		10 sesiones de 60 minutos, 2 días por semana	10 MWT UPDRS	El entrenamiento con retroalimentación virtual es seguro y efectivo
Shen (2014)	N = 25 Estadio = 2 - 3 Ejercicios de fuerza muscular Edad = 64.2	N = 26 Estadio 2 - 3	BAL (entrenamiento del equilibrio y la marcha asistido por tecnología) 60 sesiones de 100 minutos, 5 días por semana	SLS Longitud de paso Velocidad de marcha ABC	GI mejora significativamente el SLS y Longitud de paso.
Pompeu (2014)		N = 7 Edad = 72 años H&Y = 2 - 3	Xbox Kinect 14 sesiones de 60 minutos, 3 días por semana	6 MWT BBS DGI PDQ-39	Todos los registros mejoraron No hubo efectos adversos y resultó una terapia factible.
Mhatre (2013)		N = 10 Edad = 67.1 Duración PD = 6.7 H&Y = 2.5 - 3	Nintendo Wii Fit + Balance Board 24 sesiones de 30 minutos, 3 días por semana.	BBS DGI Romberg	BBS incremento significativamente DGI incrementó, así como mejoró el balanceo postural de manera no significativa
Pedreira (2013) N = 31	Entrenamiento de equilibrio convencional Estadio = 2.4 Edad = 63.57	Edad = 63.57 Estadio 2.5	Nintendo Wii Fit 12 sesiones de 40 minutos, 3 días por semana	PDQ-39	
Pompeu (2012)	N = 16 Ejercicios globales + ejercicios de equilibrio Estadio = 1 - 2 Edad = 67.4	N = 16 Estadio = 1 - 2	Nintendo Wii Fit + Ejercicios globales motores y cognitivos 14 sesiones de 60 minutos, 2 días por semana	BBS UST UPDRS MCA	No hay diferencias significativas entre el GI y el GC en relación al BBS ni al UST
Esculier (2012)	N = 9 Edad = 63.5	N = 11 Edad = 61.9 años Duración EP = 9.8 años	Entrenamiento con Nintendo Wii Fit 18 sesiones de 40 minutos, 3 días por semana	UPDRS ABC TUG 10 MWT Sit-to-stand test POMA CB&M	Los valores registrados mejoraron en el grupo de intervención y en el grupo control. De todos modos, el IG mejoró en mayor medida que el CG
Yen (2011)	N = 28 Entrenamiento de equilibrio convencional (14) No intervención (14) Estadio = 2.4 Edad = 70.3	N = 14 Estadio = 2.6	Entrenamiento personalizado de equilibrio con RV 24 sesiones de 30 minutos, 2 días por semana	SOT	
Mirelman (2011) N = 20		Edad = 67.1 Duración EP = 9.8 años H&Y = 2 - 3	Entrenamiento de tapiz rodante con obstáculos virtuales 18 sesiones, 3 días por semana	UPDRS III FSST PDQ-39 MoCA TMT	LA RV consigue mejoras significativas en: La velocidad de la marcha TMT, UPDRS y FFST Las mejoras funcionales se mantienen durante más de 1 mes. Incremento de la calidad de vida.
Ma (2011) N = 33	Edad = 68.7 H&Y = 2 - 3 Entrenamiento placebo	Edad = 64.7 H&Y = 2 - 3	Entrenamiento RV	Tiempo de movimiento Pico de velocidad Porcentaje de movimiento en la fase de aceleración	El entrenamiento con RV incrementó la velocidad de movimiento.
Espay (2010)		N = 13 Edad = 73.3 años Duración PD = 12.1 años	Se usó de un dispositivo portátil de indicación visual-auditivo impulsado por acelerómetro durante 2 semanas con 2 intervenciones diarias de 30 minutos	FOG-Q (velocidad de la marcha, longitud de paso, cadencia)	Mejora en la velocidad de la marcha y la longitud de paso. Los resultados son mantenidos cuando el dispositivo fue removido.

Tabla 2 – Resumen resultados artículos revisiones sistemáticas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D'alencar (2015)			No						
Liao (2015)	Si		Si	Si		Si		Si	Si
Melo (2018)	Si		Si						
Ferraz (2019)			Si					Si	
Fundarò (2019)									
Shen (2014)				Si					
Lee (2015)					Si				
Van den Heuvel (2014)	Si		Si		Si				Si
Shih (2016)									
Pompeu (2012)	Si				Si				Si
Yang (2015)	Si							Si	Si
Lin (2016)					Si	Si			
Ribas (2017)		Si			Si				
Gandolfi (2017)		Si			Si	Si		Si	
Chen (2017)					Si				
Song (2018)		Si							
Tollar (2018)					Si				
Yen (2011)						Si			
Alves LMM (2018)	Si								
Özgönenel (2016)					Si	Si			
Pedreira (2013)								Si	
Espay (2010)			Si	Si					
Mirelman (2011)		Si	Si					Si	Si
Esculier (2012)		Si	Si			Si			Si
Mhatre (2013)		Si			Si				
Esculier (2014)						Si			
Killane (2015)		Si					Si		
Navarro (2015)			Si						
Dantas (2018)									
Ginis (2016)	Si		Si					Si	Si
Strouwen (2017)									
Santos (2019)		Si			Si			Si	
Robles (2016)	Si								
Pazzaglia (2019)		Si			Si				
Ma (2011)			Si*						
Hao Feng (2019)		Si			Si				Si
Cikajlo (2019)									
Yuan (2020)									
Su (2014)									
Barros (2014)	Si								
Carpinella (2016)					Si				
Moon (2020)					Si				
Sarasso (2021)									Si
Li R (2021)								Si	Si
Elena P (2021)	Si							Si	Si
Triegaardt (2020)			Si	Si	Si				
Pompeu (2014)		Si			Si			Si	Si
Marotta N (2020)									
Lina C (2020)			Si						Si
Chen (2020)					Si				
Wang (2019)				Si					Si
Lei C (2019)			No	Si		No		Si	Si
Docx (2016)	Si			Si				Si	Si
Harris DM (2015)									

- 1 – Rehabilitación de la marcha con VR es igual de efectiva como la terapia convencional.
- 2 – Rehabilitación de la marcha con VR es igual de efectiva como la terapia convencional.
- 3 – Aumento de la velocidad de marcha.
- 4 – Aumento de la longitud de paso.
- 5 – Mejora del BBS.
- 6 – Reducción de caídas.
- 7 – Reducción episodios FoG.
- 8 – Mejora calidad de vida.
- 9 – Mejora del equilibrio.

<b>TABLA 3</b>	<b>Muestra</b>	<b>Grupo control (GC)</b>	<b>Grupo intervención (GI)</b>	<b>Tipo RV y sesiones de tratamiento</b>	<b>Medidas</b>	<b>Resultados</b>
<b>Kashif M, 2022</b>	n = 44 H&Y: I - III Edad: 50 - 80	n = 21 (1 abandono por problemas de transporte) Duración EP: 6.55 Calentamiento, estiramientos, ejercicios de fortalecimiento y ejercicios de relajación	n = 20 (2 abandonos por problemas con los cuidadores) Duración PD: 6.23 RV, imaginaria motora y fisioterapia convencional.	No inmersiva – Nintendo Wii 12 semanas, 3 días por semana durante 60 minutos.	UPDRS - III	El GI mostró una mejora significativa en la marcha en comparación con el GC
<b>Gulcan K (2022)</b>	n = 30 H&Y ≤ 3 Edad = 40 +	n = 15 Terapia convencional Edad = 60 Duración de EP = 6	n = 15 Terapia convencional + RV y realidad aumentada (C-Mill) Edad = 61 Duración PD = 6	18 sesiones, 3 días por semana	UPDRS - III BBS ABC TUG Análisis espacio temporal de la marcha	UPDRS II, BBS, ABC, Parámetros espaciotemporales de la marcha, medidas de posturografía, TUG mejoraron en el IG. El GC solamente mejoró BBC, ABC y parámetros espaciales de la marcha.
<b>Maranesi (2022)</b>	N = 32 Edad = 65+ H&Y = 1 – 3	n = 14 Rehabilitación tradicional Edad = 75.5 H&Y = 2.3	n = 16 Rehabilitación con RV + terapia tradicional Edad = 72.7 H&Y = 2	Realidad virtual no inmersiva – exergaming 10 sesiones de 50 minutos, 2 días por semana	POMA MSC FES-I Velocidad de la marcha SF-12	Mejora significativa del equilibrio en ambos grupos. Reducción significativa del riesgo de caídas solo en RV. La RV mejora significativamente todas las mediciones POMA, mejorando tanto el equilibrio como las características de la marcha. RV mejora la esfera fisiológica. RV mejora, aunque no significativamente FES-I y velocidad de la marcha. RV no inmersiva permite la rehabilitación de diferentes dominios simultáneamente.
<b>Pelosin (2021)</b>	n = 96 (77 realizaron el protocolo completo) H&Y = II – III Edad = 40 - 70	6 semanas de tratamiento de tapiz rodante + RV Edad = 73.84 Duración EP = 8.47	12 semanas de tratamiento de tapiz rodante + RV Edad = 74.09 Duración EP = 7.43	Kinect Tapiz rodante + RV 18 sesiones o 36 sesiones depende del grupo, de 45 minutos, 3 días por semana	Velocidad de la marcha en tarea dual Variabilidad de la velocidad de la marcha Longitud de paso	12 semanas de tratamiento redujo significativamente las caídas, habilidades cognitivas. El rendimiento de la marcha contradictoriamente a lo esperado no mejoró más con más sesiones de rehabilitación.
<b>Bekkers EMJ, 2020</b>	n = 121 FoG+ = 77 FoG- = 44 H&Y: II - III Edad: 60 – 90	n = 59 Duración EP: 9.55 Tratamiento de tapiz rodante	n = 62 Duración EP = 9.05 años Tratamiento de tapiz rodante + RV	Entrenamiento en tapiz rodante + RV 6 semanas, 3 días por semana durante 45 minutos	UPDRS – III Mini BEST Diario de caídas TMT-B NFOG-Q	El GI y el GC mejoraron el Mini BEST y el TMT-B independientemente de la presencia de FoG. El GI presentó una mayor reducción de caídas comparado con el GC
<b>De la cruz BN, (2020)</b>	n = 12 Edad = 68.8 H&Y = 2.62		n = 12 3 pacientes abandonaron el estudio debido a náuseas (2) y falta de motivación (1)	Entrenamiento de tapiz rodante con un 20% del peso desgravitado y equipados con un casco de realidad virtual inmersivo y dos joysticks. 12 sesiones de 30 minutos durante 4 semanas	6 MWT POMA 10 MWT SF-36	GI aumento de la distancia recorrida, velocidad de la marcha, equilibrio y calidad de vida

<b>Lheureux (2020)</b>	n = 10 Edad = 63.7 H&Y = 1.75 Mini mental > 24	Tratamiento con tapiz rodante  Caminata en el suelo	Tratamiento con tapiz rodante + RV inmersiva	Los pacientes caminaron en los 3 escenarios de manera aleatoria durante 10 – 15 min.	Velocidad de la marcha Longitud de paso Cadencia SSQ UPDRS ABC	Velocidad de la marcha aumentó en el GI. La cadencia disminuyó en el GI. Disminuye la magnitud de la variabilidad de la duración de la zancada en el GI. SSQ similar entre GC y IG. VR mejora la efectividad del tratamiento con tapiz rodante
<b>Imbimbo I (2020)</b>			n = 26 (4 abandonaron el estudio, 3 debido a situaciones medicas externas, 1 abandono voluntario) Edad = 76 H&Y = 2	12 sesiones de 45 minutos, durante 6 semanas	6 MWT BBS	Existe una fuerte relación entre los efectos de la VR y la reserva cognitiva de los pacientes. En pacientes con una reserva cognitiva más bien baja, el tratamiento con VR no es el más indicado (empeoraran) y conseguiremos mejores resultados utilizando la fisioterapia convencional.
<b>Feng H (2019)</b>	n = 28 H&Y = 2.5 – 4 Edad = 50 - 70	n = 14 Fisioterapia convencional Edad = 66.9 Duración PD = 6.6	n = 14 RV + fisioterapia convencional Edad = 67.4 Duración PD = 7.07	60 sesiones de 45 minutos, 5 días por semana	BBS TUG UPDRS III FGA	BBS, TUG, FGA mejoraron significativamente en ambos grupos. UPDRS solo mejoró en el IG
<b>Cano D, 2019</b>	n = 36 Edad = 72.1		n = 36 Tratamiento personalizado de RV promoviendo el entrenamiento repetitivo orientado a la tarea.	Inmersiva – CAREN, V.Gait, C-Mill Cada tratamiento consta de 12 sesiones de 30 - 45 minutos El numero de tratamientos varió entre los pacientes.	10 MWT TUG BBS Mini BEST FSST	Las medidas funcionales de la marcha demuestran mejoras significativas posteriores al tratamiento con VR
<b>Kosutzka (2019)</b>	n = 58 Edad = 63 Duración PD = 7.02 H&Y = 2.4			Cuestionario para determinar las situaciones cotidianas más prevalentes que perjudican la marcha de los pacientes		-Caminar con prisa (72.1%) Relación directa de la ansiedad con la congelación de la marcha -Caminar en lugares con mucha gente (58.6%) relacionado con el estrés y la ansiedad -Tareas simultaneas (55.4%) Factor relacionada con la atención. Los pacientes que padecen congelación de la marcha tienen una conectividad funcional deteriorada en las redes frontoparietales al servicio de las funciones de atención. Por eso realizar tareas simultáneamente es problemático.
<b>Calabrò (2019)</b>	n = 22 H&Y < = 3 Mini mental >= 24 Menores de 85 años		20 sesiones de Fisioterapia convencional (50 minutos) seguido de un periodo de descanso de 3 meses. Posteriormente 20 sesiones CAREN		BBS TUG UPDRS FES.I 10 MWT	No se reportaron efectos adversos. Todas las escalas consideradas mejoraron significativamente con los 2 tratamientos, de todos modos, hay una mejora



						de los resultados tras la aplicación del entrenamiento CAREN El entrenamiento CAREN redujo la duración del ciclo de la marcha, aumentó la velocidad de la marcha, el apoyo monopodal y la longitud de paso, redujo la anchura de paso y la cadencia
<b>Janeh O (2019)</b>	n = 15 Edad = 67.6 H&Y = 2 – 3		n = 15 Duración EP = 9.5 años 7 entornos virtuales en los que los pacientes debían caminar para delimitar la mejora compensación posible de la asimetría de la marcha en la EP	GAITRite + Casco de realidad virtual inmersiva	UPDRS III FoG Questionnaire Ziegler's test Short BBS MoCA SSQ SUS PDQ-39	Los pacientes con EP tienen una asimetría de la marcha, con una diferencia significativa de la longitud de paso entre ambas piernas (33.3%) Caminar en VR con disociación visopropioceptiva puede tener importantes implicaciones para restaurar la simetría de la marcha y prevenir FoG.
<b>Nuic D (2018)</b>	n = 10 Duración EP = 16.5 años H&Y superior a 3			Kinect (feedback visual y auditivo) 18 sesiones de tratamiento	FoG questionnaire ABC Velocidad de la marcha Tiempo de doble apoyo UPDRS III GABS FOG-Q PDQ-39	FOG-Q y GABS se redujeron significativamente ABC Incrementó significativamente Las caídas se redujeron significativamente UPDRS III no cambió Los ajustes posturales anticipatorios y la fase de doble apoyo se redujeron significativamente. El desplazamiento anteroposterior de los ajustes posturales anticipatorios, longitud de paso y velocidad de la marcha aumentó significativamente. Estos resultados se mantuvieron posterior a 3 meses
<b>Kim A (2017)</b>	n = 33	n = 11 (jóvenes sanos) n = 11 (ancianos sanos)	n = 11 (Pacientes PD)	Caminar en un entorno de VR inmersiva con casco	Mini BEST CoP SSQ Medidas de estrés y excitabilidad	No hay efectos adversos Las medidas de estrés disminuyeron en todos los grupos No hay efectos adversos