

Diferenciación de la marcha en adultos mayores con dolor lumbar con y sin realidad virtual

Differentiation of gait in older adults with low back pain with and without virtual reality

*Brigitte Pamela Sumbana Pilla, Grace Verónica Moscoso Córdova, Stalin Javier Caiza Lema,
Ángela Priscila Campos Moposita & Paul Adrián Arias Córdova*

DIMENSIÓN CIENTÍFICA

Enero - junio, V°7 - N°1; 2026

Recibido: 12-05-2026

Aceptado: 12-05-2026

Publicado: 22-05-2026

PAIS

- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato
- Ecuador, Ambato

INSTITUCION

- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato
- Universidad Técnica de Ambato

CORREO:

- ✉ bsumbana0263@uta.edu.ec
- ✉ gv.moscoso@uta.edu.ec
- ✉ sj.caiza@uta.edu.ec
- ✉ ap.campos@uta.edu.ec
- ✉ pa.arias@uta.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0004-3593-0176>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0703-2668>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2452-4349>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0001-6826-8319>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2452-4349>

FORMATO DE CITA APA.

Sumbana, B., Moscoso, G., Caiza, S., Campos, A. & Arias, P. (2026). Diferenciación de la marcha en adultos mayores con dolor lumbar con y sin realidad virtual. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°1). Pág. 5431 – 5452.

Resumen

El dolor lumbar es considerado una de las principales alteraciones musculoesqueléticas que afecta la funcionalidad y el patrón de la marcha en los adultos mayores. La realidad virtual (RV) surge como una herramienta innovadora, mostrando efectos positivos en el equilibrio y marcha ya que incorpora estímulos visuales, cognitivos y propioceptivos generando retroalimentación sensorial en tiempo real. El objetivo de este estudio fue de analizar la marcha en adultos mayores con dolor lumbar con y sin realidad virtual. Se desarrollo un estudio transversal, en el cual participaron 30 adultos mayores con dolor lumbar (27 mujeres, 3 hombres; edad de $74,67 \pm 5,76$ años, peso de $58,83 \pm 9,2$ kg, talla de $1,45 \pm 0,08$ m), los cuales realizaron una caminata en dos condiciones controladas, primero en un escenario convencional y posteriormente en un escenario inmersivo mediante gafas de realidad virtual, Se registraron parámetros cinemáticos angulares y espaciotemporales de la marcha. Se observaron diferencias significativas en los parámetros espaciotemporales, especialmente reflejadas en la disminución de longitud de zancada y velocidad, además de un aumento de la fase de apoyo, lo cual sugiere estrategias de adaptación motoras orientadas a mejorar la estabilidad y reducir el riesgo de caída. En conclusión, la realidad virtual influye en el control de la marcha en adultos mayores con dolor lumbar, ocasionando cambios en el patrón locomotor asociados a procesos de integración sensorial y control postural. Estos resultados pueden ayudar a complementar estudios de marcha en adultos mayores.

Palabras clave: Dolor lumbar, adultos mayores, marcha, realidad virtual.

Abstract

Low back pain is considered one of the main musculoskeletal conditions that affects functionality and gait patterns in older adults. Virtual reality (VR) has emerged as an innovative tool, demonstrating positive effects on balance and gait by incorporating visual, cognitive, and proprioceptive stimuli that generate real-time sensory feedback. The objective of this study was to analyze gait in older adults with low back pain with and without virtual reality. A cross-sectional study was conducted, involving 30 older adults with low back pain (27 women, 3 men; age 74.67 ± 5.76 years, weight 58.83 ± 9.2 kg, height 1.45 ± 0.08 m), who walked under two controlled conditions: first in a conventional setting and subsequently in an immersive setting using virtual reality goggles. Angular and spatiotemporal kinematic parameters of gait were recorded. Significant differences were observed in the spatiotemporal parameters, particularly reflected in a decrease in stride length and speed, as well as an increase in the stance phase, suggesting motor adaptation strategies aimed at improving stability and reducing the risk of falls. In conclusion, virtual reality influences gait control in older adults with low back pain, causing changes in the locomotor pattern associated with sensory integration and postural control processes. These results may help complement gait studies in older adults.

Keywords: Lower back pain, older adults, gait, virtual reality.

Introducción

El envejecimiento es un proceso irreversible y continuo que representa una diversidad de características y necesidades, influenciadas por factores biológicos, sociales y psicológicos, genera cambios fisiológicos que influyen de manera directa en la funcionalidad y la capacidad de realizar las actividades de la vida diaria (OMS, n.d.). Los adultos mayores se encuentran dentro de un grupo etario vulnerable a diversas afecciones de origen musculoesquelético las cuales influyen en la aparición de discapacidad física (Welsh et al., 2020).

El dolor lumbar es una de las afecciones musculoesqueléticas, que afectan con mayor frecuencia a la población de adultos mayores, considerándose una de las principales causas de discapacidad mundial, esta condición se manifiesta con dolor ubicado entre el borde inferior de las costillas y la región glútea, presentándose de forma aguda, subaguda o crónica, genera limitaciones en la movilidad, afecta la participación social y el bienestar mental, ocasionando un impacto funcional significativo y repercusiones en la calidad de vida. Según datos de la OMS, en 2020 aproximadamente 619 millones de personas experimentaron dolor lumbar (Lumbalgia, n.d.). La prevalencia a nivel global se encuentra reflejada con un valor más alto en mujeres incluyendo todas las edades, observándose características más evidentes en personas mayores de 75 años (Xu et al., 2025). En Ecuador el dolor lumbar no varía respecto a lo estimado a nivel mundial, reportando alta prevalencia en poblaciones rurales alcanzando el 78,6% (Masson Palacios et al., 2025).

El envejecimiento es un proceso que causa por sí mismo modificaciones en la capacidad funcional, la marcha es una de las manifestaciones funcionales representativas de dicho proceso, la cual es fundamental en los adultos mayores para mantener su independencia, ya que representa una de las actividades funcionales frecuentes en la vida

diaria (Longo & Desouzart, 2025; Zhai et al., 2023). Sin embargo, se encuentra afectada en algunos parámetros, de manera más visible en personas con dolor lumbar ya que presentan un control motor más inadecuado experimentando cambios en el control de la marcha por el dolor y el miedo, evidenciando pasos más cortos y caminata más lenta, mostrando un efecto negativo en el equilibrio. Diversos estudios demuestran que existen cambios biomecánicos durante la marcha especialmente observadas en parámetros espaciotemporales como la reducción de velocidad, cadencia y longitud de paso, además existen cambios en la variabilidad del tronco y estabilidad de la marcha de acuerdo al entorno (Dal Farra et al., 2025; Ge et al., 2021; Nishi et al., 2021; Smith et al., 2022)

El análisis de la marcha se ha convertido en una herramienta fundamental para la evaluar alteraciones funcionales y el estado de salud en adultos mayores. En los últimos años, se ha incrementado sistemas de análisis con distintas tecnologías que permiten obtener mediciones más precisas, lo cual proporciona un apoyo en la toma de decisiones clínicas debido a la información objetiva sobre el movimiento. (Arellano-González et al., 2021; Ma, 2022; Rudisch et al., 2021)

En este sentido la Realidad Virtual (RV) a través de dispositivos de visualización inmersiva se presenta como una herramienta innovadora en el campo de salud, ya que produce efectos neurobiológicos sobre la plasticidad neuronal obteniendo mayor activación cerebral y mejoras cognitivas como la memoria y la atención, además incorpora estímulos visuales, cognitivos y propioceptivos proporcionando retroalimentación sensorial en tiempo real (Bateni et al., 2024; Georgiev et al., 2021; Shideler et al., 2021). Ha demostrado ser eficaz como intervención mostrando efectos positivos en la funcionalidad física relacionados con la marcha y el equilibrio, ya que logra influir en el comportamiento motor debido a la modificación del entorno lo cual permite analizar la marcha bajo diferentes condiciones, también se ha observado resultados favorables en relación a la calidad de vida y funciones

cognitivas como la memoria y la capacidad de atención (Campo-Prieto et al., 2022; Delgado & Der Ananian, 2021; Ghous et al., 2024)

Pese a estos avances, en la actualidad existe evidencia limitada en poblaciones mayores con dolor lumbar que analice los cambios en los parámetros de la marcha bajo condiciones convencionales y bajo estimulación mediante realidad virtual. Por lo cual, el presente estudio tiene como objetivo analizar las diferencias de la marcha en adultos mayores con dolor lumbar con y sin realidad virtual.

Métodos y Materiales

El estudio es de tipo no experimental, con enfoque cuantitativo y transversal, en el cual se evaluó a un mismo grupo de adultos mayores con dolor lumbar en dos condiciones diferentes, marcha si realidad virtual y marcha con realidad virtual.

Se empleo un muestreo no probabilístico por conveniencia. La población estuvo conformada por adultos mayores del GAD Parroquial de Santa Rosa, de los cuales se seleccionó una muestra de 30 participantes. Los criterios de inclusión consideraron a personas adultas mayores con presencia de dolor lumbar, nivel funcional independiente, estado cognitivo conservado, audición y visión funcionales.

Se excluyo la participación de aquellos adultos mayores que presentaban condiciones médicas graves, antecedentes de hipersensibilidad a estímulos visuales, alteraciones vestibulares severas o trastornos del equilibrio, ansiedad severa, claustrofobia o incomodidad frente al uso de dispositivos inmersivos. Esta selección nos permitió garantizar la participación de individuos en condiciones que permitieran obtener datos válidos y confiables.

Aquellos que cumplieron con los criterios de inclusión y aceptaron participar en el estudio firmaron el formulario de consentimiento informado, esta investigación fue evaluada y aprobada por el CEISH de la Universidad Técnica de Ambato bajo registro 243-CEISH-UTA-2025

Herramientas utilizadas

Todos los datos fueron obtenidos y recopilados de forma estandarizada por el equipo de investigación capacitado. Los datos sociodemográficos incluyeron edad, sexo, masa corporal, talla, índice de masa corporal (IMC) y ocupación. Para obtener el registro de video de los participantes durante la marcha se seleccionaron los medios y recursos necesarios:

Equipo

Dispositivos de captura: Se utilizaron dos cámaras smartphone, configuradas para la grabación de video en Full HD (1080P) a una tasa de 60 fotogramas por segundo.

Soportes: Dos trípodes manipulables y acoples, para asegurar la toma fija.

Equipo de procesamiento: Computadora portátil HP con procesador Victus AMD Ryzen 7 7445HSw/Radeon 740M Graphics operando con frecuencia de 3.20 GHz, tarjeta gráfica NVIDIA GeForce RTX 3050 con 6GB de memoria, proporcionando un procesamiento grafico necesario para la gestión de la información y ejecución del análisis en el software.

Software de análisis: Kinovea versión 2025.2 instalado, utilizado para el análisis cinemático 2D (Kinovea, n.d.).

Marcadores anatómicos: (pegatinas) colocados en puntos de referencia anatómicos.

Escala de medición: Se realizó un marcaje de distancia a 3 metros en la superficie dentro del plano de filmación, importante para la calibración del espacio en el software de análisis.

Proceso de videograbación

Las cámaras de los smartphones se colocaron en el trípode de manera lateral y frontal a una altura y distancia fija que permitiera la observación del cuerpo completo y la captura de al menos un ciclo de la marcha. La distancia recorrida por el participante fue de 3 metros.

Entorno virtual y Hardware

El programa de realidad virtual aplicado fue una experiencia inmersiva mediante gafas de RV.

Hardware de realidad virtual: Gafas de RV Meta Quest 3, con procesador Snapdragon XR2 Gen 2, 8GB de RAM y sistema operativo Android (Meta Quest 3S n.d.).

Creación y optimización del escenario virtual: Para el desarrollo del sistema se usaron herramientas tecnológicas; para la creación de escenarios virtuales y avatares utilizaron Blender como herramienta de modelado 3D, posteriormente los modelos fueron organizados y preparados para su incorporación en formato FBX en Unity, para asegurar la compatibilidad dentro del entorno virtual en la plataforma de Meta Quest 3.

Instrumentos de evaluación clínica

Escala Numérica del Dolor (NRS): Instrumento utilizado para evaluar la intensidad de dolor, consta de un rango de 0 a 10 puntos, en el cual 0 representa ausencia de dolor y 10 el peor dolor. Presenta una fiabilidad de test-retest de buena a excelente lo que respalda su consistencia en la evaluación de dolor lumbar (Nimmaanrat et al., 2024; Williams et al., 2025).

Timed Up and Go (TUG): El Timed Up and Go (TUG) es utilizado para evaluar el riesgo de caídas en las personas mayores ya, mide el tiempo en segundos que tarda una persona en levantarse de la silla, caminar a una distancia de 3 metros, girar, caminar de regreso a la silla y sentarse nuevamente (LI & R, 2021; Monzón, 2022).

Análisis del movimiento (Kinovea): El software Kinovea 2D ha demostrado ser una herramienta accesible y de fácil manejo para el análisis de la marcha, específicamente para parámetros espaciotemporales de marcha y ángulos de cadera rodilla y tobillo. Sirve como herramienta para evaluar la capacidad de la marcha y equilibrio (Fernández-González et al., 2020; Nithiatthawanon et al., 2024)

Protocolo de evaluación y Procedimiento

En primer lugar, se aplicaron las herramientas de evaluación en un espacio controlado, primero se utilizó la Escala Numérica del Dolor para cuantificar el dolor que presentan los participantes.

Continuando a la siguiente etapa del estudio: Los participantes ejecutaron un recorrido sobre una superficie plana marcado a los 3 metros. Se les indicó que realizaran su caminata a su ritmo habitual y no se les permitió utilizar dispositivos de ayuda para la marcha durante la prueba. Las diferentes pruebas se realizaron en el lugar de

establecimiento donde se reúnen los adultos mayores, fueron evaluados en un entorno tranquilo y bien iluminado. Antes de la prueba se informó a los participantes que se quitaran cualquier objeto reflejante y se preparó la habitación cerrando puertas y ventanas para controlar la temperatura, se ubicaron las cámaras adecuadamente en lugares previamente establecidos. Posteriormente se pidió a los participantes que se quitaran los zapatos y se pusieran la ropa adecuada. Antes de registrar las pruebas de marcha se colocaron pegatinas en ubicaciones específicas en la extremidad inferior para el seguimiento y obtención de datos durante la marcha. Los puntos de referencia anatómicos se colocaron en la pierna derecha: en el trocánter mayor del fémur, el epicóndilo lateral del fémur, el maléolo y el quinto metatarsiano. Todos los puntos anatómicos se determinaron a través de palpación (Holowka et al., 2022).

La evaluación se realizó en dos condiciones: Condición 1: marcha sin realidad virtual, Condición 2: marcha con realidad virtual mediante el uso de gafas inmersivas. En las dos condiciones se registraron los parámetros cinemáticos de la marcha durante un ciclo: ángulos articulares de flexión de la cadera, rodilla y dorsiflexión - flexión plantar de tobillo durante dos momentos de evaluación: contacto inicial y balanceo inicial, analizándose los datos del ángulo articular en cada momento. Además, se evaluó parámetros espaciotemporales incluyendo longitud de paso (calculando la distancia y tiempo del contacto inicial de un pie y el contralateral), longitud de zancada en tiempo (calculando la distancia y tiempo de dos contactos consecutivos del mismo pie en el suelo), la velocidad de la marcha calculada en relación a la distancia recorrida (3m) por segundo. También se consideraron las fases del ciclo de la marcha expresadas en porcentaje diferenciando la fase de apoyo y fase de balanceo. Finalmente se complementó la evaluación con el registro del tiempo de ejecución de la prueba funcional TUG en segundos.

Fases de ejecución

Evaluación sin realidad virtual: los participantes realizaron una caminata a una distancia de 3 metros a su ritmo habitual, sin estímulos externos.

Fase de adaptación: antes de la prueba experimental cada adulto mayor se sometió a un periodo de adaptación de 3 minutos al entorno virtual para que se adapten con el entorno y campo de visión de las gafas. Para verificar la inmersión de la experiencia el personal capacitado guio a los participantes realizando algunas preguntas sobre el entorno virtual (por ejemplo, describir el entorno y sus objetos). En todo momento se les informo que debían detener la prueba si experimentaban malestar o mareo, se supervisó en todo momento para evitar caídas o fatiga, aunque no se presentó ninguno y los escenarios fueron descritos como divertidos, agradables y fascinantes. Estas preguntas ayudaron a los participantes a superar el miedo a lo nuevo y mostrar la disposición para volver a utilizarlo.

Evaluación con gafas de RV: Los participantes realizaron una caminata de 3 metros con las gafas de RV colocadas, con la instrucción de caminar hacia el tronco virtual. No se incluyeron obstáculos físicos adicionales en el recorrido por su seguridad.

Movilidad funcional TUG: Se aplico la prueba Timed Up and Go (TUG), registrando el tiempo total en segundos con un cronometro desde que el participante se levanta de la silla, camina 3 metros, gira y vuelve a sentarse. La prueba se realizó en ambas condiciones, en el escenario de realidad virtual los participantes empezaban desde el punto de partida sentados en una banca, la cual se visualizó tanto en el entorno real como en el entorno virtual, a partir de este punto realizaban la prueba de la misma manera recorriendo los 3 metros hasta el tronco, girándose y volviendo al sitio donde estaba ubicado la banca. Se realizó 3 veces y se escogió el mejor tiempo.

Análisis Estadístico

Los datos fueron procesados a través del software estadístico SPSS. Se emplearon estadísticas descriptivas (frecuencias, porcentajes, media y desviación estándar) para caracterizar la muestra. Para la comparación de resultados entre la marcha normal y la marcha con realidad virtual, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk, posteriormente se aplicó las pruebas de t de Student para muestras relacionadas en variables con distribución normal o la prueba de Wilcoxon, según correspondiera, con un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$.

Análisis de resultados

En total, en el estudio participaron 30 adultos mayores, conformada por el sexo femenino (90%, $n=27$), y masculino (10%, $n=3$). En relación a la ocupación, la mayor parte de los participantes se desempeñan en actividades agrícolas (63,3%), seguidos por el trabajo doméstico (20%) y las labores de limpieza (16,7%). Estos aspectos se consideran relevantes, ya que actividades repetitivas, posturas prolongadas y sobrecarga mecánica pueden influir en la aparición de trastornos musculoesqueléticos. El nivel de dolor evaluado mediante la escala de NRS, muestra una distribución equitativa entre el dolor lumbar leve (50%) y moderado (50%) lo cual nos demuestra una afectación funcional moderada en la población estudiada.

Las variables antropométricas muestran una edad media de $74,67 \pm 5,76$ años, peso de $58,83 \pm 9,2$ kg, talla de $1,45 \pm 0,08$ m y el índice de masa corporal (IMC) de $27,84 \pm 3,88$ (kg/m^2), lo que sugiere condición de sobrepeso.

Los resultados detallados en la Tabla 1 representan la comparación de los parámetros de la marcha en las dos condiciones sin realidad virtual y con realidad virtual.

En la fase de contacto inicial, no se observaron cambios significativos en la flexión de cadera ($p=0,08$) ni en rodilla ($p=0,538$). Sin embargo, la dorsiflexión de tobillo mostro una disminución significativa en la condición con RV ($p=0,001$). En la fase de balanceo inicial, no se observaron diferencias significativas en cuanto a la flexión de cadera, rodilla y flexión plantar de tobillo ($p > 0,005$). En los parámetros espaciotemporales, se registraron cambios relevantes, la longitud de paso en metros (0,461m a 0,391m; $p<0,001$), y la longitud de zancada en metros (0,936m a 0,779m; $p<0,001$) disminuyó significativamente con RV. En cambio, la longitud de paso en tiempo mostro un incremento ($p=0,054$). La velocidad de marcha disminuyo con RV (0,689m/s a 0,596m/s; $p=0,001$) lo cual nos indica un patrón de marcha más lento. En relación a las fases del ciclo de la marcha, se observó un aumento relevante de la fase de apoyo (67,57% vs. 70,2%; $p < 0,001$) y una disminución de la fase de balanceo (32,43% vs. 29,87%; $p < 0,001$) bajo RV, lo cual demuestra una estrategia de mayor estabilidad.

Estos hallazgos nos indican que la RV induce un patrón de marcha más conservador, reflejado por la disminución de velocidad, reducción de longitud de paso y zancada, así como mayor tiempo en la fase de apoyo, lo que se relaciona posiblemente como un mecanismo compensatorio para mejorar la estabilidad.

Tabla 1. Comparación de parámetros cinemáticos de la marcha con y sin realidad virtual.

Variables del estudio	Sin RV		Con RV		P valor
	Media	DE	Media	DE	
Fase de Contacto inicial					
Flexión de cadera (°)	20,2	4,73	21,97	4,923	0,08
Flexión de rodilla (°)	9,8	3,508	10,2	4,437	0,538
Dorsiflexión de tobillo (°)	3,37	1,159	2,77	0,858	0,001
Fase de Balanceo inicial					
Flexión de cadera (°)	12,63	3,873	13,93	5,324	0,142

Flexión de rodilla (°)	56,13	12,35	54,8	10,499	0,561
Flexión plantar de tobillo (°)	12,17	2,086	12,27	1,874	0,803
Parámetros espaciotemporales					
Longitud de paso (s)	0,594	0,075	0,621	0,073	0,054
Longitud de paso (m)	0,461	0,092	0,391	0,099	0,001
Longitud de zancada (s)	1,174	0,154	1,238	0,146	0,028
Longitud de zancada (m)	0,936	0,173	0,779	0,195	0,001
Velocidad de marcha (m/s)	0,689	0,139	0,596	0,133	0,001
Fases del ciclo de la marcha					
Fase de apoyo (%)	67,57	2,897	70,2	3,468	0,001
Fase de balanceo (%)	32,43	2,897	29,87	3,617	0,001

Nota. Elaboración propia (2026)

En relación al desempeño funcional mostrada en la Tabla 2, se observó que el tiempo promedio de la prueba Timed Up and GO (TUG) sin realidad virtual fue de $11,71 \pm 2,34$ s, mientras que con la aplicación de la realidad RV a $17,63 \pm 5,36$ s. El tiempo registrado durante la condición de RV fue de $5,90 \pm 0,27$ s.

Tabla 2. Resultados funcionales (TUG y RV)

	Media	Desviación estándar
TUG sin RV (s)	11,71	2,34
TUG con RV (s)	17,63	5,36
Tiempo en RV (s)	5,90	0,27

Nota. Elaboración propia (2026)

Estos resultados muestran mayor demanda funcional bajo las condiciones de realidad virtual, lo que se podría asociar a mayores requerimientos de control postural y adaptación sensoriomotora.

Discusión

El presente estudio analizó las diferencias de la marcha en adultos mayores con dolor lumbar con y sin RV, los resultados obtenidos evidencian que la realidad virtual influye en el patrón de la marcha, presentando modificaciones en los parámetros cinemáticos y espaciotemporales, principalmente se identificó la disminución de la velocidad de marcha, reducción de la longitud de paso, longitud de zancada, ángulo de dorsiflexión y aumento de la fase de apoyo, lo cual sugiere una adaptación de la marcha convirtiéndola en un patrón más conservador enfocado en la estabilidad frente el entorno virtual.

En relación a las características de la muestra este estudio presenta un predominio del sexo femenino con edad media de 74,67 años y un IMC dentro del rango de sobrepeso. Estos factores son considerados importantes, ya el envejecimiento, el sexo femenino y el aumento de IMC se encuentran asociados con la presencia de mayor predominio de dolor lumbar y alteraciones en la marcha como lo demuestran estos autores (Heuch et al., 2024; Ruiz-Fernandez et al., 2025; C. Zhang et al., 2025)

Además, aspectos relevantes como su ocupación en el desempeño de actividades agrícolas, ya que realizan actividades repetitivas, posturas prolongadas y sobrecarga mecánica aumentan el riesgo de lesiones en la columna lumbar, de igual manera el trabajo físico exigente durante los primeros años de vida se asocia con dolor lumbar entre trabajadores mayores con empleos sedentarios en la actualidad (Ailed et al., 2026; Bláfoss et al., 2020; H. J. Lee et al., 2021)

El dolor lumbar presente en los participantes (leve y moderado) es un factor determinante en alteraciones de los parámetros de la marcha. El estudio de (Kowalewska et al., 2026) reporta que adultos mayores con dolor lumbar presentan una capacidad funcional reducida, además aclara que el envejecimiento se relaciona con parámetros de la

marcha desfavorables, con tiempos de reacción más largos y pruebas de movilidad con resultados no tan aceptables.

Los resultados de este estudio evidencian que la RV si tiene influencia en la marcha de adultos mayores con dolor lumbar, estos cambios podrían deberse por el efecto de los escenarios inmersivos ya que estos entornos requieren de integración de múltiples procesos cognitivos. Estos resultados tienen relación con lo señalado por el estudio de Riva et al. (2020) que muestra que la realidad virtual puede incrementar la demanda cognitiva al necesitar integración simultanea de procesos de atención, funciones ejecutivas y habilidades visuoespaciales dentro de entornos inmersivos. Además, la realidad virtual es considerada una herramienta útil para la modificación del control motor y el entrenamiento de la estabilidad, a pesar de que principalmente produce un patrón más lento, puede resultar como beneficio para la reeducación de la marcha. Estos hallazgos se relacionan con lo señalado por (Li et al., 2025; B. Zhang et al., 2021) en sus metaanálisis los cuales evidencian que la realidad virtual puede influir positivamente en el control de la marcha y el equilibrio dinámico, además señalan que su aplicación como intervención mejora de manera eficaz la función motora de las extremidades inferiores.

Entre los resultados obtenidos se observa una reducción de la velocidad en condición de realidad virtual lo cual puede explicarse como estrategia adaptativa respecto a un entorno más demandante y diferente, según lo descrito por SurrIDGE et al. (2025) en su estudio, la realidad virtual genera adaptaciones de la marcha por las modificaciones de información sensorial, lo cual favorece procesos de adaptación motora. De igual manera ante la presencia de dolor lumbar, la reducción puede presentarse de manera más marcada debido a mecanismos compensatorios generados frente al dolor como lo menciona Natarajan et al. (2022).

Los resultados sobre disminución de la longitud zancada y dorsiflexión de tobillo obtenidos en este estudio se encuentran relacionados con lo que sugieren Esmaeilpour et al. (2025) y Papi et al. (2020), los adultos mayores con dolor lumbar presentan pasos cortos como estrategia generada para limitar el movimiento del tronco y reducir la carga mecánica expuesta. El aumento de la fase de apoyo puede indicar una estrategia de mayor estabilidad. Este patrón se ha observado en adultos mayores según lo reportado en el estudio Noh et al., (2020) el cual evidencia que mayor duración de la fase de apoyo se relaciona con velocidades de marcha bajas y una menor capacidad funcional, lo que refleja un patrón de marcha más conservador para mejorar la estabilidad.

El aumento de tiempo en la prueba de TUG en condición del entorno virtual indica mayor demanda funcional y una modificación en los resultados debido a la inseguridad y el miedo al realizarlo en un entorno diferente al real, de esta manera el tomar más tiempo y aumentar más pasos durante la ejecución de la prueba puede reflejarse como estrategia de adaptación para asegurar el equilibrio y evitar caídas Muhla et al. (2020),

El entorno utilizado incorporo elementos inmersivos, referencias espaciales y estímulos auditivos los cuales pueden haber aumentado la demanda sensorial y cognitiva durante la marcha generando cambios en la planificación motora, creando estrategias para ejecutar una marcha más cautelosa dirigida a mantener la estabilidad, estudio como el de K. Lee, (2021) que utiliza la realidad virtual como intervención para el entrenamiento del equilibrio y marcha sugieren que al exponer a los participantes ante un entorno de información visual fija se presenta una incongruencia entre la propiocepción y la visión, lo que causa que se realicen ajustes en la marcha para mejorar el control motor.

Este estudio presenta varias limitaciones, en primer lugar, el tamaño de la muestra fue pequeño y el diseño del estudio nos limitó a una sola población. Además, el predominio

del sexo femenino limita la generalización de los resultados a la población masculina. Estudios futuros con muestras más grandes y diseños controlados aleatorios pueden proporcionar evidencia más relevante. La evaluación se realizó en una sesión única por lo cual no nos permite determinar efectos en el aprendizaje o adaptación a largo plazo, se debería considerar periodos de seguimiento prolongados para evaluar los resultados. El uso de análisis bidimensional mediante video puede sugerir menor precisión en comparación con sistemas tridimensionales.

Agradecimiento

Agradezco la valiosa contribución de la Lcda. Mg. Grace Verónica Moscoso Córdova, por su guía, paciencia, dedicación y apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo. De la misma manera, expreso mi gratitud al Mg. Stalin Javier Caiza Lema, al Mg. Paul Adrián Arias Córdova, al Mg. Víctor Santiago Manzano y a la Lic. Mg. Ángela Campos, quienes, con su valiosa participación y aporte académico, contribuyeron al proyecto de investigación titulado “Implementación de Realidad Virtual en la Rehabilitación Física y Respiratoria: Un Enfoque Tecnológico y Clínico”, aprobado por la Universidad Técnica de Ambato mediante Resolución UTA-CONIN-2025-0143-R. Asimismo, agradezco a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por el apoyo brindado para la ejecución de este proyecto.

Conclusiones

Esta investigación demostró diferencias significativas en la marcha de los adultos mayores con dolor lumbar en la evaluación con y sin realidad virtual presentando modificaciones mayores en los parámetros espaciotemporales y en menor medida en la cinemática angular. Principalmente se identificó la disminución de la velocidad, reducción de la longitud de paso, longitud de zancada, ángulo de dorsiflexión y aumento de la fase de apoyo, lo que demuestra una adaptación de la marcha convirtiéndola en un patrón más estable, estos resultados pueden favorecer a procesos de rehabilitación cuando se requiere mayor integración de procesos cognitivos para la reducción adecuada de la marcha.

Referencias bibliográficas

- Ailed, A., Macedo, B., Alan, C., Rodríguez, S., & Garfias Berra, A. (2026). Prevalencia de Dolor Musculoesquelético en Agricultores. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 6(1), 6777–6792. <https://doi.org/10.61384/R.C.A..V6I1.1663>
- Arellano-González, J. C., Medellín-Castillo, H. I., Cervantes-Sánchez, J. J., & Vidal-Lesso, A. (2021). A Practical Review of the Biomechanical Parameters Commonly Used in the Assessment of Human Gait. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 42(3), 6–27. <https://doi.org/10.17488/RMIB.42.3.1>
- Bateni, H., Carruthers, J., Mohan, R., & Pishva, S. (2024). Use of Virtual Reality in Physical Therapy as an Intervention and Diagnostic Tool. *Rehabilitation Research and Practice*, 2024(1), 1122286. <https://doi.org/10.1155/2024/1122286>
- Bláfoss, R., Skovlund, S. V., López-Bueno, R., Calatayud, J., Sundstrup, E., & Andersen, L. L. (2020). Is hard physical work in the early working life associated with back pain later in life? A cross-sectional study among 5700 older workers. *BMJ Open*, 10(12), e040158. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2020-040158>
- Campo-Prieto, P., Cancela-Carral, J. M., & Rodríguez-Fuentes, G. (2022). Feasibility and Effects of an Immersive Virtual Reality Exergame Program on Physical Functions in Institutionalized Older Adults: A Randomized Clinical Trial. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/S22186742>
- Dal Farra, F., Lopomo, N. F., Fascia, M., Scalona, E., Cerfoglio, S., & Cimolin, V. (2025). How non-specific low back pain affects gait kinematics: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pain Research*, 6, 1693068. <https://doi.org/10.3389/FPAIN.2025.1693068>
- Delgado, F., & Der Ananian, C. (2021). The Use of Virtual Reality through Head-Mounted Display on Balance and Gait in Older Adults: A Scoping Review. *Games for Health Journal*, 10(1), 2–12. <https://doi.org/10.1089/G4H.2019.0159>
- Esmailpour, F., Letafatkar, A., Karimi, M. T., Khaleghi, M., Rossetini, G., & Villafañe, J. H. (2025). Comparative analysis of ground reaction forces and spatiotemporal gait parameters in older adults with sway-back posture and chronic low back pain: a cross-sectional study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/S13102-025-01126-1>
- Fernández-González, P., Koutsou, A., Cuesta-Gómez, A., Carratalá-Tejada, M., Miangolarra-Page, J. C., & Molina-Rueda, F. (2020). Reliability of Kinovea® Software and Agreement with a Three-Dimensional Motion System for Gait Analysis in Healthy Subjects. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 3154, 20(11), 3154. <https://doi.org/10.3390/S20113154>
- Ge, L., Wang, C., Zhou, H., Yu, Q., & Li, X. (2021). Effects of low back pain on balance performance in elderly people: a systematic review and meta-analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18(1), 8. <https://doi.org/10.1186/S11556-021-00263-Z>
-

- Georgiev, D. D., Georgieva, I., Gong, Z., Nanjappan, V., & Georgiev, G. V. (2021). Virtual Reality for Neurorehabilitation and Cognitive Enhancement. *Brain Sciences* 2021, Vol. 11, Page 221, 11(2), 221. <https://doi.org/10.3390/BRAINSCI11020221>
- Ghous, M., Masood, Q., Nawaz Malik, A., Afridi, A., & Mehmood, Q. (2024). 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 for Health Journal*, 13(3), 164–171. <https://doi.org/10.1089/G4H.2022.0205>
- Heuch, I., Heuch, I., Hagen, K., & Zwart, J. A. (2024). Overweight and obesity as risk factors for chronic low back pain: a new follow-up in the HUNT Study. *BMC Public Health* 2024 24:1, 24(1), 2618-. <https://doi.org/10.1186/S12889-024-20011-Z>
- Holowka, N. B., Kraft, T. S., Wallace, I. J., Gurven, M., & Venkataraman, V. V. (2022). Forest terrains influence walking kinematics among indigenous Tsimane of the Bolivian Amazon. *Evolutionary Human Sciences*, 4. <https://doi.org/10.1017/EHS.2022.13>
- Kinovea. (n.d.). Retrieved May 4, 2026, from <https://www.kinovea.org/>
- Kowalewska, P., Wójcik, M., Banaszak, A., Bernatowicz, K., Motyl, M., Wołodźko, P., Sauermann, M., Wołczek, M., Pietruszak, E., & Aniśko, B. (2026). Physical function, daily activities, and spinal pain in the elderly: A cross-sectional study. *PLOS One*, 21(3), e0344292. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0344292>
- Lee, H. J., Oh, J. H., Yoo, J. R., Ko, S. Y., Kang, J. H., Lee, S. K., Jeong, W., Seong, G. M., Kang, C. H., & Song, S. W. (2021). Prevalence of Low Back Pain and Associated Risk Factors among Farmers in Jeju. *Safety and Health at Work*, 12(4), 432. <https://doi.org/10.1016/J.SHAW.2021.06.003>
- Lee, K. (2021). Virtual reality gait training to promote balance and gait among older people: A randomized clinical trial. *Geriatrics (Switzerland)*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/GERIATRICS6010001>
- Li, X., Zhang, Y., Tang, L., Ye, L., & Tang, M. (2025). Effects of virtual reality-based interventions on cognitive function, emotional state, and quality of life in patients with mild cognitive impairment: a meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 16, 1496382. <https://doi.org/10.3389/FNEUR.2025.1496382/FULL>
- LI, J. U., & R, F. V. (2021). Sensibilidad y especificidad de la prueba Timed Up and Go. Tiempos de corte y edad en adultos mayores. *Revista Médica de Chile*, 149(9), 1302–1310. <https://www.revistamedicadechile.cl/index.php/rmedica/article/view/8752>
- Longo, G., & Desouzart, G. (2025). Physiotherapy Intervention on Functional Health in Aging on Functional Capacity, Risk of Falls, Cognitive Function, and Back Pain. *Osteology* 2025, Vol. 5, Page 10, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/OSTEOLOGY5010010>
- Lumbalgia. (n.d.). Retrieved April 25, 2026, from <https://www.who.int/news-room/fact->
-

sheets/detail/low-back-pain

- Ma, J. (2022, February 16). Comparison on gait characteristics between controlled and free-living conditions in old adults - ProQuest. <https://www.proquest.com/docview/2629522336/C717669FF25F40AFPQ/1?accountid=36765&sourcetype=Working%20Papers>
- Masson Palacios, I., Vinueza-Fernandez, I., Iñiguez-Jiminez, S. O., Grijalva, M. J., & Bates, B. R. (2025). Predictors of Low Back Pain Risk Among Farmers in Rural Communities of Loja, Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/IJERPH22060885>
- Meta Quest 3S: visor de realidad virtual de última generación | Tienda de Meta (es-US). (n.d.). Retrieved May 4, 2026, from https://www.meta.com/us/es/quest/quest-3s/?srsltid=AfmBOoraSfjU_XX8JAm0e_R5_0dxnFLwmUqzRtgjHWW4QxyurhKv5w10
- Monzón, A. M. (2022). Evaluación del test Timed Up And Go en adultos mayores. *Argentinian Journal of Respiratory & Physical Therapy*, 4(2), 55–59. <https://doi.org/10.58172/AJRPT.V4I2.225>
- Muhla, F., Clanché, F., Duclos, K., Meyer, P., Maïaux, S., Colnat-Coulbois, S., & Gauchard, G. C. (2020). Impact of using immersive virtual reality over time and steps in the Timed Up and Go test in elderly people. *PLOS ONE*, 15(3), e0229594. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0229594>
- Natarajan, P., Fonseka, R. D., Kim, S., Betteridge, C., Maharaj, M., & Mobbs, R. J. (2022). Analysing gait patterns in degenerative lumbar spine diseases: a literature review. *Journal of Spine Surgery*, 8(1), 139–148. <https://doi.org/10.21037/JSS-21-91/COIF>
- Nimmaanrat, S., Thepsuwan, A., Tipchatyotin, S., & Jensen, M. P. (2024). Measuring pain intensity in older patients: a comparison of five scales. *BMC Geriatrics*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/S12877-024-05127-6>
- Nishi, Y., Shigetoh, H., Fujii, R., Osumi, M., & Morioka, S. (2021). Changes in trunk variability and stability of gait in patients with chronic low back pain: Impact of laboratory versus daily-living environments. *Journal of Pain Research*, 14, 1675–1686. <https://doi.org/10.2147/JPR.S310775>
- Nithiatthawanon, T., Teesintanakorn, A., Sanjai, C., Hengchanoknun, K., Saikaew, N., Simarattamongkhon, S., Chaikereee, N., & Boonsinsukh, R. (2024). Concurrent validity of two-dimensional motion analysis using Kinovea for measuring spatiotemporal gait parameters in healthy individuals. *Archives of Allied Health Sciences*, 36(3), 21–30. <https://doi.org/10.14456/ARCH-AHS>
- Noh, B., Youm, C., Lee, M., & Park, H. (2020). Associating Gait Phase and Physical Fitness with Global Cognitive Function in the Aged. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, Vol. 17, Page 4786, 17(13), 4786. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17134786>
-

- Organización Mundial de la Salud. (n.d.). Envejecimiento y salud. Retrieved May 4, 2026, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health?utm>
- Papi, E., Bull, A. M. J., & McGregor, A. H. (2020). Alteration of movement patterns in low back pain assessed by Statistical Parametric Mapping. *Journal of Biomechanics*, 100, 109597. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2019.109597>
- Riva, G., Mancuso, V., Cavedoni, S., & Stramba-Badiale, C. (2020). Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains. *Expert Review of Medical Devices*, 17(10), 1035–1061. <https://doi.org/10.1080/17434440.2020.1825939>
- Rudisch, J., Jöllenbeck, T., Vogt, L., Cordes, T., Klotzbier, T. J., Vogel, O., & Wollesen, B. (2021). Agreement and consistency of five different clinical gait analysis systems in the assessment of spatiotemporal gait parameters. *Gait & Posture*, 85, 55–64. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2021.01.013>
- Ruiz-Fernandez, C., Schol, J., Ambrosio, L., & Sakai, D. (2025). The Vicious Cycle of Obesity and Low Back Pain: A Comprehensive Review. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 6660, 15(12), 6660. <https://doi.org/10.3390/APP15126660>
- Shideler, B. L., Martelli, D., Prado, A., & Agrawal, S. K. (2021). Overground gait training using virtual reality aimed at gait symmetry. *Human Movement Science*, 76, 102770. <https://doi.org/10.1016/J.HUMOV.2021.102770>
- Smith, J. A., Stabbert, H., Bagwell, J. J., Teng, H. L., Wade, V., & Lee, S. P. (2022). Do people with low back pain walk differently? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 11(4), 450–465. <https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2022.02.001>
- SurrIDGE, R., Stilp, C., Johnson, C., & Brumitt, J. (2025). The Use of Virtual Reality to Improve Gait and Balance in Patients with Parkinson’s Disease: A Scoping Review. *Virtual Worlds* 2025, Vol. 4, Page 13, 4(2), 13. <https://doi.org/10.3390/VIRTUALWORLDS4020013>
- Welsh, T. P., Yang, A. E., & Makris, U. E. (2020). Musculoskeletal Pain in Older Adults: A Clinical Review. *The Medical Clinics of North America*, 104(5), 855. <https://doi.org/10.1016/J.MCNA.2020.05.002>
- Williams, S. A., Sharma, S., Cashin, A. G., Jones, M. D., Chiarotto, A., Hansford, H. J., Venter, M., Wewege, M. A., Ferraro, M. C., Devonshire, J. J., Gustin, S. M., Ostelo, R. W., & McAuley, J. H. (2025). Test-retest reliability and measurement error of the numerical rating scale and visual analogue scale in people with low back pain. *Journal of Pain*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2025.105528>
- Xu, S., Chen, J., Wang, C., Lin, Y., Huang, W., Zhou, H., Ji, W., & Chen, Y. (2025). Global, regional, and national burden of low back pain for adults aged 55 and older 1990–2021: an analysis for the global burden of disease study 2021. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2025 26:1, 26(1), 81-. <https://doi.org/10.1186/S12891-025-08326-3>
-

- Zhai, M., Huang, Y., Zhou, S., Jin, Y., Feng, J., Pei, C., Wen, L., & Wen's, L. (2023). Effects of age-related changes in trunk and lower limb range of motion on gait. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2023 24:1, 24(1), 234-. <https://doi.org/10.1186/S12891-023-06301-4>
- Zhang, B., Li, D., Liu, Y., Wang, J., & Xiao, Q. (2021). Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Advanced Nursing*, 77(8), 3255–3273. <https://doi.org/10.1111/JAN.14800;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Zhang, C., Lv, B., Yi, Q., Qiu, G., & Wu, F. (2025). Global, regional, and national burden of low back pain in working-age population from 1990 to 2021 and projections for 2050. *Frontiers in Public Health*, 13, 1559355. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2025.1559355/TEXT>.
-