

Explorando el Potencial de la WBB Modificada: Un Estudio Preliminar en la Evaluación del Equilibrio y la Prevención de Caídas en Entornos Clínicos

Exploring the Potential of Modified WBB: A Preliminary Study on Balance Assessment and Fall Prevention in Clinical Setting

Azucena Eunice Jiménez-Corona^a

azucena_jimenez@uaeh.edu.mx

Estefanía Olivares-Palacios^b

ol397073@uaeh.edu.mx

Aislinn Joally Ramírez-Méndez^b

ra397373@uaeh.edu.mx

Marisa Bautista-Lara^b

ba399821@uaeh.edu.mx

Domínguez Vega Zeus Tlaltecutili^c

ztdominguezv@uaemex.mx

Rigoberto Martínez-Méndez^c

rmartinezme@uaemex.mx

^a Autor de correspondencia: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Huejutla.

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Huejutla, Lic. Enfermería.

^c Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de ingeniería.

Resumen

La prevención de caídas, fuente principal de lesiones y mortalidad en adultos, se puede mejorar por medio de una adecuada evaluación del equilibrio. No obstante, el alto costo y complejidad de las herramientas actuales limitan su aplicación, particularmente en clínicas de atención primaria. Surge así la necesidad de metodologías más accesibles y económicas para optimizar el cuidado de salud en este segmento poblacional.

En el presente artículo se introduce un estudio que explora la aplicabilidad de una versión mejorada de la Wii Balance Board (WBBm). Este dispositivo, de bajo costo y portabilidad, ha sido respaldado por diversos investigadores en términos de validez. La muestra consistió en 95 adultos, con edades comprendidas entre 40 y 85 años, quienes fueron evaluados con la WBBm con el fin de correlacionar mediciones del Centro de Presión (CoP) con parámetros clínicos y antropométricos.

La investigación reveló que la WBBm proporciona señales efectivas para una evaluación cuantitativa del equilibrio y su uso es intuitivo y expedito. Sin embargo, se destaca que la interpretación del CoP está influenciada por múltiples variables clínicas y antropométricas. Esto sugiere la necesidad de cautela al generalizar la aplicabilidad de estas técnicas en una población diversa.

Para concluir, aunque queda camino por recorrer en esta área de investigación, la WBBm emerge como una herramienta con un alto potencial. Su adaptabilidad y practicidad pueden facilitar una valoración más eficiente del equilibrio en entornos clínicos de atención primaria.

Palabras clave: *equilibrio, adultos mayores, riesgo de caídas, enfermedades crónicas, centro de presión, plataforma biomecánica*

Abstract

Fall prevention, a major source of injury and mortality in adults, can be improved through proper balance assessment. However, the high cost and complexity of current tools limit their application, particularly in primary care clinics. There arises the need for more accessible and economical methodologies to optimize healthcare in this population segment.

In the present article, we introduce a study that explores the applicability of an enhanced version of the Wii Balance Board (WBBm). This low-cost and portable device has been supported by various researchers in terms of validity. The sample consisted of 95 adults, aged between 40 and 85, who were evaluated with the WBBm in order to correlate Center of Pressure (CoP) measurements with clinical and anthropometric parameters.

The research revealed that the WBBm provides effective signals for a quantitative assessment of balance and its use is intuitive and expedient. However, it is noted that the interpretation of the CoP is influenced by multiple clinical and anthropometric variables. This suggests the need for caution when generalizing the applicability of these techniques to a diverse population.

In conclusion, although there is still work to be done in this research area, the WBBm emerges as a tool with high potential. Its adaptability and practicality can facilitate a more efficient assessment of balance in primary care clinical settings.

Keywords: *Balance, Older Adults, Fall Risk, Chronic Diseases, Center of Pressure, Biomechanical Platform*

1 Introducción

La evaluación del equilibrio humano es un tema crítico en la salud y bienestar de individuos, especialmente en la población de adultos mayores. La pérdida de equilibrio y las caídas relacionadas son problemas comunes y graves en esta población, lo que lleva a una alta incidencia de lesiones y una disminución de la calidad de vida, (Center for Disease Control and Prevention, 2023; Gerardo et al., 2018; Rubenstein, 2006).

La obesidad y otras condiciones crónicas, así como el envejecimiento, también han sido relacionadas con un mayor riesgo de pérdida de equilibrio y caídas (Bruce et al., 2015; Fahimfar et al., 2022; Martínez, 2018). Estos factores pueden afectar negativamente la estabilidad postural y aumentar el riesgo de caídas, resultando en graves consecuencias para la salud como fracturas y mayor dependencia en las actividades diarias.

En este sentido, la medición precisa y efectiva del equilibrio se convierte en un aspecto esencial para la prevención, tratamiento, y rehabilitación en diversos campos médicos y biomecánicos (García Tirado, 2015; Peydro de Moya et al., 2005). A pesar de su importancia, los métodos convencionales para medir el equilibrio pueden ser costosos, invasivos, o inaccesibles en ciertos entornos. Las plataformas de fuerza tradicionales han sido ampliamente utilizadas, pero su alto costo limita su aplicación en entornos clínicos y de investigación más accesibles (Díaz & Mancilla, 2017).

Para profesionales de la salud, tales como médicos y enfermeras, un dispositivo con estas características reviste gran valor. Facilita una evaluación más ágil y precisa del riesgo de caídas, posibilitando intervenciones preventivas más acertadas. La monitorización en tiempo real del equilibrio y estabilidad puede ser una herramienta clave en rehabilitación y terapia personalizada, potenciando la eficacia del tratamiento y optimizando los recursos sanitarios. Hospitales en España, como el Hospital Nisa Sevilla Aljarafe, el Hospital Nisa Valencia al Mar y la Universidad Politécnica de Valencia, han reportado experiencias positivas en este ámbito. En particular, han implementado un programa para la Wii denominado eBaVIR, que combina la plataforma con ejercicio virtual para la rehabilitación de pacientes con daño cerebral adquirido. Esta solución ha demostrado ser una alternativa viable a la fisioterapia convencional, logrando resultados comparables (Gil-Gómez et al., 2011).

En este contexto, la Wii Balance Board (WBB) ha surgido como un instrumento prometedor para la evaluación del equilibrio. Pese a su diseño original orientado a videojuegos, diversos estudios han validado la WBB como un medio fiable y efectivo para medir el equilibrio en variadas poblaciones (Clark et al., 2010; Estevez Pedraza, 2017; Huurnink et al., 2013).

El propósito de este artículo es presentar una adaptación en hardware y firmware de la WBB, transformándola en un dispositivo portátil y asequible para evaluar el equilibrio. Esta adaptación se correlaciona con variables antropométricas en distintos contextos. La principal innovación de esta investigación radica en la reconfiguración de una tecnología ya existente hacia un instrumento eficiente y económico, con aplicaciones relevantes en áreas como la rehabilitación física, investigación biomecánica y entrenamiento deportivo. Esta adaptación ofrece una solución alternativa y efectiva frente a los métodos convencionales de medición del equilibrio.

En la sección de metodología se detallará el diseño del dispositivo, la elección de los participantes y los métodos de análisis aplicados, incluyendo referencias pertinentes en estas áreas

2 Metodología

2.1 Diseño del Estudio

Este estudio se llevó a cabo con un enfoque observacional, descriptivo y transversal, con el objetivo principal de caracterizar la población en términos de equilibrio y correlacionar estos datos con varios indicadores antropométricos y de salud.

La naturaleza observacional del estudio permitió una exploración detallada y no invasiva de las características de equilibrio en la muestra seleccionada. Al utilizar la Wii Balance Board modificada (WBBm), se buscó evaluar la funcionalidad de esta herramienta en un entorno real, analizando su aplicabilidad y eficacia en comparación con métodos convencionales de evaluación del equilibrio.

Para garantizar una evaluación integral, se implementaron herramientas de evaluación validadas, como el Test up and Go (TUG) y la prueba de Romberg, en conjunción el uso de la WBBm (Bruce et al., 2015). Estos métodos proporcionaron una base para analizar la capacidad del cuerpo para mantener el equilibrio y registrar el desplazamiento del centro de presión (CoP).

El diseño transversal permitió la recolección simultánea de información sobre la postura, el equilibrio, y las variables de salud y estilo de vida relacionadas en un momento específico. Esto facilitó una representación instantánea de la población, contribuyendo a una comprensión más profunda de la interrelación entre estas variables en un entorno clínico.

En resumen, el diseño de este estudio proporciona una estructura metódica y replicable, centrada en la exploración y caracterización de la población en términos de equilibrio y su relación con las variables antropométricas y de salud. La metodología empleada subraya la utilidad de las tecnologías accesibles y económicas en la evaluación del equilibrio, lo que puede tener aplicaciones significativas en campos como el diagnóstico clínico, el seguimiento, la rehabilitación física, la investigación biomecánica y el entrenamiento deportivo.

2.2 Participantes del estudio

En el estudio participaron adultos de entre 40 y 85 años, derechohabientes de la Clínica Hospital ISSSTE Huejutla, con antecedentes de caídas o accidentes relacionados con el equilibrio y con normopeso, sobrepeso u obesidad. Los criterios de exclusión fueron específicos y se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1 Criterios de inclusión y exclusión

Criterios	Descripción
Inclusión	Adultos (hombres o mujeres) mayores de 40 a 85 años
	Ser derechohabiente de la Clínica Hospital ISSSTE Huejutla
	Antecedentes de caídas o accidentes relacionados con el equilibrio
	Normopeso, sobrepeso u obesidad
	Condiciones de vida no idóneas
Exclusión	No tener la edad de 40 a 85 años
	No ser derechohabiente de la Clínica Hospital ISSSTE Huejutla
	Enfermedades ortopédicas o neurológicas
	Consumo de alcohol

Reclutamiento y Consentimiento

Se sensibilizó a la población de derechohabientes de la Clínica Hospital ISSSTE-Huejutla a través de pláticas, folletos y trípticos, explicando el objetivo del estudio (ver Fig. 1). Todos los participantes proporcionaron su consentimiento informado antes de la participación en el estudio, en cumplimiento con la confidencialidad de acuerdo con el artículo 6 inciso A y 16°, y se les entregó una copia de este. El protocolo de la investigación fue revisado y aprobado por el Comité de Ética e Investigación del Instituto de Ciencias de la salud (Oficio Comiteei.icsa 023/2022) y de la Clínica-Hospital del ISSSTE de Huejutla, Hidalgo.



Fig. 1 Invitación a participar en el proyecto, explicándoles el objetivo del estudio.

La población evaluada consistió en 95 participantes, incluyendo 32 hombres y 63 mujeres, con edades, pesos y tallas que abarcaron un amplio rango. (Véase la Tabla 2 para una descripción detallada de las características antropométricas de la muestra).

Tabla 2 Características antropométricas de la muestra poblacional participante.

<i>Característica</i>	<i>Hombres rango, (promedio $\pm$ SD)</i>	<i>Mujeres rango, (promedio $\pm$ SD)</i>	<i>Total rango, (promedio $\pm$ SD)</i>
<i>Número</i>	32	63	95
<i>Edad (años)</i>	41-83 (61.12 $\pm$ 8.32)	48-75 (63.81 $\pm$ 7.26)	41-83 (59.75 $\pm$ 8.55)
<i>Peso (kg)</i>	35.40-112.50 (66.67 $\pm$ 12.97)	49.00-92.50 (72.37 $\pm$ 9.88)	35.40-112.50 (63.78 $\pm$ 13.46)
<i>Talla (m)</i>	1.30-1.83 (1.56 $\pm$ 0.08)	1.50-1.83 (1.63 $\pm$ 0.06)	1.30-1.69 (1.52 $\pm$ 0.07)

La mayoría de los participantes son de la comunidad de Huejutla y sus alrededores, incluyendo personas dedicadas al campo, amas de casa, docentes, secretarías, pensionados y jubilados. Esta selección proporciona una muestra representativa de la población adulta de la región, enfocada en individuos con antecedentes de caídas o problemas de equilibrio, en un rango de edad de 40 a 85 años.

2.3 Instrumentación

Para utilizar la estructura de la WBB (Wii Balance Board), se llevó a cabo una modificación en su circuitería, con el objetivo de asegurar una frecuencia de muestreo estable a 50 Hz sin pérdida de datos. Esta modificación implicó una mejora en la tarjeta principal de la tarjeta, permitiendo controlar los convertidores analógico-digitales (ADC) mediante el ESP32 para leer los datos de los sensores de la plataforma (Joan, 2017/2017). Los detalles de estas modificaciones se pueden apreciar en la Fig. 2.

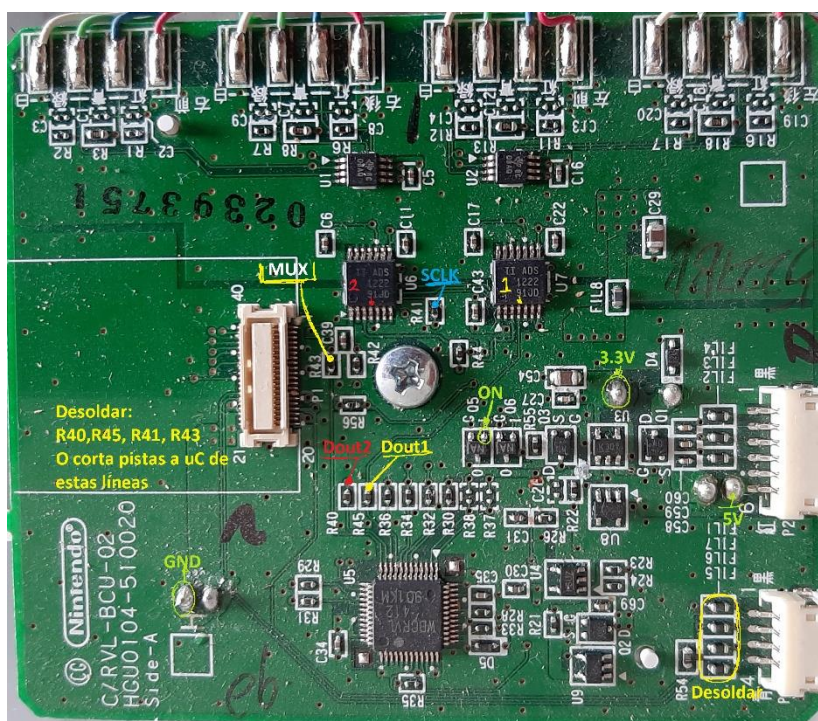


Fig. 2 Modificaciones a la tarjeta original de la WBB, basadas en (Joan, 2017).

Tras realizar las modificaciones necesarias, se conectaron los componentes a la tarjeta ESP32. Simultáneamente, se diseñó un circuito electrónico para controlar una pantalla OLED, botones y un buzzer, creando así una interfaz de usuario. Se incorporó un módulo RTC para registrar la fecha y hora de cada prueba, facilitando la identificación de los pacientes. Cada archivo de datos se almacena con la fecha y hora en una tarjeta microSD. La Fig. 3 ilustra los principales componentes electrónicos y las modificaciones hechas a la WBB.

La estructura y los sensores no sufrieron cambios, manteniendo así la capacidad de la WBB para adquirir señales del Centro de Presión (CoP) de manera similar a las plataformas comerciales, tal como se validó anteriormente (Clark et al., 2010). Además, se mejoró su desempeño al garantizar una frecuencia de muestreo estable.

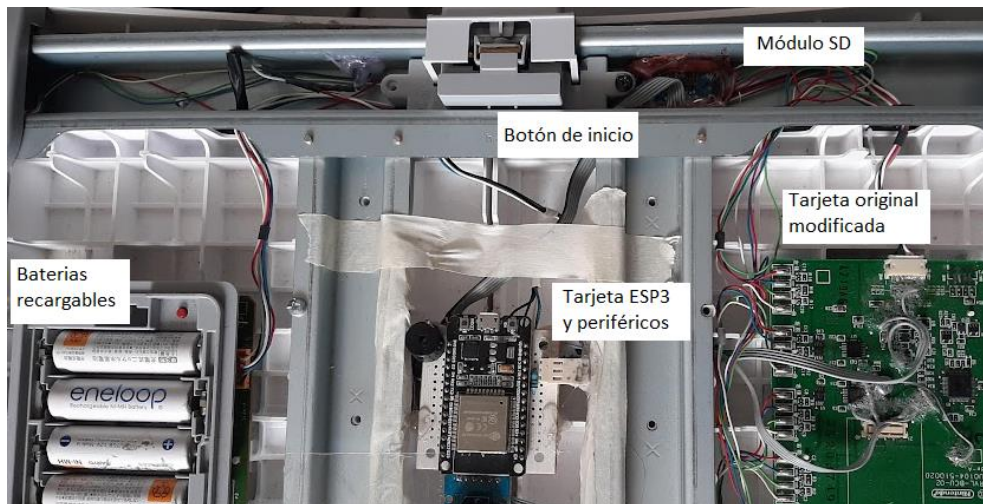


Fig. 3 Modificaciones y circuitos de control de la WBBm.

En la Fig. 4 se muestra la plataforma en su presentación final. Se puede observar que el tamaño se mantiene sin cambios, así como la estructura, por lo que las pruebas realizadas por (Clark et al., 2010), donde asegura la validez y confiabilidad de la plataforma, se pueden considerar válidas también para esta versión. Una versión similar, pero empleando un tipo diferente de pantalla, diferente microcontrolador y enfocada en la evaluación de riesgo de caída fue publicada en (Estevez Pedraza, 2017).



Fig. 4 Presentación final de la WBBm con sus partes principales.

La Fig. 5 presenta un diagrama de flujo simplificado del firmware programado en la tarjeta ESP32 para el control de la WBB. El procedimiento para el paciente es similar al uso de una báscula de baño. El paciente debe pararse sobre la plataforma y seguir las indicaciones visuales y auditivas para completar una prueba de 80 segundos. La prueba puede realizarse rápidamente, sin tomar más de 2 minutos del tiempo de una consulta normal en cualquier centro de atención de salud primario.

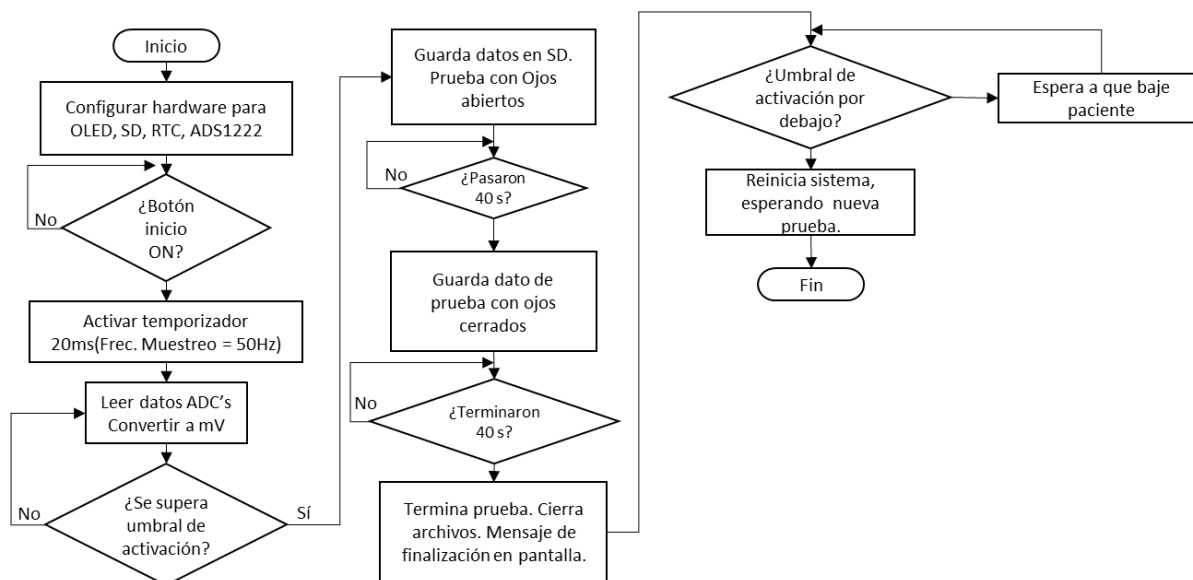


Fig. 5 Diagrama de flujo del firmware programado en la tarjeta ESP32 para el control de la WBBm.

En conclusión, esta plataforma de bajo costo podría simplificar la recolección de datos cuantitativos relacionados con el equilibrio de los pacientes. La información recopilada podría ser valiosa tanto para el personal médico como para los investigadores interesados en desarrollar modelos de predicción para caídas o equilibrio, y su relación con parámetros físicos o neurológicos individuales

2.3 Protocolo de recopilación de datos clínicos y de equilibrio

Como ya se mencionó en la subsección Participantes del estudio, se invitó libremente a los pacientes de la Clínica Hospital ISSSTE-Huejutla para participar en el estudio. A todos los 95 participantes incluidos en el estudio se les aplicó el siguiente protocolo:

2. 3.1 Medición de datos clínicos

1. Signos Vitales: Medición de signos vitales, incluyendo la presión arterial utilizando el Kit Simple Baumanómetro Anaeroide Eco Negro CheckAteck.
2. Medición Anatómica: Medición de circunferencia de abdomen, brazo y muñeca mediante el uso de una cinta métrica Lufkin (Executive Thinline).
3. Composición Corporal y Peso: Utilizando el sistema comercial TANITA FitScan (Modelo BC-730F), se obtuvieron parámetros como índice de grasa corporal, índice de masa ósea, porcentaje de agua, etc.
4. Estado Emocional: Evaluación utilizando la escala CES-D7 (Center for Epidemiologic Studies Depression Scale-7) (Okun et al., 1996).
5. Índice de Comorbilidad de Charlson: Puntuación basada en patologías diagnosticadas (Charlson et al., 2022).
6. Cuestionario de Caídas: Enfocado en caídas experimentadas en el último año (Tinetti et al., 1986).
7. Índice de Barthel: Utilizado para evaluar la capacidad de un individuo para realizar actividades básicas de la vida diaria (AVD) (Bernabeu-Wittel et al., 2019).

La Fig. 6 muestra a una participante del estudio y al personal de salud mientras realizan la toma de datos clínicos.



Fig. 6 Recopilando los datos clínicos.

2. 3. 2 Evaluación de Equilibrio

1. Ejercicios Iniciales: Incluyendo levantamiento y sentado de una silla, y ejercicios de equilibrio en diversas posiciones.
2. Evaluación de la Marcha: Evaluación del desempeño físico en una distancia de 4.6 metros.
3. Test de Estación Unipodal: Prueba específica para adultos mayores para prevenir el riesgo de caídas.
4. Prueba de Romberg: Utilizando una plataforma biomecánica para medir el Centro de Presión (CoP) (Gallamini et al., 2021).

La Fig. 7 muestra una de las participantes realizando la prueba de Romberg.



Fig. 7 Paciente realizando la prueba de Romberg utilizando la plataforma WBBm.

2. 3. 3 Evaluación de Bioimpedancia

El monitor de composición corporal TANITA FitScan Modelo BC-730F se utilizó para medir diversas variables corporales utilizando el método de bioimpedancia. Es importante mencionar que las personas con marcapasos no deben hacer uso de este dispositivo.

Además de las pruebas de equilibrio, se recopilaron datos sobre diversas variables, incluyendo edad, sexo, presión arterial en dos posiciones, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, SPO2, IMC y medidas de bioimpedancia.

Este enfoque integral permite una visión completa de la salud y el estado nutricional de los individuos, y las evaluaciones realizadas pueden ser útiles para monitorear los cambios en la capacidad funcional a lo largo del tiempo y para determinar la necesidad de asistencia o intervenciones terapéuticas.

2.4 Análisis de datos

En el marco de esta investigación, la prioridad se estableció en el desarrollo de la plataforma WBBm y la implementación del protocolo de recolección de datos, dejando un análisis minucioso de la información para posteriores etapas. Los datos obtenidos se estructuraron y almacenaron en una base específica y se procesaron mediante el software Matlab 2023a para un análisis exploratorio inicial.

Se empleó Matlab 2023a, un entorno de programación de alto nivel, para el procesamiento y visualización de datos. Se generaron gráficos que proporcionan una mirada inicial a la información recolectada, útiles para discernir tendencias, patrones y posibles correlaciones entre variables.

Además, se estimaron métricas de evaluación del equilibrio previamente descritas por (Quijoux et al., 2021). Dichas métricas son ampliamente reconocidas en el análisis y evaluación del equilibrio, siendo esenciales para el diagnóstico y evaluación de pacientes con problemas de balance. También se efectuó una comparación entre los resultados obtenidos en este estudio y los reportados por (Santos & Duarte, 2016). Lo anterior con el fin de comparar si los resultados obtenidos en las mediciones realizadas en este estudio son comparables con otros métodos convencionales, como las plataformas de fuerza.

La velocidad del CoP es una de las métricas derivadas más empleadas para evaluar el equilibrio (Quijoux et al., 2021). Por ello, se optó por esta métrica para un análisis estadístico adicional. Con el objetivo de explorar las diferencias entre quienes han sufrido caídas y quienes no en el conjunto de datos del estudio, se realizó una prueba t de dos muestras. Para investigar la influencia de la edad en el análisis, se aplicó un ANCOVA para detectar diferencias en los dos grupos, considerando la edad como covariable.

Es pertinente mencionar que el análisis exhaustivo de la base de datos y la potencial creación de modelos predictivos entre las variables exceden el propósito del presente artículo. Se prevé un análisis más detenido en futuras publicaciones, donde se ahondará en la interpretación y modelado de la información.

Para concluir, aunque el análisis presentado en este artículo es preliminar, la estructuración y recolección de datos sientan las bases para futuras investigaciones y análisis de mayor profundidad."

3 Resultados

Para validar la precisión del dispositivo desarrollado en este trabajo, se llevó a cabo una comparación de los promedios obtenidos de diversas variables del CoP con resultados de dos estudios anteriores. Quijoux et al., en 2021, condujeron una revisión de las métricas derivadas del CoP más frecuentemente empleadas en la evaluación del equilibrio en adultos mayores (133 participantes mayores de 60 años). Este estudio reportó valores promedio usando una WBB (Quijoux et al., 2021). Paralelamente, Santos et al., en 2016, efectuaron mediciones empleando una plataforma de fuerza (OPT400600-1000, AMTI) en un conjunto de 163 sujetos con edades comprendidas entre los 18 y 85 años, y posteriormente publicaron su base de datos (Santos & Duarte, 2016).

Para determinar la congruencia entre los datos obtenidos en este trabajo y los mencionados anteriormente, se calcularon idénticas métricas (41 en total, tal como se reportan en (Quijoux et al., 2021) y se representaron gráficamente. La Figura 8 ilustra que, si bien existen diferencias en las amplitudes, todas las variables siguen tendencias similares.

Un análisis de correlación reveló un coeficiente superior a $r=0.97$ al comparar las variables de este estudio con las de Santos et al. y Quijoux et al. Esto sugiere que, a excepción de las amplitudes, los valores son consistentes entre los estudios. Las discrepancias en las amplitudes podrían atribuirse a la diversidad de la población examinada en este estudio o a la sensibilidad del instrumento utilizado. Esta particularidad amerita un análisis más profundo en investigaciones subsecuentes.

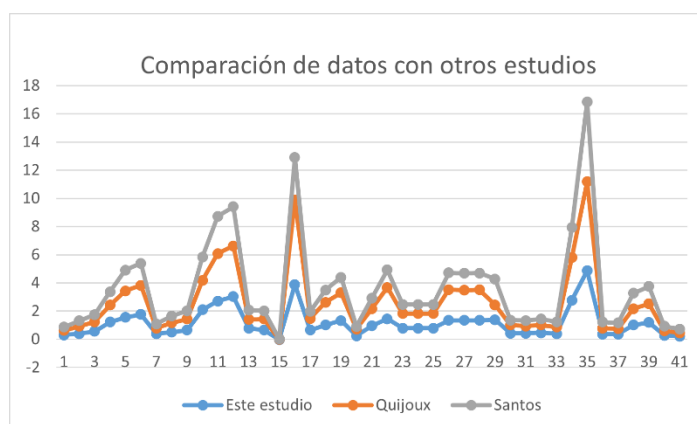


Fig. 8 Comparación de los valores obtenidos con la WBBm y los datos obtenidos por otros investigadores. El eje vertical está en unidades en cm. En el eje horizontal, cada numeral indica una de las variables analizadas en esos estudios, todas derivadas del CoP.

A continuación, se presentan los resultados preliminares del análisis de datos obtenidos mediante la plataforma WBBm, centrados en el estudio de las señales de desplazamiento medio-lateral (ML) y antero-posterior (AP). Las figuras a continuación representan las observaciones de uno de los participantes.

En la Fig. 9, se muestran las señales de desplazamiento del Centro de Presión (CoP) comparando las condiciones con ojos abiertos (OA) y con ojos cerrados (OC) durante la prueba de Romberg.

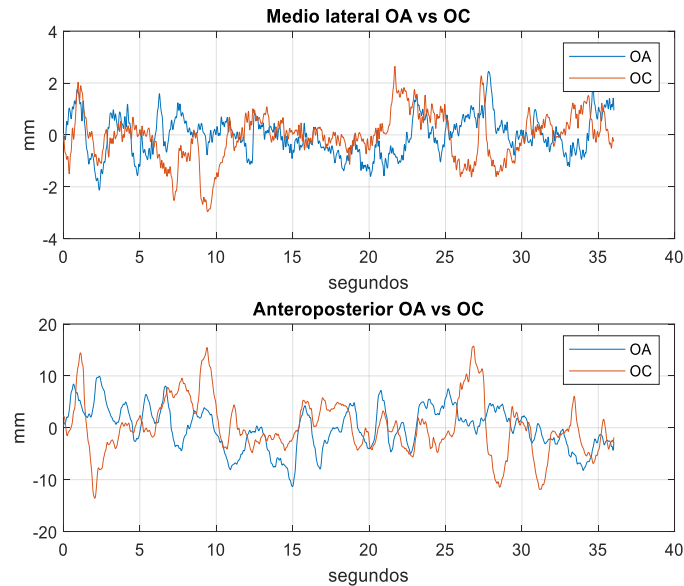


Fig. 9 Señales de desplazamiento del CoP obtenidas de un participante.

Para este participante, la frecuencia de la señal aumenta notablemente con los ojos cerrados, lo cual es un indicativo claro del efecto en el equilibrio. Así mismo, se pueden ver amplitudes de señal más grandes con los ojos cerrados. Esta tendencia se suele representar mejor mediante estabilogramas. En la Fig. 10, se observa el estabilograma para las condiciones de ojos abiertos, con el de ojos cerrados sobrepuesto, revelando que el área de desplazamiento se incrementa cuando el participante cerró los ojos.

El análisis de estas señales, junto con su posterior análisis en Matlab, permitirá extraer valores característicos y cuantificables de cada participante. La correlación de estos datos con variables clínicas contribuirá al desarrollo de modelos predictivos basados en las mediciones del CoP. Estos modelos pueden ofrecer herramientas de apoyo valiosas en el diagnóstico y seguimiento de los pacientes.

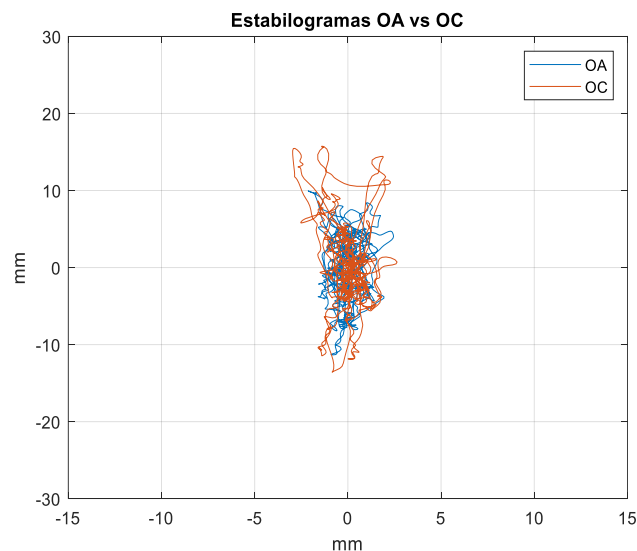


Fig. 10 Estabilograma comparativo entre ojos cerrados y ojos abiertos.

Dentro de la medición de datos clínicos, se les preguntó sobre el número de caídas que habían tenido en el último año. La literatura menciona que una persona con más caídas suele presentar un decrecimiento en su equilibrio y eso debería poderse evaluar utilizando las mediciones derivadas del CoP. Un meta análisis sobre este tema sugiere el cálculo del área de balanceo con los ojos cerrados (AREACCOC) como uno de los parámetros más relacionados con esto y que podría discriminar entre los participantes que se han caído una o más veces (Kozinc et al., 2020) .

Con el fin de probar esto se separaron los participantes en tres grupos (0 caídas; 1 caída; 2 o más caídas. Y se calculó el promedio de valor del área de su balanceo con ojos cerrados. El resultado se puede observar en la Fig. 11. No se ve una relación como la esperada (mayor valor de AREACCOC a mayor número de caídas), además, la variabilidad de los datos es muy grande. Por lo que estadísticamente no hay diferencia entre los grupos.

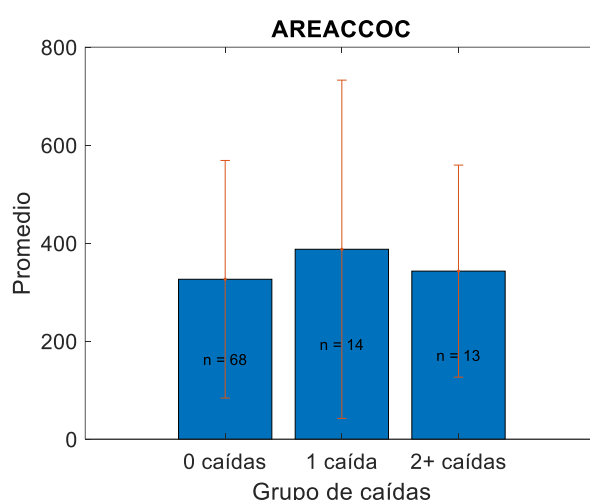


Fig. 11 Valores promedio y SD del valor del área de balanceo (mm²), separados en grupos por número de caídas en el último año.

Una gráfica de dispersión de datos del valor del AREACCOC con respecto a la edad, muestra con más detalle la gran dispersión de datos, ver Fig. 12.

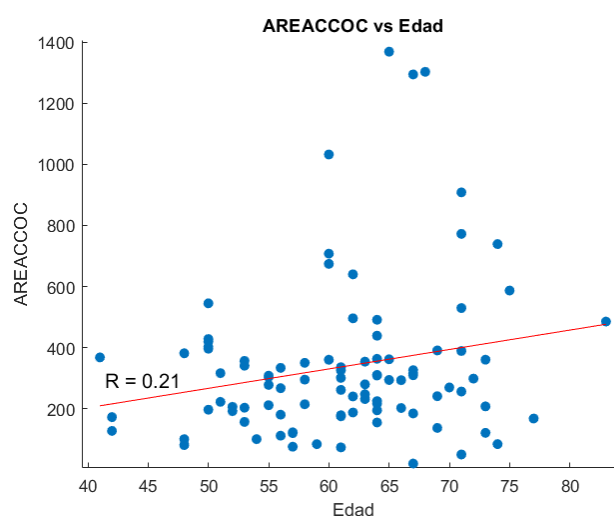


Fig. 12 Gráfica de dispersión de datos de AREACCOC vs Edad.

Hay dos factores que podrían explicar esta discrepancia con el estado del arte.

1. El rango de edad empleado en este estudio es de 41 a 85 años. En el estado del arte se mencionan grupos 65 años hacia arriba.

2. El grupo en este estudio son personas con diversas enfermedades, ya sean crónicas o temporales. En la Fig. 12 se observa la distribución de los participantes por número de enfermedades crónicas que padecen y divididos por sexo. Mientras que, en el estado del arte, generalmente son grupos homogéneos, relativamente sanos o no mencionan esas características.

Fig. 13 Cantidad de participantes con enfermedades crónicas, por sexo.

En el marco de la presente investigación, se trabajó con una muestra poblacional caracterizada por su notable heterogeneidad en aspectos antropométricos, clínicos y etarios. Detalles específicos de las características de esta muestra se detallan en la Tabla 3. Esta diversidad de sujetos introduce una complejidad adicional al estudio. A menudo, la literatura existente ha validado la posibilidad de determinar el riesgo de caídas o perturbaciones del equilibrio en cohortes más homogéneas, típicamente enfocándose en poblaciones geriátricas.

Tabla 3 Algunas características de la muestra participante en este estudio.

VARIABLE	N	%
Edad	95	100
Sexo		
Mujeres	62	65.26
Hombres	33	34.73
IMC (índice de masa corporal)		
Desnutrición	1	1.05
Normopeso	33	34.73
Sobrepeso	34	35.78
Obesidad grado I	19	20
Obesidad grado II	7	7.36
Obesidad grado III	1	1.05
Frecuencia cardiaca		
Bradicardia	6	6.31
Normal	89	93.68
Taquicardia	0	0
Frecuencia respiratoria		
Bradipnea	1	1.05
Eupnea	59	62.10
Taquipnea	35	36.84
Tensión arterial		
Presión arterial óptima	29	30.5
Presión arterial subóptima	53	55.8
Presión arterial límite	9	9.5
Hipertensión grado I	2	2.1
Hipertensión grado II	2	2.1
Hipertensión grado III	0	0
Bioimpedancia Tanita	91	95.78
Circunferencias corporales	23	24.21

No obstante, la variedad inherente a la muestra seleccionada para esta investigación brinda una oportunidad para construir una base de datos más amplia y diversa. Esta base será importante para evaluar, con mayor precisión, las capacidades predictivas de algoritmos y modelos propuestos en el estado del arte actual. Estos análisis e investigaciones serán objeto de futuras publicaciones.

Análisis ANCOVA

Dado que a través de un análisis estadístico descriptivo no se pudo observar diferencias significativas entre los grupos, se recurrió de manera preliminar al análisis ANCOVA (Análisis de Covarianza). El ANCOVA es una técnica estadística que combina los principios del ANOVA y la regresión. Es especialmente útil para ajustar o controlar la variabilidad de una o más variables covariables continuas que pueden estar influenciando la variable dependiente. De esta forma, ANCOVA permite evaluar las diferencias entre las medias de grupos ajustando simultáneamente los efectos de una o más covariables, lo cual puede mejorar la precisión y validez de las pruebas.

Sin embargo, antes de aplicar este tipo de análisis, se deben cumplir algunas consideraciones, entre ellas la normalidad de datos. De manera preliminar, ya que en futuros trabajos se realizará un análisis más exhaustivo, se realizó el análisis ANCOVA en la variable derivada del CoP llamada Velocidad Media en direcciones Medio-lateral (ML) y Anteroposterior (AP) (Quijoux et al., 2021). La distribución de datos no es normal, así que se realizó una transformación logarítmica para cumplir con este criterio. La transformación logarítmica fue seleccionada debido a su capacidad para estabilizar la varianza y reducir el sesgo en los datos con distribuciones asimétricas o con colas pesadas. Esta transformación es particularmente eficaz para datos que crecen exponencialmente o que presentan heterocedasticidad. En nuestro conjunto de datos, la transformación logarítmica demostró ser la más adecuada para satisfacer los supuestos de normalidad requeridos para el análisis ANCOVA.

En la Fig. 14 se observa como la transformación logarítmica aplicada consigue normalizar los datos. Una prueba Shapiro-Wilk corroboró la normalidad de los datos ($W=0.98$, $p=0.15$)

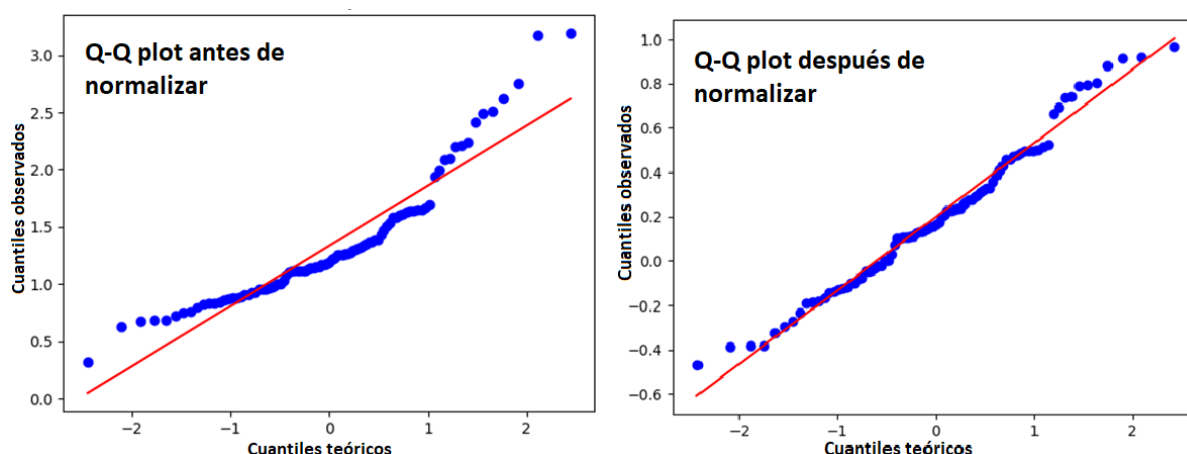


Fig. 14 Q-Q plot que demuestra la normalidad antes y después de la normalización.

A los datos ahora normalizados, se les aplicó una prueba t-student para comparar entre grupos de “fallers” (personas que se han caído al menos una vez en el último año) y “non fallers” (personas que no se han caído en el último año). Esta prueba arrojó ($F = 0.67$, $p = 0.41$) con lo que se puede inferir que no hay diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, los resultados de la prueba ANCOVA, usando la edad como covariable ($F = 3.74$, $p = 0.02$) muestran diferencias significativas entre las muestras. Este resultado está en línea con lo descrito en la literatura, donde se menciona que la edad es un factor determinante para la distinción de pacientes con y sin caídas. Para ambas pruebas se consideró un nivel de significancia $p > 0.05$.

4 Discusión

La correcta evaluación del estado de equilibrio es crucial para la prevención de caídas, reduciendo así significativamente los costos de atención médica. Entre 2013 y 2018 en México, se registraron 16,829 pacientes con fractura de cadera, generando elevados costos en atención médica (Pech-Ciau et al., 2021). Los gastos promedio en atención médica por caídas en hospitales para personas mayores de 65 años son considerables, alcanzando cifras de \$ 470,677,181.01 USD tan solo en Brasil, entre 2020 y 2022 (Lima et al., 2022). Este gasto representa una carga económica importante para los sistemas de salud pública, reforzando la necesidad de implementar medidas preventivas efectivas.

En este contexto, el estudio dirigió su atención en el desarrollo y la implementación de la plataforma WBBm para la recopilación de datos sobre el equilibrio humano. A pesar de no haber identificado correlaciones significativas en esta investigación preliminar, los resultados no refutan la posibilidad de su existencia; por el contrario, sugieren la necesidad de estudios más detallados y con muestras más amplias. El análisis mediante ANCOVA, al considerar otras covariables, soporta esta idea. A pesar de las discrepancias observadas respecto a la literatura, el estudio subraya la utilidad de la WBB modificada como una herramienta de evaluación del equilibrio accesible y económica. Tal como (Park & Lee, 2014) resaltaron, la WBB, al compararse con una Plataforma de fuerza de grado de laboratorio, mostró viabilidad a pesar de las diferencias en precisión y sensibilidad.

La investigación también reveló que, en el grupo de participantes, existe una notable prevalencia de enfermedades metabólicas, en particular Diabetes Mellitus e Hipertensión arterial. Estas afecciones tienen una implicación directa en el equilibrio, afectando la masa ósea, muscular y adiposa, así como los sistemas vestibulares y propioceptivos. (Corcuera-Ciudad et al., 2019) mencionó la asociación entre diabetes mellitus 2 y trastornos de marcha y equilibrio. La diabetes mellitus 2, debido a su impacto en el metabolismo muscular y la neuropatía periférica, incrementa considerablemente el riesgo de caídas en adultos mayores.

Incorporando hallazgos de estudios previos, se ha observado que la diferencia entre ambos pies en términos de estabilidad es mayor en posiciones con ojos abiertos que con ojos cerrados (Inglés et al., 2017). A la luz de estos resultados, es evidente la importancia del estabilograma para el análisis del equilibrio en personas mayores propensas a caídas. Además, debido a los cambios naturales en el sistema nervioso y el aparato locomotor durante el envejecimiento, es esencial comprender cómo afectan el equilibrio y la marcha (Lorena Cerda, 2014). La incorporación de técnicas de análisis más avanzadas, como el análisis espectral del estabilograma, podría proporcionar pistas adicionales sobre estos cambios (Smith, 2015). Se sugiere, en investigaciones futuras, explorar la relación entre medidas antropométricas y la relación del aumento de peso con el deterioro del equilibrio, ya que el incremento ponderal puede influir negativamente en la sensibilidad de los mecanorreceptores y en el ajuste del centro de presión, incrementando el riesgo de caídas (Hue et al., 2007).

Finalmente, las limitaciones del estudio, como el tamaño de la muestra y la falta de grupos control, junto con la diversidad de la muestra, evidencian la necesidad de una investigación más profunda y detallada. Sin embargo, los datos acumulados y organizados durante la investigación proporcionan un sólido punto de partida para futuras indagaciones y eventualmente, la implementación de programas de intervención basados en la WBB.

5 Conclusiones

El presente estudio logró adaptar con éxito la Wii Balance Board (WBB) modificada para la evaluación del equilibrio en contextos clínicos. Si bien no se detectaron correlaciones significativas entre el Centro de Presión (CoP) y ciertas variables relacionadas con la salud y el estilo de vida, los datos recopilados subrayan la intrincada naturaleza de dichas relaciones. Además, mediante la comparación con estudios anteriores, se ha confirmado que las medidas obtenidas con la WBB modificada son comparables a resultados de plataformas convencionales. Es esencial destacar la funcionalidad de la WBB modificada como herramienta de bajo costo en la evaluación del equilibrio.

Las caídas son un problema emergente en salud pública, impactando en mayor medida a individuos de la tercera edad. Ante esta situación, se vuelve imperativo sensibilizar a la sociedad sobre la relevancia de evaluar y fortalecer el equilibrio como medida preventiva. Esta investigación se posiciona como un esfuerzo para proporcionar una herramienta accesible que, a la vez, podría contribuir a una disminución de caídas, mejorando la calidad de vida y reduciendo gastos en atención médica.

La optimización de la WBB ha mostrado avances notables, principalmente en la estabilidad del muestreo y la mitigación de pérdida de datos, proponiendo una alternativa rentable frente a equipos de evaluación de equilibrio de mayor costo. La posibilidad de replicar tendencias observadas en otros estudios confirma el potencial de esta herramienta, lo cual podría democratizar el acceso a herramientas de evaluación, permitiendo su uso en diversos entornos y poblaciones.

Para futuras líneas de investigación, se sugiere expandir el alcance de la WBB hacia la rehabilitación física y en la valoración del equilibrio en pacientes con patologías específicas. También es crucial investigar las posibles razones para las diferencias de amplitud observadas en comparación con estudios previos. Asimismo, es esencial profundizar en el entendimiento de las relaciones entre equilibrio y diversas variables de salud y estilo de vida.

En suma, aunque este estudio no estableció correlaciones significativas, brinda un aporte valioso a la literatura especializada. Resalta el potencial de la WBB modificada en la evaluación del equilibrio y sienta las bases para investigaciones subsecuentes en este dominio.

6 Referencias

- Bernabeu-Wittel, M., Díez-Manglano, J., Nieto-Martín, D., Ramírez-Duque, N., Ollero-Baturone, M., Abella-Vázquez, L., Aguayo-Canela, M., Albert-Coll, M., Alemán, A., Aligué, J., Barbé Gil-Ortega, J., Barón-Franco, B., Bernabeu-Wittel, M., de la Calle-Cabrera, C., Cassani-Garza, M., Castillo-Blasco, M., Díez, F., Díez-Manglano, J., Escalera-Zalvide, A., ... Villegas-Bruguera, E. (2019). Simplification of the Barthel scale for screening for frailty and severe dependency in polypathological patients. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 219(8), 433–439. <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2019.04.011>
- Bruce, D., Hunter, M., Peters, K., Davis, T., & Davis, W. (2015). Fear of falling is common in patients with type 2 diabetes and is associated with increased risk of falls. *Age and Ageing*, 44(4), 687–690. <https://doi.org/10.1093/ageing/afv024>
- Center for Disease Control and Prevention. (2023, julio 19). *Facts About Falls*. <https://www.cdc.gov/falls/facts.html>
- Charlson, M. E., Carrozzino, D., Guidi, J., & Patierno, C. (2022). Charlson Comorbidity Index: A Critical Review of Clinimetric Properties. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 91(1), 8–35. <https://doi.org/10.1159/000521288>

- Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., & Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait & Posture*, 31(3), 307–310. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.012>
- Corcuera-Ciudad, R., Patiño-Villena, A. F., Paima-Olivari, R., Chamberg-Michilot, D., Parodi, J. F., Runzer-Colmenares, F. M., Corcuera-Ciudad, R., Patiño-Villena, A. F., Paima-Olivari, R., Chamberg-Michilot, D., Parodi, J. F., & Runzer-Colmenares, F. M. (2019). Trastornos de la marcha y el equilibrio en adultos mayores y su asociación con diabetes mellitus tipo 2. *Medicina interna de México*, 35(5), 676–684. <https://doi.org/10.24245/mim.v35i5.2554>
- Díaz, G., & Mancilla, S. (2017). Prototipo De Plataforma De Estabilometría Para El Análisis Del Equilibrio Corporal. *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica*, 4(1), Article 1. <http://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/287>
- Estevez Pedraza, A. G. (2017). *Diseño y construcción de un dispositivo portátil para medición del centro de presión del cuerpo humano* [Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/67806>
- Fahimfar, N., Yousefi, S., Noorali, S., Gharibzadeh, S., Sanjari, M., Khalagi, K., Mehri, A., Shafiee, G., Heshmat, R., Nabipour, I., Amini, A., Darabi, A., Heidari, G., Larijani, B., & Ostovar, A. (2022). The association of cardio-metabolic risk factors and history of falling in men with osteosarcopenia: A cross-sectional analysis of Bushehr Elderly Health (BEH) program. *BMC Geriatrics*, 22(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02657-1>
- Gallamini, M., Piastra, G., Lucarini, S., Porzio, D., Ronchi, M., Pirino, A., Scoppa, F., Masiero, S., & Tognolo, L. (2021). Revisiting the Instrumented Romberg Test: Can Today's Technology Offer a Risk-of-Fall Screening Device for Senior Citizens? An Experience-Based Approach. *Life*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/life11020161>
- García Tirado, J. J. (2015). Análisis de los procesos de integración neurosensorial implicados en el control de la estabilidad postural en pacientes con disfunción cráneo-mandibular [Ph.D. Thesis, Universitat Internacional de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/334979>
- Gerardo, G., Alemán, S., Manuel, V., Rodríguez, V., de Lourdes, M., Valdez, R., Selene, B., & Muñoz, Z. (2018). Factores asociados con caídas en el adulto mayor. *Paraninfo digital*, 28(XII), 1–3. <http://www.index-f.com/para/n28/pdf/e025.pdf>
- Gil-Gómez, J.-A., Lloréns, R., Alcañiz, M., & Colomer, C. (2011). Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: A pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 8, 30. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-30>
- Hue, O., Simoneau, M., Marcotte, J., Berrigan, F., Doré, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., & Teasdale, N. (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait & Posture*, 26(1), 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.07.005>
- Huurnink, A., Fransz, D. P., Kingma, I., & van Dieën, J. H. (2013). Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks. *Journal of Biomechanics*, 46(7), 1392–1395. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.018>
- Inglés, E., Villena, V., Padullés, J. M., Funollet, F., Labrador, V., & Gomila, J. B. (2017). Evaluación Postural Y Análisis Del Equilibrio En Principiantes De Esquí Nórdico. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte / International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 17(68), 651–665. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54254647005>
- Joan, x. (2017). *Modifications Wii Balance Board* [Arduino]. <https://github.com/radioelf/Mod.Wii-Balance-Board-> (Obra original publicada en 2017)
- Kozinc, Ž., Löfler, S., Hofer, C., Carraro, U., & Šarabon, N. (2020). Diagnostic Balance Tests for Assessing Risk of Falls and Distinguishing Older Adult Fallers and Non-Fallers: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Diagnostics*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10090667>

- Lima, J. da S., Quadros, D. V. de, Silva, S. L. C. da, Tavares, J. P., & Pai, D. D. (2022). Costs of hospital admission authorizations due to falls among older people in the Brazilian National Health System, Brazil, 2000-2020: A descriptive study. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 31, e2021603. <https://www.scielo.br/j/ress/a/6Lmf64R4QFSVPLFy8gMJXNq/?lang=en>
- Lorena Cerda, A. (2014). Manejo del trastorno de marcha del adulto mayor. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(2), 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70037-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70037-9)
- Martínez, J. G. E. H. (2018). Obesidad en relación con el equilibrio dinámico de mujeres adultas mayores. *Ciencias de la Actividad Física UCM*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.29035/rcaf.19.2.5>
- Okun, A., Stein, R. E. K., Bauman, L. J., & Silver, E. J. (1996). Content Validity of the Psychiatric Symptom Index, CES-Depression Scale, and State-Trait Anxiety Inventory from the Perspective of DSM-IV. *Psychological Reports*, 79(3), 1059–1069. <https://doi.org/10.2466/pr0.1996.79.3.1059>
- Park, D.-S., & Lee, G. (2014). Validity and reliability of balance assessment software using the Nintendo Wii balance board: Usability and validation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 99. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-99>
- Pech-Ciau, B. A., Lima-Martínez, E. A., Espinosa-Cruz, G. A., Pacho-Aguilar, C. R., Huchim-Lara, O., Alejos-Gómez, R. A., Pech-Ciau, B. A., Lima-Martínez, E. A., Espinosa-Cruz, G. A., Pacho-Aguilar, C. R., Huchim-Lara, O., & Alejos-Gómez, R. A. (2021). Fractura de cadera en el adulto mayor: Epidemiología y costos de la atención. *Acta ortopédica mexicana*, 35(4), 341–347. <https://doi.org/10.35366/103314>
- Peydro de Moya, M. F., Baydal Bertomeu, J. M., & Vivas Broseta, M. J. (2005). Evaluación y rehabilitación del equilibrio mediante posturografía. *Rehabilitación*, 39(6), 315–323. [https://doi.org/10.1016/S0048-7120\(05\)74365-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7120(05)74365-6)
- Quijoux, F., Nicolaï, A., Chairi, I., Bargiotas, I., Ricard, D., Yelnik, A., Oudre, L., Bertin - Hugault, F., Vidal, P., Vayatis, N., Buffat, S., & Audiffren, J. (2021). A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open - access code. *Physiological Reports*, 9(22), e15067. <https://doi.org/10.14814/phy2.15067>
- Rubenstein, L. Z. (2006). Falls in older people: Epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and Ageing*, 35(suppl_2), ii37–ii41. <https://doi.org/10.1093/ageing/af1084>
- Santos, D. A., & Duarte, M. (2016). A public data set of human balance evaluations. *PeerJ*, 4, e2648. <https://doi.org/10.7717/peerj.2648>
- Tinetti, M. E., Franklin Williams, T., & Mayewski, R. (1986). Fall risk index for elderly patients based on number of chronic disabilities. *The American Journal of Medicine*, 80(3), 429–434. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(86\)90717-5](https://doi.org/10.1016/0002-9343(86)90717-5)

Sobre los autores

	Azucena Eunice Jiménez Corona. Obtuvo el grado de Doctora en Ciencias en el Instituto de Química, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Profesora Investigadora de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Sus intereses de investigación incluyen: *Biomarcadores enfocados al diagnóstico por estrés oxidativo. *Estudios en salud pública para la detección de enfermedades crónicas y neurodegenerativas.
	Estefanía Olivares Palacios Realizó sus estudios de Licenciatura en Enfermería por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en 2023. Durante todo su proceso educativo participó activamente en la elaboración de artículos científicos en el grupo de investigación biomédica de la Dra. Jiménez-Corona en el desarrollo de investigación en campo clínico.
	Aislinn Joally Ramírez Méndez. Enfermera pasante de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Actualmente es integrante activa del grupo de investigación biomédica de la Dra. Jiménez Corona. Sus intereses de investigación incluyen, el campo clínico en el desarrollo de estudios en poblaciones de adultos mayores.
	Marisa Bautista Lara. Realizó sus estudios de Licenciatura en Enfermería por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en agosto del 2023. Participó activamente en el grupo de investigación biomédica de la Dra. Jiménez-Corona en el desarrollo de investigación en campo clínico en el desarrollo de estudios en poblaciones de adultos mayores.
	Zeus Tlaltecutili Domínguez Vega. Obtuvo el título de ingeniero en Mecatrónica por el ITT, el grado de maestro en ciencias por la UAEMex y recibo el grado de Ph.D en ciencias biomédicas por la Universidad de Groningen en Países Bajos en 2022. Actualmente es profesor investigador posdoctorante en la UAEMex. Sus intereses incluyen análisis y procesamiento de datos biomédicos y el uso tecnologías para la mejora en la calidad de vida.
	Rigoberto Martínez Méndez obtuvo el título de ingeniero en electrónica, el grado de maestro en ciencias en bioelectrónica por el CINVESTAV, México y el grado de Ph.D en biomédica por la Universidad de Chiba. Actualmente es miembro del SNI nivel I y se desempeña como profesor e investigador en la UAEMex. Sus intereses de investigación incluyen el análisis de bioseñales y el desarrollo de dispositivos biomédicos portables no invasivos.

