

María José Vázquez Gómez

**"IMPACTO DE LA REALIDAD VIRTUAL EN EL TIMED UP AND GO TEST (TUGT) DE ADULTOS
MAYORES QUE VIVEN EN LA COMUNIDAD: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE ENSAYOS
CLÍNICOS CONTROLADOS ALEATORIZADOS"**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Dirigido por la Dra. Úrsula Catalán Santos

Máster de Envejecimiento y Salud



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Reus

2025

Índice

RESUMEN 1

ABSTRACT 1

INTRODUCCIÓN 2

 Hipótesis 4

 Objetivo..... 4

METODOLOGÍA..... 5

 Estrategia de búsqueda y fuentes de datos 5

 Selección de estudios y criterios de elegibilidad 6

 Extracción de datos..... 6

 Elementos de datos..... 7

 Calidad de los estudios 7

 Síntesis de resultados..... 8

 Medidas de efecto y análisis clínico 8

RESULTADOS..... 8

 Selección de estudios..... 8

 Riesgo de sesgo dentro de los estudios 9

 Riesgo de sesgo entre los estudios 10

 Descripción de estudios incluidos..... 11

 Características de los participantes 12

 Características de la intervención 12

 Duración y frecuencia de la intervención 13

 Medidas de resultados..... 14

DISCUSIÓN 18

 Fortalezas y limitaciones 23

 Implicaciones para la práctica y futuras investigaciones 24

CONCLUSIÓN 25

BIBLIOGRAFÍA..... 26

RESUMEN

Antecedentes: Las caídas en adultos mayores son un problema relevante de salud pública. La realidad virtual (RV) ha emergido como una estrategia innovadora para mejorar la movilidad y reducir este riesgo. Esta revisión sistemática evaluó el efecto de programas de RV sobre el desempeño en el Timed Up and Go Test (TUGT), considerando su capacidad para acercar los tiempos a rangos funcionales seguros según la edad. **Métodos:** Siguiendo las directrices PRISMA, se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados publicados entre 2015 y 2025, con adultos mayores (≥ 60 años), sin patologías agudas ni neurodegenerativas, que vivieran en la comunidad y utilizaran RV orientada al equilibrio, evaluada mediante el TUGT. Se realizaron búsquedas en PubMed, Scopus, Cochrane Library y Google Scholar hasta febrero de 2025. El riesgo de sesgo se evaluó con la herramienta RoB 2. La síntesis fue narrativa, considerando significancia estadística ($p < 0.05$) y relevancia clínica según valores normativos. **Resultados:** Se incluyeron 12 estudios ($n= 1.452$). Todos reportaron mejoras post intervención en el TUGT, más marcadas en los grupos con RV (mejoras del 4% al 20%) frente a controles activos y pasivos. La RV no inmersiva fue la más utilizada y mejor tolerada. Intervenciones ≥ 6 semanas centradas en movilidad funcional lograron mayores acercamientos a valores funcionales esperados. **Discusión:** Se observó heterogeneidad metodológica, escasa estandarización del TUGT, muestras pequeñas y ausencia de seguimiento a largo plazo, lo que limita la generalización. Sin embargo, la RV no inmersiva mostró beneficios clínicamente relevantes con cargas moderadas. **Conclusión:** La RV, especialmente en formato no inmersivo, mejora el desempeño funcional en el TUGT de adultos mayores, acercando los resultados a valores seguros según la edad. Supera a intervenciones tradicionales incluso con menor carga terapéutica, posicionándose como una estrategia accesible y eficaz para la prevención de caídas.

ABSTRACT

Background: Falls among older adults are a significant public health concern. Virtual reality (VR) has emerged as an innovative strategy to enhance mobility and reduce this risk. This systematic review evaluated the effect of VR programs on performance in the Timed Up and Go Test (TUGT), considering their ability to bring times closer to safe functional ranges according to age. **Methods:** Following PRISMA guidelines, randomized controlled trials published between 2015 and 2025 were included. Participants were community-dwelling older adults (≥ 60 years) without acute or neurodegenerative conditions, using VR interventions focused on balance and assessed with the TUGT. Searches were conducted in PubMed, Scopus, Cochrane Library, and Google Scholar up to February 2025. Risk of bias was assessed using the RoB 2 tool. A narrative synthesis was performed,

considering statistical significance ($p < 0.05$) and clinical relevance based on normative values. **Results:** Twelve studies were included ($n = 1.452$). All reported post-intervention improvements in TUGT, with more notable gains in the VR groups (improvements ranging from 4% to 20%) compared to both active and passive controls. Non-immersive VR was the most commonly used and best tolerated. Interventions lasting ≥ 6 weeks and focused on functional mobility achieved greater approximation to expected functional values. **Discussion:** Methodological heterogeneity, lack of TUGT standardization, small sample sizes, and absence of long-term follow-up limited generalizability. However, non-immersive VR demonstrated clinically relevant benefits with moderate training loads. **Conclusion:** VR, especially in its non-immersive format, improves functional performance in the TUGT among older adults, bringing outcomes closer to age-appropriate safety values. It outperforms traditional interventions even with lower therapeutic loads, positioning itself as an accessible and effective strategy for fall prevention.

Keywords: older adults; aged; virtual reality; virtual rehabilitation; accidental falls; falls risk.

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento de la población es un fenómeno global impulsado por mejoras en las condiciones sociales, la calidad de vida, los avances en la medicina y la rehabilitación, lo que ha resultado en un aumento significativo de la esperanza de vida y, por ende, de la población de edad avanzada.¹ Este proceso ha llevado a un incremento significativo en la proporción de adultos mayores en la sociedad, con estimaciones que indican que para 2030 habrá 1.400 millones de personas de 60 años o más, y para 2050 esta cifra alcanzará los 2.100 millones.² Si bien el envejecimiento refleja un progreso social, también conlleva desafíos para la salud pública, especialmente en relación con la movilidad, el equilibrio y el riesgo de caídas.³ A medida que las personas envejecen, se incrementa el riesgo de pérdida de la función física y cognitiva, lo que a su vez eleva la probabilidad de sufrir caídas.⁴

Las caídas, definidas como eventos no intencionales que hacen que una persona caiga al suelo sin intervención de fuerzas externas, son un problema importante para las personas mayores representando un problema crítico de salud pública¹ que afecta hasta un 30% de las personas mayores de 65 años y a más del 50% de quienes superan los 80 años. Aproximadamente un tercio de los adultos mayores de 65 años no institucionalizados experimenta al menos una caída al año, lo que convierte a estas en la principal causa de lesiones^{3,5} y muerte accidental en este grupo etario, conllevando en algunos casos, a discapacidad permanente, disminución de la calidad de vida, altos

costos en salud, hospitalización, institucionalización e incluso la muerte.⁶⁻⁸ Una caída en esta población conlleva a un impacto significativo tanto físico como psicológico ya que no solo pueden causar lesiones, sino que también generan miedo a caer en el 85% de las personas que caen, lo que reduce la movilidad y aumenta el riesgo de nuevas caídas.^{6,7,9} Aproximadamente el 5% de las caídas requieren de hospitalización, el 14% de admisiones a urgencias y el 40% de ingresos a instituciones geriátricas.^{8,10}

Entre los principales factores de riesgo de las caídas en esta población se encuentran la debilidad muscular, los problemas de equilibrio, las alteraciones en la marcha, la polifarmacia, los déficits visuales y la desnutrición. Las consecuencias pueden variar desde lesiones menores hasta fracturas graves y/o traumatismos craneoencefálicos.^{8,11,12} Aproximadamente el 13% de las personas entre 65 y 69 años tienen problemas de equilibrio, cifra que se eleva al 46% en los mayores de 85 años. Además, el 35% de los adultos mayores de 70 años tienen trastornos de la marcha, lo que incrementa significativamente la probabilidad de sufrir caídas.⁵

Las caídas representan un problema de salud pública urgente, no solo por sus consecuencias físicas y psicológicas, sino también por su impacto económico. Los costos asociados pueden alcanzar hasta el 1,5% del gasto total en salud, y las proyecciones demográficas sugieren que será necesario reducir las caídas en dos tercios para controlar los costos en los próximos años.^{8,10,13} La prevención de caídas es una prioridad sanitaria, y se ha demostrado que los programas de ejercicio son efectivos para mejorar la fuerza, el equilibrio y reducir el riesgo de caídas. Sin embargo, la baja adherencia a estos programas sigue siendo un desafío importante, lo que puede afectar su eficacia.⁵⁻⁷ En este contexto, la terapia de realidad virtual (TRV) ha surgido como una herramienta innovadora para aumentar la adherencia a los tratamientos y mejorar los resultados terapéuticos. Mediante la simulación de escenarios del mundo real y la retroalimentación sensorial (biofeedback), la TRV estimula el sistema nervioso, favoreciendo la regeneración y el rendimiento físico. Además, contribuye a mejorar la motivación del paciente, facilita la socialización y ayuda a reducir la sensación de soledad. Esta tecnología puede implementarse a través de computadoras, consolas de videojuegos y dispositivos móviles, permitiendo en algunos casos que la rehabilitación se realice en el propio hogar de la persona.^{1,2,5,6}

El Timed Up and Go Test (TUGT) es una prueba sencilla y eficaz para evaluar la movilidad y el riesgo de caídas en adultos mayores. Consiste en medir el tiempo que una persona tarda en levantarse de

una silla, caminar 3 metros, girar, regresar y sentarse. Su alta sensibilidad y especificidad (87%) la han convertido en una herramienta clave para predecir caídas. Según su fundador y otros autores, un tiempo $\leq 10 - 12$ segundos indica movilidad normal y autonomía en las actividades de la vida diaria.¹⁴⁻¹⁷ Sin embargo, su capacidad para descartar con precisión a quienes tienen bajo riesgo de caídas es limitada, con una especificidad del 32% según un metaanálisis reciente.¹⁴ Esta limitación se debe, en parte, a la falta de puntos de corte diferenciados por edad. Bohannon 2006, estableció valores de referencia según grupos etarios: 8.1 ± 1.3 segundos en personas de 60 a 69 años, 9.2 ± 1.4 segundos en personas de 70 a 79 años y 11.3 ± 1.9 segundos en personas de 80 a 99 años.¹⁸ Tiempos superiores a estos indican mayor riesgo de discapacidad y justifican intervenciones dirigidas a mejorar la fuerza, el equilibrio y la movilidad. Estudios posteriores^{15,19} han confirmado estos valores de referencia.

Diversas revisiones sistemáticas^{3,5,10} han analizado el impacto de la realidad virtual en la reducción del riesgo de caídas en adultos mayores, encontrando beneficios positivos. No obstante, hasta la fecha, estos estudios no han relacionado sus hallazgos con los rangos de edad medidos con el TUGT. Dado esto, el presente estudio busca realizar una revisión sistemática de la literatura existente para evaluar el impacto que tiene la realidad virtual en el TUGT para acercar los puntajes de adultos mayores que viven en la comunidad a rangos seguros de riesgo de caídas según la edad. Esto permitirá determinar si la realidad virtual puede ser una estrategia efectiva y adaptada a las necesidades específicas de cada grupo de edad.

Hipótesis

El uso de intervenciones basadas en realidad virtual mejora el desempeño en el Timed Up and Go Test de adultos mayores que viven en la comunidad, acercando sus puntajes a valores de referencia funcionales según su rango de edad y contribuyendo a la reducción del riesgo de caídas.

Objetivo

Evaluar, a través de una revisión de la literatura, el impacto de las intervenciones con realidad virtual sobre el rendimiento en el Timed Up and Go Test para acercar los puntajes de adultos mayores que viven en la comunidad, a valores de referencia funcionales y seguros para la edad, asociados a menor riesgo de caídas.

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática se llevó a cabo de acuerdo con las directrices y pautas establecidas en la Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), asegurando un proceso transparente y estructurado.^{20,21} Asimismo, se incluyeron de manera complementaria las directrices metodológicas sugeridas por Higgins et al. (2011) en el Manual Cochrane para Revisiones Sistemáticas de Intervenciones.²²

Estrategia de búsqueda y fuentes de datos

La búsqueda de literatura para esta revisión sistemática se realizó entre enero de 2015 y febrero de 2025 por un solo autor, en las siguientes bases de datos electrónicas: PubMed, Scopus, Google Scholar y Cochrane Library. Se realizaron revisiones de intervenciones para responder la siguiente pregunta de investigación: “¿Cómo influye la realidad virtual en el desempeño del Timed Up and Go Test y en la reducción del riesgo de caídas en adultos mayores que viven en la comunidad?”, formulada a través de la estrategia PICO: (1) Población, adultos mayores ≥ 60 años; (2) Intervención, programas de rehabilitación virtual para equilibrio; (3) Comparación, programas tradicionales u otros de rehabilitación física para equilibrio y (4) Outcome, equilibrio y riesgo de caídas medido con TUGT. Para la búsqueda, se utilizaron términos MeSH y palabras clave relacionadas con adultos mayores, realidad virtual y prevención de caídas. Estos términos se combinaron mediante los operadores booleanos AND y OR, ajustando la estrategia según los criterios de cada base de datos. La estrategia utilizada fue la siguiente: ("aged"[MeSH Terms] OR "elderly"[Title/Abstract] OR "older people"[Title/Abstract] OR "geriatrics"[Title/Abstract] OR "older adults"[Title/Abstract]) AND ("virtual reality"[MeSH Terms] OR "immersive virtual reality"[Title/Abstract] OR "virtual rehabilitation"[Title/Abstract] OR "virtual reality therapy"[Title/Abstract] OR "exergame"[Title/Abstract] OR "non immersive virtual reality"[Title/Abstract]) AND ("accidental falls"[MeSH Terms] OR "fall risk"[Title/Abstract] OR "fall prevention"[Title/Abstract] OR "falls"[Title/Abstract]). Las búsquedas se enfocaron en estudios con humanos y artículos de texto completo entre los años 2015-2025, sin aplicar filtros adicionales sobre idioma, acceso o disponibilidad.

Selección de estudios y criterios de elegibilidad

El investigador principal (MV) revisó cada título y resumen de los 658 artículos recopilados en la búsqueda bibliográfica luego de remover los duplicados. Se excluyeron 571 artículos dando como resultado 87 artículos potencialmente relevantes de ser seleccionados, los cuales se analizaron a texto completo, aplicando criterios de inclusión preestablecidos para finalmente elegir 13 artículos para su análisis y extracción de datos. Cualquier duda con respecto a los artículos se resolvieron por consenso con un segundo investigador (UC).

De acuerdo a los criterios de inclusión estos se definieron como: (1) Adultos mayores ≥ 60 años que vivieran en la comunidad; (2) Sin la presencia de patologías neurodegenerativas, alteración cognitiva, desordenes vestibulares, alteraciones musculo – esqueléticas u otras patologías agudas; (3) Programas de rehabilitación del equilibrio utilizando realidad virtual; (4) Evaluación del equilibrio y/o riesgo de caídas con TUGT; (5) Estudios que fueran de tipo ensayos clínicos controlados aleatorizados (ECA). Por otro lado se excluyeron: (1) Aquellos que incluyeran adultos mayores ≤ 60 años que no viven en la comunidad; (2) Incluyeran patologías neurodegenerativas, alteración cognitiva, desordenes vestibulares, alteraciones musculo – esqueléticas u otras patologías agudas; (3) No utilizaran rehabilitación con realidad virtual; (4) Artículos que no incluyeran la evaluación del equilibrio y/o riesgo de caídas con TUGT; (5) Artículos cuyo diseño fuera diferente al de los ECA.

Extracción de datos

Para cada estudio seleccionado dentro de esta revisión, se recopiló el nombre del autor y el año de publicación, el tipo de estudio, la población del estudio, los detalles de los grupos de intervención y de control, el procedimiento de intervención incluyendo el tipo de intervención en ambos grupos, la frecuencia y duración de las sesiones, el número de evaluaciones, las principales variables, los instrumentos de medición y los resultados pre y post intervención en ambos grupos. Los estudios incluidos debían involucrar al menos un grupo de adultos mayores ≥ 60 años, intervenciones con realidad virtual de cualquier tipo comparada con intervenciones convencionales, comparación del equilibrio pre y post intervención a través del TUGT y duración de la intervención por al menos 4 semanas. Toda esta información será resumida mediante una tabla comparativa según las características antes mencionadas para cada estudio.

Elementos de datos

Se extraerán los datos del TUGT incluyendo medias, desviaciones estándar (DE) y tamaño de muestra (n) en los grupos de intervención y control, tanto en la fase pre como post-intervención. La significancia estadística será evaluada utilizando los valores p reportados en cada estudio, considerando $p < 0.05$ como estadísticamente significativo. Cuando se reporten intervalos de confianza (IC), estos serán considerados complementariamente bajo un nivel de confianza del 95%, asumiendo este estándar cuando no se especifique.

Además del análisis estadístico, se considerará la relevancia clínica de los resultados en función de si los valores post intervención del TUGT se encuentran dentro de los rangos de referencia esperados según la edad, como indicador de movilidad funcional segura. Este criterio clínico permitirá contextualizar la efectividad de cada intervención no solo desde la significancia estadística, sino también desde su impacto en la funcionalidad y reducción del riesgo de caídas en adultos mayores según su edad.

Calidad de los estudios

El riesgo de sesgo de los estudios incluidos se evaluó utilizando la Herramienta de Colaboración Cochrane (RoB 2, versión 2019), la cual proporciona un marco para considerar el RoBias dentro de los hallazgos de cualquier tipo de ensayo aleatorizado, a través del análisis de cinco dominios: Dominio 1. Proceso de aleatorización, Dominio 2. Desviación de las intervenciones previstas, Dominio 3. Falta de datos de resultados, Dominio 4. Medición de resultados y Dominio 5. Selección de los resultados informados. Luego se evaluó el posible riesgo de sesgo de la información extraída y se calificaron los ítems como bajo riesgo cuando estaban claramente descritos y eran adecuados; alto riesgo cuando no se adoptaban o eran inadecuados; y poco claros cuando no estaban claramente descritos o faltaban en el texto²³. El investigador principal fue el encargado de evaluar el riesgo de sesgo de los artículos seleccionados y si habían discrepancias en la puntuación, se determinó el acuerdo y consenso mediante discusión con el segundo investigador. Los resultados obtenidos en cada estudio y en conjunto se presentarán a través de la Figura 2A y 2B, donde se visualizarán las categorías de sesgo evaluadas, clasificadas en riesgo bajo, incierto o alto, según los criterios establecidos por la herramienta²³.

Síntesis de resultados

Dado que esta revisión no incluyó metaanálisis, se optó por una síntesis narrativa de los hallazgos. Se analizaron los cambios en el TUGT pre y post intervención dentro de cada grupo y entre grupos, considerando tanto la significancia estadística como la relevancia clínica con base en los valores de referencia esperados según edad. Además, como estrategia para explorar posibles fuentes de heterogeneidad, se agruparon y compararon los estudios en función del tipo de realidad virtual utilizada, el entorno de aplicación, la duración de las intervenciones y las características de la población. Esta agrupación permitió identificar patrones diferenciales en la dirección y magnitud de los efectos observados.

Medidas de efecto y análisis clínico

La medida de efecto principal fue la diferencia de medias en el desempeño del TUGT antes y después de la intervención, comparada con el grupo control cuando aplicaba. Se consideró clínicamente relevante que los valores post intervención del TUGT se encontraran dentro de los rangos de referencia funcional por edad, siguiendo lo propuesto en estudios normativos recientes. La combinación de significancia estadística ($p < 0.05$) y adecuación a los rangos funcionales fue empleada para interpretar el impacto terapéutico de las intervenciones.

RESULTADOS

Selección de estudios

El proceso de selección de estudios se resume en la Figura 1 a través de un diagrama de flujo. En total, se identificaron 734 registros a través de 4 bases de datos electrónicas: Pubmed, Cochrane Library, Scopus y Google Scholar. Tras eliminar 76 duplicados, se sometieron a un primer proceso de cribado 658 registros, mediante la revisión de títulos y resúmenes, excluyendo a 571 artículos con títulos y resúmenes no relevantes para el estudio. Se evaluó la elegibilidad de 87 artículos a texto completo de los cuales 74 de ellos fueron excluidos luego de aplicar los criterios de inclusión. Finalmente, 13 estudios cumplieron con todos los criterios de inclusión y fueron incluidos en la revisión sistemática. Ningún registro fue excluido mediante herramientas de automatización sino que fue realizado bajo el criterio y concordancia de 2 investigadores de manera manual.

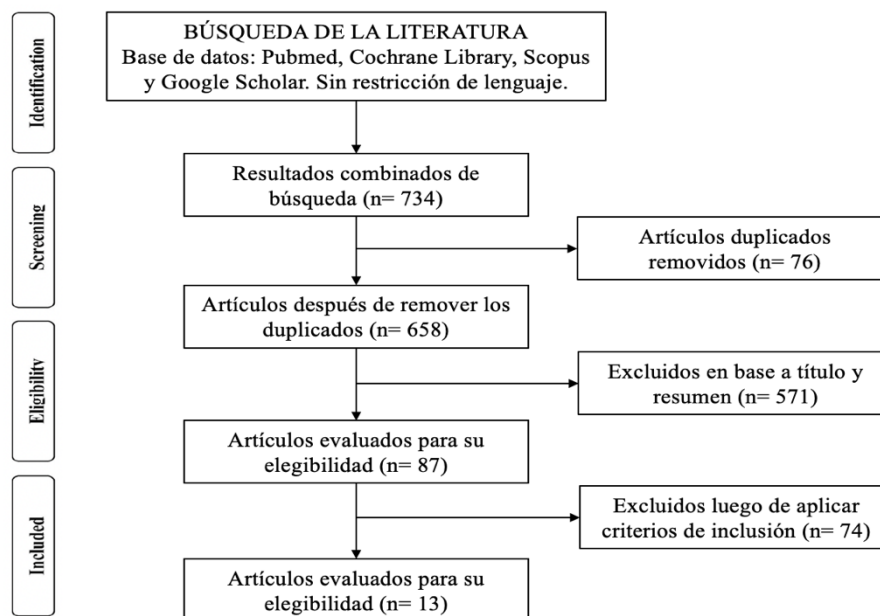


Figura 1. Diagrama de flujo

Riesgo de sesgo dentro de los estudios

La evaluación del riesgo de sesgo mediante la herramienta RoB 2 evidenció que la mayoría de los estudios incluidos presentaron una puntuación de riesgo bajo en la mayoría de los dominios analizados.

En particular, en el dominio 2 (desviación de las intervenciones previstas), el 100% de los estudios fueron clasificados con riesgo bajo, lo que indica una correcta implementación de los protocolos y ausencia de desviaciones críticas, reforzando así la validez interna de los ensayos y facilitando comparaciones fiables entre ellos. Respecto al dominio 1 (proceso de aleatorización), el 53,8% de los estudios cumplieron adecuadamente con la aleatorización y el cegamiento, clasificándose como de riesgo bajo. El 46,2% restante presentó riesgo incierto, debido principalmente a la falta de información sobre el ocultamiento de la asignación²⁴⁻²⁸, mientras que un estudio fue clasificado con alto riesgo.²⁹ De acuerdo con el dominio 3 (falta de datos de resultados) el 61,5% fue clasificado como bajo riesgo de sesgo, mientras que cinco estudios^{25,26,28,30,31} presentaron riesgo incierto. Para la medición de los resultados (dominio 4) el 69,2% de los estudios obtuvieron un bajo riesgo de sesgo, y el 30,8% restante mostró riesgo incierto.^{24,25,27,31} Finalmente para el dominio 5 (selección de los resultados informados), el 84,6% de los estudios obtuvieron una clasificación de riesgo bajo, siendo este el segundo dominio con mejor puntuación. Solo dos estudios^{28,29} fueron clasificados como de riesgo incierto (Figura 2A).

Riesgo de sesgo entre los estudios

En el análisis del proceso de aleatorización (dominio 1) fue donde se mostró la mayor heterogeneidad, con 7 de 13 estudios clasificados con bajo riesgo, ya que utilizaron métodos adecuados de asignación aleatoria, cegamiento y no mostraron desequilibrios importantes entre grupos al inicio del estudio, mientras que de los estudios restantes seis fueron clasificados como riesgo de sesgo incierto y alto por falta de claridad sobre si la asignación fue adecuadamente ocultada. Por un lado, Karahan et al. (2015)²⁴ usó “lanzamiento de moneda” como método de asignación, pero no explicó cómo se implementó ni si fue ocultado al personal del estudio; y Lazar et al. (2023)²⁵ aplicó un sorteo (“lot method”), sin describir cómo se realizó ni si se evitó que el personal influyera en la asignación. El resto de los estudios no menciona el ocultamiento de la asignación, sin embargo, utilizaron procedimientos de intervención bien definidos, medidas validadas, y reportaron completa y transparentemente los resultados, incluyendo tanto hallazgos significativos como no significativos, incluso uno de ellos se encuentra registrado en ClinicalTrials.gov lo que aporta evidencia de transparencia en la planificación del ensayo.^{26–28} Finalmente 1 estudio fue clasificado como alto riesgo de sesgo, ya que asignó a los participantes por orden de llegada y sin hacer cegamiento de asignación a los autores.²⁹

Para la falta de datos de resultados (dominio 3), ocho estudios fueron clasificados como bajo riesgo, mientras que los cinco estudios restantes^{25,26,28,30,31} presentaron riesgo incierto por pérdidas moderadas y falta de análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de ellas.

Finalmente, en relación con el dominio 5, que evalúa la selección de los resultados informados, 11 estudios fueron clasificados como de bajo riesgo de sesgo. No obstante, 2 estudios^{28,29} presentaron riesgo incierto. Uno de ellos carecía de pre-registro, no proporcionaba un protocolo que permitiera verificar la especificación previa de los desenlaces y, además, presentaba deficiencias en la aleatorización del estudio.²⁹ El otro estudio incorporó una medida agregada de resultado después del registro del ensayo, la cual fue posteriormente considerada como el desenlace principal.²⁸ La representación gráfica de los sesgos entre los estudios se muestra en la Figura 2B.

Aunque el estudio de Sapi et al. (2019)²⁹ reporta el uso de un método de aleatorización y cegamiento (dominio 1), no cumple con los criterios metodológicos para ser considerado un ECA, ya que la asignación a los grupos se realizó por orden de llegada, lo cual no constituye un método aleatorio válido. Además, no se implementó un adecuado ocultamiento de asignación a los investigadores.

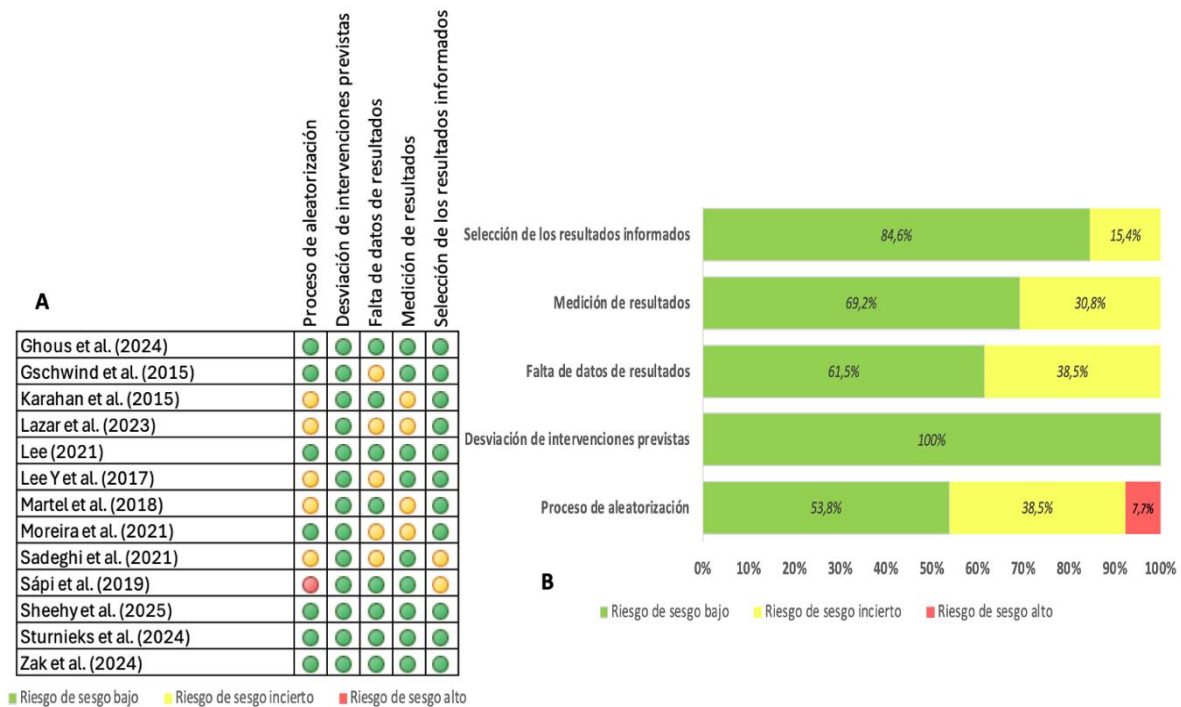


Figura 2. A, Riesgo de sesgo dentro de los estudios. B, Riesgo de sesgo entre los estudios.

Por estas razones, se decidió excluir este estudio del análisis, con el fin de preservar la rigurosidad metodológica de la revisión sistemática, quedando finalmente 12 estudios incluidos en el análisis final.

Descripción de estudios incluidos

La Tabla 1, resume las características de los 12 estudios incluidos en esta revisión sistemática. Se detallan las características sociodemográficas de los participantes, tipo de realidad virtual utilizada, protocolo de intervención y grado de adherencia, medidas de resultados y principales resultados estadísticos del TUGT. Todos los estudios incluidos se publicaron entre los años 2015 y 2025, siendo en su totalidad ensayos controlados aleatorizados. De los 12 estudios seleccionados, 5 (41,7%) se realizaron en Asia^{25,26,28,32,33}, 2 (16,7%) en América del Norte^{27,34}, 1 (8,3%) en Latinoamérica³¹, 2 (16,7%) en Oceanía^{30,35}, 1 (8,3%) en Europa³⁶ y 1 (8,3%) en Asia/Europa.²⁴ El 66,67% de los estudios (n= 8) llevaron a cabo las intervenciones en un único lugar. De estos, tres se realizaron en el domicilio o residencia de los participantes^{25,30,35}, cuatro en centros comunitarios^{26,28,33,36} y uno en un laboratorio clínico universitario³¹ siendo estos lugares donde los participantes debían asistir presencialmente. En contraste, el 33,33% restante implementó las intervenciones en múltiples ubicaciones, dividiendo a los participantes según el entorno. En este grupo, se combinaron un

centro de rehabilitación hospitalaria con el domicilio²⁴ ;hospital docente y centro comunitario³² ;sede comunitaria y domicilio²⁷; y domicilio con residencia.³⁴

Características de los participantes

El tamaño de la muestra de los estudios incluidos varió entre 28³² y 769³⁵ participantes sumando un total de 1452 adultos mayores analizados. Del total, 966 (66,5%) fueron mujeres y 490 (33,7%) hombres, destacando que 3 estudios incluyeron exclusivamente mujeres^{27,31,36} y 1 exclusivamente a hombres.²⁸ El tamaño muestral promedio de los estudios incluidos fue de 121 participantes, con una mediana de 60 participantes. Cabe mencionar que dos estudios, Sturnieks et al. (2024)³⁵ y Gschwind et al. (2015)³⁰, presentaron tamaños muestrales notablemente superiores al promedio del conjunto con 769 y 124 participantes respectivamente. Las muestras incluyeron participantes sanos residentes en la comunidad, de 60 años o más, con una edad media de $73,93 \pm 5,48$ años.

Si bien los participantes en los estudios seleccionados tenían buena salud y sin patologías agudas presentes, 8 estudios incluyeron datos extras sobre problemas de equilibrio, historial de caídas previas o riesgo de caer. Por otro lado, hubo un estudio que reclutó a participantes que fueron dados de alta tras acudir al servicio de urgencias por lesiones de carácter leve como contusiones, esguinces, fracturas, heridas u otras.²⁷

Características de la intervención

En los 12 estudios incluidos en esta revisión, se identificaron dos tipos de realidad virtual utilizadas como estrategia de intervención: no inmersiva e inmersiva. La modalidad más frecuente fue la RV no inmersiva, empleada en el 73,33% de los estudios. Dentro de esta modalidad, la tecnología más empleada fue la Xbox 360⁹ Kinect, con programas como Your Shape: Fitness Evolved y Kinect Sports & Adventures, le siguieron la Nintendo Wii Fit, Jintronix[®] con Microsoft Kinect[®], Step Mat Training con Microsoft Kinect[®], Virtual Active[™]: BitGym y Smart±Step, siendo esta última creada y probada en estudios pilotos previos por los mismos autores. Además el estudio de Sturnieks et al. (2024)³⁵ utilizó este tipo de realidad virtual junto a entrenamiento cognitivo-motor sentado y de pie. Por su parte, la RV inmersiva fue utilizada en los estudios de Lazar et al. (2023)²⁵ y Zak et al. (2024)³⁶ a través de las tecnologías Oculus Quest 2 y Carl Zeiss VR ONE plus-ZEISS[®]: VR Maze Walk Journey respectivamente, siendo este último utilizado junto a entrenamiento cognitivo-motor con doble tarea.

Todos los estudios incluidos contaron con al menos un grupo de intervención que utilizó RV como herramienta terapéutica. En cuanto al diseño comparativo, 7 estudios (58,3%) incluyeron un grupo control con ejercicios convencionales, donde dos de estos estudios contaban con más de dos brazos de intervención: El estudio de Martel et al. (2018)²⁷ tenía tres brazos: grupo con RV Jintronix®, grupo con ejercicios tradicionales y grupales (YMCA) y un grupo control sin intervención; y el estudio de Sadeghi et al. (2021)²⁸ se realizó con 4 brazos: un grupo de balance training, otro que uso realidad virtual, un tercer grupo mixto que combinaba ambas terapias y un último grupo control sin intervención. Por otro lado, 4 estudios (33,3%) utilizaron un grupo control sin tratamiento directo o con intervención mínima como folletos educativos, y de estos, dos estudio compararon distintas realidad virtual no inmersiva donde uno de ellos utilizo una tecnología creada por los autores a la cual le sumaron un componente cognitivo-motor.^{30,35} Finalmente, 1 estudio utilizó una cinta caminadora para comparar como influía el utilizarla con y sin el uso de realidad virtual.²⁷

Duración y frecuencia de la intervención

La frecuencia de las intervenciones con realidad virtual en los estudios incluidos varió entre 2 y 5 sesiones por semana, con una media de 3,4 sesiones semanales en 11 de los estudios, mientras que el estudio de Sturnieks et al. (2024)³⁵ indicó a los participantes realizar entre 120-150 minutos de entrenamiento a la semana con un promedio de 79,7 minutos a la semana de cumplimiento. La duración de cada sesión osciló entre 20 y 60 minutos para diez de los estudios, mientras que los dos estudios restantes tuvieron diferencias en cuanto a solicitar realizar las sesiones entre 60-180 minutos³⁰ y 120-150 a la semana.³⁵ De acuerdo a la duración total de los programas, esta fluctuó entre 4 a 16 semanas, con una media de 8,5 semanas lo que se adecua al tiempo recomendado para esta población considerando la perdida de interés y adherencia que pueden generar terapias muy extensas.⁵ Por otro lado, respecto al seguimiento posterior a la intervención, solamente el 25% de los estudios reportó evaluaciones tras finalizar el programa: Sturnieks et al. (2024)³⁵ realizó seguimiento durante un año evaluando la tasa de caídas; Sheehy et al. (2025)³⁴ un mes después de la intervención evaluó nuevamente función física con TUGT y Berg Balance Test (BBS), calidad de vida, entre otros datos; y finalmente Zak et al. (2024)³⁶ tres semanas después recolectó datos del TUGT y BBS.

Medidas de resultados

Todos los estudios utilizaron el Timed Up and Go Test como medida de resultado para evaluar la movilidad funcional y el riesgo de caídas en adultos mayores a través del equilibrio dinámico. En 10 estudios, el TUGT fue considerado como una de las medidas de resultado principales, mientras que en los 2 restantes^{28,35} se utilizó como medida secundaria junto a escalas de equilibrio estático y dinámico, velocidad de la marcha, fuerza muscular, handgrip, miedo a caer, desempeño cognitivo, propiocepción, flexibilidad, calidad de vida, entre otros. Dentro de las herramientas más frecuentes para evaluar la función física y caídas se encontraron: Berg Balance Scale (BBS), Short Physical Performance Battery (SPPB), Sit to Stand Test (STS), One Leg Standing (OLS), Falls Efficacy Scale-International (FES-I), velocidad de marcha y balance postural. Esto sugiere una tendencia a evaluar el impacto multifactorial de las intervenciones con RV sobre el riesgo de caídas, aunque el TUGT se mantuvo como herramienta clave para la medición de la movilidad funcional y equilibrio dinámico.

De acuerdo con los estudios analizados, el TUGT se aplicó siguiendo el protocolo tradicional: una distancia de 3 metros, de forma presencial y bajo la supervisión de un terapeuta capacitado. La prueba consistió en medir el tiempo que el participante tardaba en levantarse de una silla, caminar tres metros, girar, regresar y volver a sentarse.³⁷ Solo un estudio (Zak et al., 2024)³⁶ empleó una variante con tarea dual, incorporando una tarea cognitiva (contar hacia atrás a partir de un número aleatorio) y una motora (transportar un vaso con agua) durante la realización de la prueba.

Al analizar el impacto de las intervenciones con realidad virtual en el desempeño del TUGT, se observó heterogeneidad en los resultados en términos de significancia estadística y relevancia clínica según los valores de referencia esperados por edad. De los 12 estudios incluidos, el 58.3% cumplió con los valores de referencia establecidos según el rango etario para el TUGT. Tres estudios no alcanzaron el umbral funcional esperado y dos se situaron muy cerca, sin cumplirlo estrictamente.

En el estudio de Ghous et al. (2024)³², se obtuvo un valor post intervención de 11.33 ± 1.23 seg en el grupo de intervención ($p=0.001$), lo que representa una mejora estadísticamente significativa frente al valor basal de 19.33 ± 1.3 seg, aunque no logró alcanzar el valor de referencia funcional por edad (8.1 ± 1.3 seg) con una media de 66.8 años. Por su parte, Lazar et al. (2023)²⁵ reportó un valor TUGT post intervención de 16.54 ± 1.71 seg, frente a 18.63 ± 1.32 seg en la evaluación basal ($p=0.288$), sin alcanzar significancia estadística ni el umbral clínico funcional. De forma similar, en el estudio de

Zak et al. (2024)³⁶ el grupo de intervención pasó de 14.02 ± 1.66 seg a 12.60 ± 1.34 seg ($p= 0.001$), con una reducción significativa del 10.1%, aunque sin lograr el valor funcional esperado considerando la media de edad de 76.7 años.

Dos estudios se ubicaron en un rango limítrofe. Lee (2021)³³ reportó en el grupo de intervención una reducción de 13.24 ± 5.91 seg a 11.92 ± 5.42 seg ($p= 0.002$), lo que indica una mejora significativa, aunque no se alcanzó completamente el valor de referencia (11.3 ± 1.9 seg para ≥ 80 años). Gschwind et al. (2015)³⁰ comparó dos tecnologías de RV no inmersiva: Step Mat Training (GI1) y Microsoft Kinect® (GI2) con un grupo control (GC) que utilizó un folleto educativo sobre riesgo de caídas. En el grupo GI1, el TUGT se redujo de 11.5 ± 3.5 seg a 11.1 ± 3.3 seg, lo que se encuentra dentro del rango funcional esperado para adultos mayores de ≥ 80 años (11.3 ± 1.9 seg). En el grupo GI2, la reducción fue de 11.5 ± 3.1 a 11.5 ± 2.6 seg, manteniéndose muy cerca del umbral funcional pero sin alcanzarlo estrictamente. Aunque el valor p intragrupo no fue reportado, las diferencias intergrupo tampoco alcanzaron significancia estadística (GI1-GC: $p= 0.190$; GI2-GC: $p= 0.848$).

En contraste, cinco estudios^{24,26-28,31} cumplieron con ambos criterios definidos en la metodología: valores del TUGT dentro del rango funcional esperado por edad y mejoras estadísticamente significativas post intervención (valores $p < 0.05$). En todos los casos, los tiempos post intervención se situaron por debajo del umbral clínico de 9.2 ± 1.4 seg ya que la media de edad de los participantes estaba sobre 70 años, lo que refuerza la validez funcional de los cambios observados. Adicionalmente, dos estudios^{34,35} mostraron mejoras clínicamente relevantes en el TUGT, pero no reportaron valores p significativos, por lo que deben interpretarse con cautela.

Tabla 1. Extracción de datos de los estudios incluidos.

Estudio	Diseño de estudio / Entorno	País/Región	Tipo de pacientes	Muestra (N reclutado; analizado/edad promedio ± DE/sexo/adherencia %)	Tipo de realidad virtual	Protocolo de intervención (n=participantes) / Duración de intervención	Medidas de resultados generales	Resultados TUGT (media ± DE; [IC 95%])	Valor p intergrupo [IC 95%]	Valor p intragrupo RV
Martel et al. (2018)	ECA paralelo / Domicilio (RV) y Sede comunitaria (YMCA)	Canadá (América del Norte)	Adultos mayores (65+ años) dados de alta en urgencias post-lesión menor	48; 44 / 73.5 ± 6.8 años / F: 48 - M: 0 / ±94%	RV no inmersiva (Jintronix® + Cámara Kinect)	GI: Jintronix® (n=16) / GI2: ejercicios grupales comunitarios (YMCA) (n=16) / GC: sin intervención (n=12) / 2x/sem, 55 min, 12 semanas	Medidas principales: SPPB, TUGT, OLS, Handgrip, ABC. Medidas secundarias: MoCA, SOF, cuestionario de estado de salud	GI1 pre: 11.09 ± 3.76 seg, post: 8.57 ± 1.69 seg; GI2 pre: 10.41 ± 2.45 seg, post: 8.73 ± 1.76 seg; GC pre: 12.95 ± 0.92 seg, post: 12.14 ± 3.9 seg	p= 0.15 (GI1 - GC) / p= 0.60 (GI1 - GI2)	p= 0.001
Lee (2021)	ECA paralelo / Centro comunitario (ambos grupos)	Corea del Sur (Asia)	Adultos mayores (65+ años) con > 1 caída el último año	56; 56 / 80.2 ± 6.5 años / F: 25 - M: 31 / >80%	RV no inmersiva (Virtual Jintronix® + BitGym)	GI: caminata en cinta con BitGym® (n=28) / GC: caminata en cinta sin RV (n=28) / 5x/sem, 50 min, 4 semanas	Medidas principales: BBS, TUGT, FRT, OLS. Medidas secundarias: OptoGait	GI pre: 13.24 ± 5.91 seg, post: 11.92 ± 5.42 seg; GC pre: 12.55 ± 4.48 seg, post: 12.33 ± 4.86 seg	p= 0.002	p= 0.000
Ghous et al. (2024)	ECA paralelo / Hospital docente y Centro comunitario (ambos grupos)	Pakistán (Asia)	Adultos mayores (60-75 años) con 1-2 caídas el último año y riesgo intermedio de caídas	28; 28 / 66.82 ± 3.4 años / F: 10 - M: 18 / 100%	RV no inmersiva (Nintendo Wii Fit Plus)	GI: Wii Fit Plus (n=14) / GC: ejercicios convencionales (n=14) / 3x/sem, 30 - 40 min, 8 semanas	TUGT, DGI, MoCA, SF-12	GI pre: 19.33 ± 1.3 seg, post: 11.33 ± 1.23 seg; GC pre: 19.75 ± 1.42 seg, post: 14.41 ± 1.56 seg	p= 0.001	p= 0.001
Lazar et al. (2023)	ECA paralelo / Residencia (ambos grupos)	India (Asia)	Adultos mayores (60+ años), sin >2 caídas últimos 6 meses y con riesgo intermedio de caídas	49; 44 / 67.89 ± 6.6 años / F: 12 - M: 32 / ± 88%	RV inmersiva (Oculus Quest 2)	GI: Oculus Quest 2 (n=22) / GC: ejercicios convencionales (n=22) / 3x/sem, 35 min, 4 semanas	BBS, TUGT, MDRT, FES-I	GI pre: 18.63 ± 1.32 seg, post: 16.54 ± 1.71 seg; GC pre: 18.68 ± 2.27 seg, post: 17.27 ± 2.62 seg	p= 0.288	p= 0.080
Sa deghi et al. (2021)	ECA paralelo / Centro comunitario (ambos grupos)	Irán (Asia)	Hombres mayores (65+ años), sin experiencia en BT o VR últimos 6 meses	64; 64 / 71.8 ± 5.9 años / F: 0 - M: 64 / >90%	RV no inmersiva (Xbox Kinect) / 360° Kinect: Your Shape Fitness y Sports & Adventures	GBT: ejercicios convencionales (n=16) / GRV: Xbox Kinect (n=16) / GMIX: GBT + GRV (n=16) / GC: sin intervención (n=16) / 3x/sem, 40 min, 8 semanas	Medidas principales: fuerza muscular isométrica. Medidas secundarias: TUGT, SLST, TST, 10mWT	GBT pre: 10.8 ± 1.6 seg, post: 9.3 ± 1.3 seg [0.82-2]; GRV pre: 10.4 ± 1.2 seg, post: 7.9 ± 1.3 seg [2.0-3.1]; GMIX pre: 11.6 ± 1.2 seg, post: 6.4 ± 1.3 seg [4.7-5.7]; GC pre: 11.6 ± 0.9 seg, post: 11.9 ± 0.8 seg [-0.5-0.1]	p= 0.001	No reportado
Stumieks et al. (2024)	ECA paralelo / Domicilio (ambos grupos)	Australia (Oceanía)	Adultos mayores (65+ años)	769; 769 / 72.6 ± 5.6 años / F: 549 - M: 220 / ±58%	RV no inmersiva (Juego SmartStep)	GI1: CMP con SmartStep (n=252) / GI2: CMS con SmartStep (n=262) / GC: folleto educativo (n=255) / 120-150 min/sem, 12 meses	Principales: Tasa de caídas al año. Secundarias: SPPB, TUGT, Marcha con doble tarea, balance postural, etc.	GI pre: 8.1 ± 1.9, post: 7.8 ± 1.8; GC pre: 8.2 ± 1.9, post: 8.0 ± 1.9; [-0.7-0.4]	p > 0.05 [-0.7 - 0.4]	No reportado

ECA: estudio controlado aleatorizado; RHB: rehabilitación; F: femenino; M: masculino; RV: realidad virtual; SMT: Step Mat Training; GC: grupo control; GI: grupo intervención; x/sem: veces por semana; CMP: cognitivo-motor de pie; CMS: cognitivo-motor sentado; DTCM: doble tarea cognitivo-motora; BBS: Berg Balance Scale; SPPB: Short Physical Performance Battery; ABC: Activities Specific Balance Confidence; TUGT: Test Timed up and go; 6MWT: 6 minute walk test; SF-36: Short Form Health Survey 36; FES-I: Falls Efficacy Scale International; OLS: One Leg Stance; 10mWT: 10 minute walk test; COM: Center of Mass displacement; FRT: Functional Reach Test; GBT: grupo balance training; GRV: grupo realidad virtual; GMIX: grupo mixto; d= Effect Size (Cohen's); TUG COG: Test Timed up and go cognitive; TUG MAN: Test Timed up and go manual; SLST: Single Leg Stance Examination; DBDSQ: Dizziness and Balance Disorders Screening Questionnaire; FTST: Five Times Sit to Stand; QuickDASH: Quick form of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire; MoCA: Montreal Cognitive Scale; SF-12: Short Form Health Survey 12; SOF: Study of Osteoporosis Fractures; MDRT: Multidirectional reach test; EEI: extremidades inferiores; PPA: Physiological Profile Assessment; TST: Tandem Stance Test; FRAQ: Falls Risk Awareness Questionnaire; Seg: segundos.

Tabla 1. Extracción de datos de los estudios incluidos (continuación).

Estudio	Diseño de estudio / Entorno	País/Región	Tipo de pacientes	Muestra (N reclutado; analizado/edad promedio ± DE/sexo/adherencia %)	Protocolo de intervención (n=participantes) / Duración de intervención	Medidas de resultados generales	Resultados TUGT (media ± DE/[IC 95%])	Valor p intergrupo [IC95%]	Valor p intragrupo TUG-RV
Sheehy et al. (2025)	ECA paralelo / Domicilio y Residencia (ambos grupos)	Canadá (América del Norte)	Adultos mayores (65+ años) con residencia propia y en centros de larga estancia	47; 47 / 78.5 ± 7.1 años / F: 32 - M: 15 / ±68%	RV no inmersiva (Jmtronix + Cámara Kinect) intervención (n=23) / 3-5x/sem, 20-30 min, 8 semanas	BBS, FRT, FTSTS, TUGT, FAI, QuickDASH	GI pre: 8.9 [5.9, 11.8], post: 8.4 [5.5 - 11.2], post. 1 mes: 8.6 [5.5 - 11.7]; GC pre: 12.2 (4.5 - 19.9), post: 9.9 (3.6 - 16.2), post. 1 mes: 9.4 (3.8 - 15.0)	p=0.51	No reportado
Zak et al. (2024)	ECA paralelo / comunitario (ambos grupos)	Polonia (Europa)	Mujeres mayores (75+ años) con riesgo intermedio de caídas	80; 80 / 76.7 ± 2.0 años / F: 80 - M: 0 / 100%	RV inmersiva (Carl Zeiss VR ONE plus ZEISS®: VR Maze Walk Journey) ejercicios OTAGO (n=40) / 3x/sem, 60 min, 6 semanas	BBS, FES-I, TUGT, TUG COG, TUG MAN, SLST, MMSE, DBDSQ	GI pre: 14,02 ± 1,66, post: 12,6 ± 1,34; GC pre: 13,45 ± 1,06, post: 11,35 ± 1,09	p=0.001	p<0.001
Gschwind et al. (2015)	ECA paralelo / Domicilio (ambos grupos)	Australia (Oceania)	Adultos mayores (65+ años)	147; 124 / 81.0 ± 6.6 años / F: 82 - M: 42 / ±70%	GI: Microsoft-Kinect - GI (n=29); GC (n=28) / G2: SMT - GI (n=47); Mat Training y Microsoft Kinect® / GC (n=44) / GC: folleto educativo / 3-5 x/sem, 60-180 min/sem, 16 semanas	PPA, TUGT, Propiocepción, FTSTS, fuerza EEI, balance postural, etc.	GI1 pre: 11.5 ± 3.5, post: 11.1 ± 3.3; GI2 pre: 11.5 ± 3.1, post: 11.5 ± 2.6; GC pre: 12.4 ± 3.7, post: 12.6 ± 4.4	GI1-GC: p=0.190 / GI2-GC: p=0.848	No reportado
Lee Y et al. (2017)	ECA paralelo / comunitario (ambos grupos)	Corea del Sur (Asia)	Adultos mayores (65+ años)	44; 40 / 75.9 ± 4.7 años / F: 23 - M: 17 / ±95%	RV no inmersiva (Nintendo Wii Fit + gafas 3D) sesiones de educación para prevención de caídas (n=19) / 2x/sem, 60 min, 6 semanas	FES-I, Gait Speed, TUGT, OLS, FTSTS, FRT	GI pre: 9.92 ± 1.8, post: 8.32 ± 1.34; GC pre: 10.26 ± 1.20, post: 10.23 ± 1.38	p < 0.001	No reportado
Karahan et al. (2015)	ECA paralelo / Hospital - RHB comunitaria (RV) y Domicilio (GC)	Turquía (Asia/Europa)	Adultos mayores (65+ años) que no hicieran ejercicio regularmente	100; 90 / 71.4 ± 5.4 años / F: 39 - M: 51 / ±90%	GI: Xbox Kinect (n=48) / GC: ejercicios convencionales (n=42) / 5x/sem, 30 min, 6 semanas	BBS, TUGT, SF-36, Escala de disfrute	GI pre: 8.70 ± 1.71, post: 8.04 ± 1.647; GC pre: 8.69 ± 1.70, post: 8.60 ± 1.83	p = 0.090	p < 0.001
Moreira et al. (2021)	ECA paralelo / Laboratorio clínico universitario	Brasil (La tinoamérica)	Adultos mayores (60+ años) clasificados como pre-frágiles	99; 66 / 70.8 ± 5.1 años / F: 66 - M: 0 / ±82%	RV no inmersiva (Xbox 360º Kinect "Your Shape™, Fitness Evolved) ejercicios convencionales (n=34) / 3x/sem, 50 min, 12 semanas	FES-I, SPBB, FRT, TUGT, FRAQ, MMSE, Handgrip, FTSTS, Gait Speed, etc.	GI pre: 10.66 ± 2.31, post: 8.62 ± 1.52; GC pre: 10.65 ± 2.17, post: 8.46 ± 1.42	Reportado por delta y d. GI: d= 1.06 / GC: d= 1.21 [Efecto alto]	p < 0.005

ECA: estudio controlado aleatorizado; RHB: rehabilitación; F: femenino; M: masculino; RV: realidad virtual; SMT: Step Mat Training; GC: grupo control; GI: grupo intervención; x/sem: veces por semana; CMP: cognitivo-motor de pie; CMS: cognitivo-motor sentado; DTCM: doble tarea cognitivo-motor; BBS: Berg Balance Scale; SPBB: Short Physical Performance Battery; ABC: Activities Specific Balance Confidence; TUGT: Test Timed up and go; 6MWT: 6 minute walk test; SF-36: Short Form Health Survey 36; FES-I: Falls Efficacy Scale International; OLS: One Leg Stance; 10mWT: 10 minute walk test; COM: Center of Mass displacement; FRT: Functional Reach Test; GBT: group balance training; GRV: grupo realidad virtual; GMIX: grupo mixto; d= Effect Size (Cohen's); TUG COG: Test Timed up and go cognitive; TUG MAN: Test Timed up and go manual; SLST: Single Leg Stance Examination; DBDSQ: Dizziness and Balance Disorders Screening Questionnaire; FTSTS: Five Times Sit to Stand; QuickDASH: Quick form of the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand questionnaire; FAI: Frenchay Activities Index; MoCA: Montreal Cognitive Scale; SF-12: Short Form Health Survey 12; SOF: Study of Osteoporosis Fractures; MDRT: Multidirectional reach test; EEI: extremidades inferiores; PPA: Physiological Profile Assessment; TST: Tandem Stance Test; FRAQ: Falls Risk Awareness Questionnaire; Seg: segundos.

DISCUSIÓN

El propósito de esta revisión sistemática fue sintetizar la evidencia de los estudios disponibles sobre el impacto de las intervenciones con realidad virtual sobre el rendimiento en el Timed Up and Go Test, y en qué medida logran acercar los puntajes de adultos mayores que viven en la comunidad a valores de referencia funcionales y seguros para la edad, asociados a menor riesgo de caídas. Se incluyeron un total de 12 estudios en esta revisión, de los cuales el 100% informaron efectos positivos en cuanto a lograr reducir el puntaje del TUGT posterior a la intervención y, por consecuencia, mejoras en el riesgo de caídas. Esto resulta clínicamente relevante como lo expone Neri et al. (2017) en su revisión sistemática mencionando que se considera que por cada segundo adicional en el TUGT, el riesgo de caídas puede aumentar entre un 2-9% en adultos mayores⁶. Además, esta prueba ha sido ampliamente utilizada y recomendado por guías geriátricas internacionales tal como lo respaldan diversos estudios. Se considera una herramienta eficaz de cribado para el riesgo de caídas, debido a su simplicidad, bajo coste, rápida aplicación y aceptable confiabilidad interevaluador^{16,17,38}

A diferencia de otras revisiones sistemáticas que han evaluado el impacto general de la realidad virtual sobre el equilibrio de adultos mayores con alteraciones sensoriales o patologías neurológicas, esta revisión se centró exclusivamente en adultos mayores sanos que viven en la comunidad, sin condiciones que comprometan directamente su movilidad funcional. Sumado a ello, lo novedoso de este trabajo radica en la integración del análisis de los valores del TUGT pre y post intervención en comparación con los valores normativos por edad, lo que permite valorar no solo la significancia estadística de los cambios, sino también su relevancia clínica. Además, se incorporó un enfoque comparativo según el tipo de RV, contexto de aplicación y tasas de adherencia, aspectos que no han sido abordados de forma conjunta en revisiones previas. La perspectiva adoptada en este estudio ofrece un marco más específico y contextualizado, que contribuye a formular recomendaciones prácticas para la implementación de estas tecnologías en entornos reales de atención geriátrica y comunitaria.

Estos hallazgos sugieren que el TUGT es una herramienta clave para evaluar la movilidad funcional en adultos mayores, incluso en intervenciones con tecnologías emergentes como la RV, tal como señalan diversos autores.^{6,17} Si bien hubo heterogeneidad en los resultados, una tendencia general mostró mejoras significativas post intervención en la mayoría de los estudios. Los mejores resultados

se observaron en intervenciones de al menos seis semanas, aplicadas en adultos mayores funcionalmente independientes y con tareas, a través de la realidad virtual, centradas en la marcha y el equilibrio dinámico.

En los estudios que cumplieron con los criterios funcionales y estadísticos definidos, se identificaron elementos metodológicos comunes que probablemente contribuyeron a su efectividad. Estos incluyeron una frecuencia de entrenamiento regular (2 a 5 veces por semana), el uso de tecnologías accesibles y seguras, como la RV no inmersiva, y la implementación de programas con ejercicios funcionales específicos —como cambios de peso, desplazamientos, coordinación y control postural— con progresión ajustada al rendimiento individual. Según diversas revisiones sistemáticas, este tipo de intervención, especialmente cuando incorpora elementos lúdicos y retroalimentación, mejora la adherencia, la motivación y la percepción de autoeficacia en la población mayor.^{10,39} Además, el perfil de los participantes, caracterizado por un buen nivel funcional basal, permitió una mayor adherencia y capacidad de respuesta al estímulo terapéutico. En conjunto, estos factores parecen haber facilitado una transferencia efectiva del aprendizaje motor hacia una mejora clínicamente relevante en la movilidad funcional evaluada por el TUGT. Este fenómeno puede explicarse por la estimulación vestibular, propioceptiva y visual propia de la realidad virtual, que activa mecanismos neuroplásticos y mejora el control postural y la fuerza muscular, tal como señalan Montilla et al. (2023) y Almagro et al. (2024) en sus revisiones sistemáticas.^{5,10}

Es importante destacar que revisiones sistemáticas recientes⁵ han validado la asociación entre el TUGT y otras herramientas como la Escala de Equilibrio de Berg (BBS), utilizada en la mayoría de los estudios analizados, o la velocidad de la marcha a través de los sistemas de análisis cinemático como el OptoGait, tal como se observa en el estudio de Lee (2021).³³ Estas investigaciones muestran una alta correlación del TUGT con estas variables que son claves en la evaluación del equilibrio, la marcha y el riesgo funcional, lo que refuerza su legitimidad como una herramienta sencilla pero clínicamente relevante en el ámbito geriátrico.

En el caso de los estudios^{25,32,36} que no lograron alcanzar los valores funcionales esperados a pesar de mostrar significancia estadística, se identificaron posibles factores que pudieron limitar el impacto de la intervención. En Ghous et al. (2024)³², el bajo nivel funcional inicial con historial previo de caídas, el tamaño muestral reducido (el menor entre todos los estudios incluidos) y la presencia de comorbilidades como mialgias, osteoartritis y enfermedades cardíacas pudieron haber influido

negativamente en el desempeño de la prueba. Por su parte, Lazar et al. (2023)²⁵ incluyó una intervención breve (4 semanas), una de las más breves entre los estudios incluidos, junto con un entorno de entrenamiento reducido y tareas centradas en el equilibrio estático, sin progresión hacia la marcha, lo que limita la transferencia funcional al TUGT. Adicionalmente, las características socioculturales y funcionales de la población india podrían haber influido. Estudios previos señalan que los adultos mayores en India o más general en Asia, presentan menor movilidad funcional que en otras regiones, debido a factores como sedentarismo, mayor carga de enfermedades crónicas, limitado acceso a programas de ejercicio y condiciones socioeconómicas desfavorables.^{10,17,40} Estas condiciones podrían explicar el valor inicial elevado del TUGT (18.68 seg), reflejando un deterioro funcional considerable. Si bien el estudio mostró mejoras significativas en indicadores de equilibrio como el TUGT, la Escala de Equilibrio de Berg (BBS) y Falls Efficacy Scale International (FES-I), estas no fueron suficientes para alcanzar niveles funcionales adecuados, probablemente debido al bajo rendimiento inicial.

En Zak et al. (2024)³⁶, es relevante considerar que la intervención combinó RV inmersiva con una exigente tarea dual (dual-task), incorporando simultáneamente tareas cognitivas como contar hacia atrás y tareas motoras como transportar objetos durante la marcha. Si bien, aunque este tipo de entrenamiento ha demostrado beneficios para las funciones ejecutivas, según diversas revisiones sistemáticas^{6,10,17}, su complejidad cognitiva y motora puede reducir la eficacia inmediata sobre tareas básicas de movilidad como el TUGT. Esta limitación se hace especialmente evidente en adultos mayores con menor tolerancia a entornos inmersivos o a protocolos de mayor complejidad, como se evidenció en este caso.

A pesar de que los valores de los estudios de Lee (2021)³³ y Gschwind et al. (2015)³⁰ no cumplieron estrictamente con los puntos de corte ideales, se consideran clínicamente aceptables para sus rangos etarios, especialmente porque se acompañaron de mejoras funcionales en indicadores como el tiempo de reacción, velocidad de la marcha, cadencia de paso, balanceo postural, propiocepción y fuerza de extremidades inferiores como también pruebas de balance postural como la Escala de equilibrio de Berg, Test Sit to Stand (STS) y One Leg Standing Test (OLS). Según lo reportado en revisiones sistemáticas^{5,39}, estos efectos pueden atribuirse a la capacidad de la realidad virtual para ofrecer retroalimentación inmediata, desafíos visuales y dinámicos, así como mayor implicación cognitiva durante el movimiento.

Por otra parte, a pesar de que Sheehy et al. (2025)³⁴ y Sturnieks et al. (2024)³⁵ no reportaron significancia estadística en la mejora del TUGT, ambos estudios mostraron reducciones clínicas en el tiempo de ejecución de la prueba. Esta aparente contradicción puede explicarse por múltiples factores metodológicos: tamaño muestral reducido, bajo poder estadístico, alta variabilidad en la muestra, presencia de múltiples comorbilidades y baja adherencia. Además, en el estudio de Sturnieks et al. (2024), el TUGT se utilizó como medida secundaria, lo que limita su potencia analítica. Estos aspectos subrayan la relevancia de complementar el análisis estadístico con el juicio clínico, especialmente en poblaciones heterogéneas, como también destacan diversos autores en revisiones sistemáticas y estudios de validación de esta prueba.^{5,16} Finalmente, la adherencia parcial a las sesiones y los desafíos tecnológicos reportados pudieron influir negativamente en la magnitud de los efectos. En conjunto, estos elementos sugieren que, si bien no se alcanzó significancia estadística, las intervenciones lograron cambios clínicamente relevantes en la movilidad funcional, lo que apoya su potencial utilidad en contextos reales.

Cabe considerar que los valores de referencia del TUGT utilizados para interpretar los resultados pueden no reflejar con precisión las características funcionales específicas de las poblaciones analizadas, ya que se ha evidenciado que los puntos de corte de la prueba varían considerablemente según el país o continente, e incluso dentro de regiones con diferencias culturales, biológicas y socioeconómicas. Gois et al. (2024)¹⁷ destaca que aplicar valores normativos de un país distinto puede llevar a interpretaciones clínicas erróneas, debido a factores como el nivel de actividad física, el IMC, la estatura, la dieta y el contexto económico, lo que subraya la importancia de utilizar valores ajustados al entorno geográfico y sociocultural específico para una evaluación funcional más precisa.

Asimismo, Beauchet et al. 2011³⁸ reportaron en su revisión sistemática que el rendimiento en el TUGT puede diferir entre mujeres y hombres mayores, debido a variaciones fisiológicas asociadas al envejecimiento, como la pérdida diferencial de masa libre de grasa y la presencia de comorbilidades crónicas, lo que podría influir en la tasa de respuesta a las intervenciones con RV. Esta observación adquiere especial relevancia al considerar que, en la presente revisión sistemática, de los 1.452 adultos mayores analizados, 966 (66,5%) fueron mujeres, con tres estudios realizados exclusivamente en mujeres.

La adherencia a las intervenciones con realidad virtual en adultos mayores fue, en general, alta en los estudios incluidos, con tasas que oscilaron entre el 70 - 100%, sin embargo, esta adherencia varió

dependiendo del entorno de aplicación y del tipo de tecnología empleada. Las intervenciones realizadas en centros comunitarios, clínicas o laboratorios^{26–28,31–33,36} mostraron tasas de adherencia elevadas ($\geq 80\%$), favorecidas por el acompañamiento profesional, el control del entorno y la interacción social. En cambio, las intervenciones domiciliarias sin supervisión directa^{30,35} presentaron adherencias más variables y bajas (58-70%), limitadas por dificultades técnicas, menor familiaridad tecnológica, falta de retroalimentación profesional o fatiga visual y cognitiva. No obstante, cuando las intervenciones domiciliarias contaron con tecnologías adaptadas y soporte técnico, la adherencia fue igual o incluso superior que en entornos institucionales, alcanzando hasta un 100% en algunos casos, lo que también es mencionado en revisiones sistemáticas.^{3,6} Tecnologías de RV no inmersiva como Jintronix®, que incorporan sensores de movimiento y retroalimentación en tiempo real, demostraron ser eficaces al facilitar una experiencia accesible, personalizada y motivadora.²⁷

Respecto al tipo de realidad virtual, los sistemas no inmersivos —como los exergames con balance board (ej. Wii Fit), plataformas tipo Kinect o sistemas visuales en pantallas 2D o 3D— tendieron a tener mejor aceptación y mayor continuidad. Este tipo de RV genera una experiencia interactiva sin aislar completamente al usuario de su entorno físico, utilizando implementos accesibles y familiares como consolas, alfombras electrónicas o cámaras de detección de movimiento, lo que facilita su uso en el hogar o en centros comunitarios.^{3,6,39} Su facilidad de uso, menor carga sensorial, menor riesgo de fatiga o mareos y mayor familiaridad tecnológica los hacen apropiados para adultos mayores^{1,6,10}. En contraste, la realidad virtual inmersiva, utiliza visores o gafas que sumergen al usuario completamente en un entorno tridimensional, lo que puede mejorar la estimulación multisensorial y favorecer tareas cognitivas o entrenamiento dual-task. No obstante, este tipo de tecnología mostró mayor tasa de abandono o menor tolerancia en participantes de edad más avanzada o con fragilidad, especialmente cuando se utilizó sin supervisión directa —como en el caso de Sturnieks et al. (2024). Sin embargo, en estudios como Zak et al. (2024)³⁶, cuando se implementó bajo condiciones controladas y con apoyo profesional, la adherencia fue del 100%. Su implementación suele requerir mayor apoyo profesional, control del entorno físico y protocolos de seguridad específicos, por ello a pesar de su potencial para aumentar el realismo y el desafío motor-cognitivo, estudios han indicado que la carga sensorial, el riesgo de fatiga visual y los efectos vestibulares pueden limitar su aplicabilidad en contextos domiciliarios.^{6,10}

Otros factores claves que influyen en la adherencia son: la estructura del programa (frecuencia, duración, progresión), motivación intrínseca, percepción de autoeficacia, el disfrute, la

retroalimentación recibida y la posibilidad de interacción social o familiar. Los estudios incluidos en esta revisión, así como revisiones sistemáticas previas, coinciden en que un diseño visual atractivo, la incorporación de elementos lúdicos o gamificación, la accesibilidad tecnológica y la personalización del entrenamiento mediante realidad virtual son factores claves para sostener y favorecer la participación de adultos mayores.^{1,3,6,10,39}

Por último, cabe destacar que los videojuegos terapéuticos y las tecnologías de RV utilizadas en varios estudios incluidos son consideradas accesibles, seguras y motivadoras por los propios participantes, favoreciendo la adherencia al tratamiento, la participación en casa y la prevención de la exclusión digital.^{1,3,6,10,39} Además de los beneficios físicos y funcionales, se han documentado efectos positivos en el estado emocional, reducción del miedo a caer, mejora en la calidad de vida y mantenimiento de la autonomía.^{1,3,5}

Fortalezas y limitaciones

Esta revisión sistemática presenta varias fortalezas que refuerzan la solidez metodológica y el valor clínico de sus hallazgos. En primer lugar, a diferencia de estudios previos, esta revisión se centró exclusivamente en adultos mayores sin patologías neurológicas, sensoriales o musculoesqueléticas graves que pudieran afectar directamente su movilidad funcional, permitiendo mejorar la precisión en la interpretación de los efectos y extraer conclusiones más específicas. Además, la evaluación del riesgo de sesgo fue realizada con la herramienta RoB 2, lo que aportó transparencia y rigor en la valoración de la calidad de los estudios. Una de las principales aportaciones diferenciales de este trabajo es el enfoque centrado en el TUGT con comparación frente a valores normativos por edad, lo cual permite no solo evaluar mejoras estadísticas, sino también determinar la relevancia clínica de los resultados. Asimismo, se consideraron variables como el tipo de RV, el contexto de aplicación y la adherencia, aspectos poco abordados de forma integrada en revisiones anteriores.

No obstante, este estudio también presenta limitaciones relevantes que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, aunque todos los estudios incluidos fueron ECA, se identificó una heterogeneidad metodológica considerable en el diseño de las intervenciones, duración, frecuencia, tipo de RV utilizada y, especialmente, en las características de los participantes entre estudios. Esta última incluye diferencias en edad promedio, distribución por sexo, niveles de funcionalidad basal y contexto sociocultural, lo que dificulta la comparabilidad directa y puede haber influido en los efectos observados. El tamaño muestral reducido en varios de los estudios podría

haber limitado la potencia estadística para detectar efectos clínicamente relevantes. Asimismo, solo un 25% de los estudios incorporó un seguimiento posterior a la intervención, lo que impide evaluar la sostenibilidad de los beneficios observados en el tiempo. Por otra parte, aunque se realizó una búsqueda sistemática en bases reconocidas, el proceso de revisión, cribado, selección y extracción de datos fue de manera manual y no se incluyó literatura gris (tesis, informes técnicos, estudios no publicados), lo que podría inducir a sesgo de selección y/o publicación. Asimismo, el hecho de que todos los estudios incluidos estuvieran publicados en inglés podría reflejar una limitación idiomática o de disponibilidad de la evidencia científica. Finalmente, algunos estudios no informaron de manera clara aspectos claves del diseño metodológico, como el ocultamiento de la asignación o la aplicación del análisis por intención de tratar, lo que podría introducir sesgos que afecten la validez interna de los resultados.

Implicaciones para la práctica y futuras investigaciones

Los resultados de esta revisión sistemática refuerzan el valor de la RV como herramienta terapéutica efectiva para mejorar la movilidad funcional en adultos mayores, medida a través del Timed Up and Go Test. Su aplicación en programas de prevención de caídas puede integrarse tanto en entornos clínicos como domiciliarios, siempre que se acompañe de un diseño adaptado a las necesidades de esta población.

En la práctica clínica, se recomienda priorizar el uso de tecnologías de RV no inmersiva, debido a su mayor tolerancia, accesibilidad y familiaridad tecnológica, especialmente en adultos mayores con fragilidad o sin experiencia previa con este tipo de herramientas. Las intervenciones supervisadas en centros comunitarios o clínicas han mostrado alta adherencia, pero también se ha evidenciado que los programas domiciliarios pueden ser igualmente efectivos si se implementan con soporte técnico adecuado y retroalimentación periódica. Estos hallazgos invitan a fortalecer políticas públicas y modelos de atención que promuevan el uso de tecnologías accesibles en el hogar para favorecer el envejecimiento activo y la prevención de la dependencia.

Desde una perspectiva social y de salud pública, la RV no solo aporta beneficios físicos, sino que también contribuye al bienestar emocional, la reducción del miedo a caer, la mejora de la calidad de vida y la prevención de la exclusión digital. Su potencial como herramienta motivadora y lúdica convierte a la realidad virtual en un recurso estratégico para intervenciones grupales, comunitarias y domiciliarias de bajo costo y alta escalabilidad.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se considera relevante estandarizar los protocolos de aplicación del TUGT y establecer puntos de corte funcionales homogéneos, con referencias locales y adaptados a las características específicas de cada población con el fin de mejorar la comparabilidad entre estudios. Además, resulta prioritario incorporar seguimientos longitudinales que permitan evaluar la sostenibilidad de los efectos de la RV a mediano y largo plazo, más allá del impacto inmediato, para evitar una posible pérdida parcial de los beneficios obtenidos. También se recomienda realizar análisis estratificados por sexo, considerando que en la presente revisión el 66,5% de los participantes fueron mujeres, lo cual podría influir en la dirección y magnitud de los efectos observados, dado el distinto perfil fisiológico y funcional entre géneros.

Por otro lado, se requieren estudios con muestras más amplias y metodologías más rigurosas, especialmente en regiones subrepresentadas, que consideren la diversidad cultural, funcional y socioeconómica de las personas mayores. Asimismo, sería valioso que las futuras investigaciones evalúen en mayor profundidad la relación entre adherencia, motivación y diseño de las plataformas, identificando qué características específicas de la tecnología favorecen la continuidad en el tratamiento. Finalmente, la realidad virtual inmersiva podría explorarse con mayor detalle bajo condiciones controladas y con supervisión profesional, dada su posible eficacia en tareas cognitivas complejas y entrenamiento dual-task, aunque con precaución en poblaciones con mayor fragilidad sensorial.

Con base en la evidencia disponible, se destaca la necesidad de diseñar intervenciones sostenibles, adaptables y centradas en el usuario, que contemplen tanto los aspectos clínicos como tecnológicos, emocionales y logísticos de su implementación.

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta revisión sistemática respaldan que las intervenciones con realidad virtual mejoran significativamente el rendimiento en el Timed Up and Go Test de adultos mayores que viven en la comunidad, acercando sus tiempos a valores funcionales esperados por edad y reduciendo el riesgo de caídas. Esta mejora fue consistente incluso frente a grupos control activos, con ventajas porcentuales del 4% al 20%, y se mantuvo con cargas terapéuticas moderadas o grupos de control inactivos. Además, se observó que los efectos fueron más evidentes en intervenciones centradas en el equilibrio y la movilidad funcional, mientras que aquellas que incorporaron tareas duales o

cognitivas complejas mostraron menor eficacia inmediata sobre el TUGT, probablemente debido a su mayor exigencia.

Estos hallazgos confirman la hipótesis del estudio y posicionan a la realidad virtual, especialmente en su formato no inmersivo, como una estrategia eficaz y accesible para promover una movilidad segura en adultos mayores. A su vez, el análisis centrado en el TUGT y su comparación con valores de referencia ajustados por edad constituye una aportación metodológica relevante, al permitir una interpretación más precisa y contextualizada de los efectos clínicos de las intervenciones. Este enfoque contribuye a una mejor comprensión de la utilidad terapéutica de la RV en función del perfil funcional de la población evaluada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kamińska MS, Miller A, Rotter I, Szylińska A, Grochans E. The effectiveness of virtual reality training in reducing the risk of falls among elderly people. *Clin Interv Aging*. 2018;13:2329–38.
2. Wang PG, Ali NM, Sarker MR. A Bibliometric Analysis Exploring the Acceptance of Virtual Reality among Older Adults: A Review. *Computers*. 2024 Oct 1;13(10):262.
3. Choi SD, Guo L, Kang D, Xiong S. Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Appl Ergon*. 2017 Nov 1;65:570–81.
4. Müller H, Skjæret-Maroni N, Bardal EM, Vereijken B, Baumeister J. Exergaming interventions for older adults: The effect of game characteristics on gameplay. *Exp Gerontol*. 2024 Nov 1;197.
5. Rodríguez-Almagro D, Achalandabaso-Ochoa A, Ibáñez-Vera AJ, Góngora-Rodríguez J, Rodríguez-Huguet M. Effectiveness of Virtual Reality Therapy on Balance and Gait in the Elderly: A Systematic Review. *Healthcare*. 2024 Jan 1;12(2):158.
6. Neri SGR, Cardoso JR, Cruz L, Lima RM, De Oliveira RJ, Iversen MD, et al. Do virtual reality games improve mobility skills and balance measurements in community-dwelling older adults? Systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2017 Oct 1;31(10):1292–304.
7. Ip WK, Soar J, James C, Wang Z, Fong KNK. Innovative Virtual Reality (VR) Application for Preventing of Falls among Chinese Older Adults: A Usability and Acceptance Exploratory Study. *Hum Behav Emerg Technol*. 2024;2024:1–11. Available from: <https://doi.org/10.1155/2024/5556767>

8. Tiedemann A, Sturnieks DL, Burton E, Thom JM, Lord SR, Scott S, et al. Exercise and Sports Science Australia updated position statement on exercise for preventing falls in older people living in the community. *J Sci Med Sport*. 2025 Feb;28(2):87–94. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1440244024005188>
9. Lapiere N, Um Din N, Belmin J, Lafuente-Lafuente C. Exergame-Assisted Rehabilitation for Preventing Falls in Older Adults at Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gerontology* [Internet]. 2023;(6):69. Available from: <https://hal.u-pec.fr/hal-04150383v1>
10. Montilla L, Cruces K, Erazo H, Ortiz E, et al. Effectiveness of Virtual Reality in Balance Training for Fall Prevention in Older Adults: Systematic Review. *Sports Med Arthrosc Rev* [Internet]. 2023 Jun 1;31(1):41–8. Available from: www.sportsmedarthro.com
11. Garcia JA. A virtual reality game-like tool for assessing the risk of falling in the elderly. *Stud Health Technol Inform*. 2019 Aug 8;266:63–9.
12. Lord S, Close J. New horizons in falls prevention. *Age Ageing*. 2018 Jul 1;47(4):492–8.
13. Raffegeau TE, Young WR, Fino PC, Mark Williams. A Perspective on Using Virtual Reality to Incorporate the Affective Context of Everyday Falls Into Fall Prevention. *JMIR Aging*. 2023 Jan 11;6:e36325.
14. Zanker J, Phu S, Duque G. Falls risk assessment. In: *Senior Trauma Patients*. Springer International Publishing; 2022. p. 79–87.
15. Soubra R, Mourad-Chehade F, Chkeir A. Automation of the Timed Up and Go Test Using a Doppler Radar System for Gait and Balance Analysis in Elderly People. *J Healthc Eng*. 2023 Jun 29;2023:2016262.
16. Nightingale CJ, Mitchell SN, Butterfield SA. Validation of the timed up and go test for assessing balance variables in adults aged 65 and older. *J Aging Phys Act*. 2019;27(2):230–3.
17. Gois C, Guimarães A, Júnior M, Carvalho V. The Use of Reference Values for the Timed Up and Go Test Applied in Multiple Scenarios? *J Aging Phys Act*. 2024 Apr 29;1–4.
18. Bohannon RW. Reference Values for the Timed Up and Go Test: A Descriptive Meta-Analysis. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2006;29(2):64–8.
19. Wojciechowski A, Biesek S, Filho J, Rabito E, Amaral M, Gomes A. Effects of physical training with the Nintendo Wii Fit Plus® and protein supplementation on musculoskeletal function and the risk of falls in pre-frail older women: Protocol for a randomized controlled clinical trial (the WiiProtein study). *Maturitas*. 2018 May 1;111:53–60.

20. Akl E A, Piechotta V, Iannizzi C, Khabsa J, et al. Extension of the PRISMA 2020 statement for living systematic reviews (PRISMA-LSR): checklist and explanation. *BMJ*. 2024;387:e079183.
21. Elsmann E, Mokkink L, Terwee C, et al. Guideline for reporting systematic reviews of outcome measurement instruments (OMIs): PRISMA-COSMIN for OMIs 2024. *J Clin Epidemiol*. 2024 Sep;173.
22. Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* Version 5.1.0 [updated March 2011]. The Cochrane Collaboration [Internet]. 2011; Available from: www.cochrane-handbook.org.
23. Sterne J, Page M, Savović J, et al. RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2019;366-l4898.
24. Karahan AY, Karahan AY, Tok F, Taşkın H, Küçüksaraç S, Başaran A, et al. Effects of exergames on balance, functional mobility, and quality of life of geriatrics versus home exercise programme: Randomized Controlled Study. *Cent Eur J Public Health*. 2015;23:14–8.
25. Lazar M, Muthusamy R, Ramachandran S. Effect of immersive virtual reality on balance in elderly population. *NeuroQuantology*. 2023 Jan;21(1):402–18.
26. Lee Y, Choi W, Lee K, Song C, Lee S. Virtual reality training with three-dimensional video games improves postural balance and lower extremity strength in community-dwelling older adults. *J Aging Phys Act*. 2017 Oct 1;25(4):621–7.
27. Martel D, Lauzé M, Agnoux A, Fruteau de Laclos L, Daoust R, Émond M, et al. Comparing the effects of a home-based exercise program using a gerontechnology to a community-based group exercise program on functional capacities in older adults after a minor injury. *Exp Gerontol*. 2018 Jul 15;108:41–7.
28. Sadeghi H, Jehu DA, Daneshjoo A, Shakoor E, Razeghi M, Amani A, et al. Effects of 8 Weeks of Balance Training, Virtual Reality Training, and Combined Exercise on Lower Limb Muscle Strength, Balance, and Functional Mobility Among Older Men: A Randomized Controlled Trial. *Sports Health*. 2021 Nov 1;13(6):606–12.
29. Sági M, Domján A, Fehérné Kiss A, Pintér S. Is kinect training superior to conventional balance training for healthy older adults to improve postural control? *Games Health J*. 2019 Feb 1;8(1):41–8.
30. Gschwind YJ, Schoene D, Lord SR, Ejuji A, Valenzuela T, Aal K, et al. The effect of sensor-based exercise at home on functional performance associated with fall risk in older people - A

- comparison of two exergame interventions. *European Review of Aging and Physical Activity*. 2015 Jan 1;12(1).
31. Moreira NB, Rodacki ALF, Costa SN, Pitta A, Bento PCB. Perceptive-Cognitive and Physical Function in Prefrail Older Adults: Exergaming Versus Traditional Multicomponent Training. *Rejuvenation Res*. 2021 Feb 1;24(1):28–36.
 32. Ghous M, Masood Q, Nawaz Malik A, Afridi A, Mehmood Q. Comparison of Nonimmersive Virtual Reality and Task-Oriented Circuit Training on Gait, Balance, and Cognition Among Elderly Population: A Single-Blind Randomized Control Trial. *Games Health J*. 2024 May 17;13(3):164–71.
 33. Lee K. Virtual reality gait training to promote balance and gait among older people: A randomized clinical trial. *Geriatrics (Switzerland)*. 2021 Mar 1;6(1):1–11.
 34. Sheehy L, Bharadwaj L, Nissen KA, Estey JL. Non-Immersive Virtual Reality Exercise Can Increase Exercise in Older Adults Living in the Community and in Long-Term Care: A Randomized Controlled Trial. *Clin Interv Aging*. 2025;20:109–24.
 35. Sturnieks DL, Hicks C, Smith N, Ratanapongleka M, Menant J, Turner J, et al. Exergame and cognitive training for preventing falls in community-dwelling older people: a randomized controlled trial. *Nat Med*. 2024 Jan 1;30(1):98–105.
 36. Zak M, Sikorski T, Krupnik S, Wasik M, Grzanka K, Courteix D, et al. Physiotherapy Programmes Aided by VR Solutions Applied to the Seniors Affected by Functional Capacity Impairment: Randomised Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 May 1;19(10).
 37. Podsiadlo JD, Bscpt S, Richardson MDJ. The Timed “Up & Go”: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. Vol. 39, *J Am Geriatr Soc*. 1991.
 38. Beauchet O, Fantino B, Allali G, et al. Timed up and go test and risk of falls in older adults - A Systematic review. *J Nutr Health Aging*. 2011;15(10):933–8.
 39. Manzari L, Tramontano M, Lucia Foundation S, Shuping Xiong I, Buyle M, D-e B. The role of motivation factors in exergame interventions for fall prevention in older adults: A systematic review and meta-analysis.
 40. Sivakumar VPR, Doraisami B, Prabhu V, Paramanandam P. Age related timed up and go test values and its analysis among elderly Kacheepuram District population. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2018 Oct;12:YC05–7.

ANEXOS

PRISMA Abstract Checklist

TITLE

Title	1	Identify the report as a systematic review.	Sí
-------	---	---	----

BACKGROUND

Objectives	2	Provide an explicit statement of the main objective(s) or question(s) the review addresses.	Sí
------------	---	---	----

METHODS

Eligibility criteria	3	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review.	Sí
----------------------	---	--	----

Information sources	4	Specify the information sources (e.g. databases, registers) used to identify studies and the date when each was last searched.	Sí
---------------------	---	--	----

Risk of bias	5	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies.	Sí
--------------	---	--	----

Synthesis of results	6	Specify the methods used to present and synthesize results.	Sí
----------------------	---	---	----

RESULTS

Included studies	7	Give the total number of included studies and participants and summarise relevant characteristics of studies.	Sí
------------------	---	---	----

Synthesis of results	8	Present results for main outcomes, preferably indicating the number of included studies and participants for each. If meta-analysis was done, report the summary estimate and confidence/credible interval. If comparing groups, indicate the direction of the effect (i.e. which group is favoured).	Sí
----------------------	---	---	----

DISCUSSION

Limitations of evidence	9	Provide a brief summary of the limitations of the evidence included in the review (e.g. study risk of bias, inconsistency and imprecision).	Sí
-------------------------	---	---	----

Interpretation	10	Provide a general interpretation of the results and important implications.	Sí
----------------	----	---	----

OTHER

Funding	11	Specify the primary source of funding for the review.	No
---------	----	---	----

Registration	12	Provide the register name and registration number.	No
--------------	----	--	----

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *MetaArXiv*. 2020, September 14. DOI: 10.31222/osf.io/v7gm2. For more information, visit: www.prisma-statement.org



PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Sí, pág.1
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	Sí, pág. 1
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	Sí, pág. 2 - 4
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	Sí, pág. 4
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	Sí, pág. 5 - 6
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organizations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	Sí, pág. 5
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	Sí, pág. 5
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Sí, pág. 6
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Sí, pág. 6
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	Sí, pág. 7
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	Sí, pág. 7
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	Sí, pág. 7
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	Sí, pág. 8
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	Sí, pág. 8
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	Sí, pág. 8
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	Sí, pág. 9
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	Sí, pág. 8
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	Sí, pág. 8 y 18 - 20
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	NA
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	NA
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	NA



PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	Sí, pág. 8
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	Sí, pág. 8
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	Sí, pág. 11 - 14
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	Sí, pág. 9 - 10
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimates and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	Sí, pág. 14 – 17
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	Sí, pág. 17 – 18
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	Sí, pág. 14 – 17
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	Sí, pág. 16 – 18
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	NA
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	NA
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	NA
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	Sí, pág. 18 – 24
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	Sí, pág. 23
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	Sí, pág. 23
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	Sí, pág. 24
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	NA
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	NA
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	NA
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	NA
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	NA
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	NA

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. Doi: 10.1136/bmj.n71