

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Máster en Física Biomédica



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Análisis de Datos Recogidos de las Mediciones con Tensiómetros de
Pacientes Voluntarios

Analysis of Data Collected from Blood Pressure Monitors in Volunteer
Patients

Irene Sánchez Hernández

Tutores:

Ana Isabel Martín Megías y Diego García Pinto

Calificación: 9.4

Curso académico 2024-25

Resumen:

La presión arterial (PA) es un parámetro fundamental en el seguimiento y tratamiento de enfermedades cardiovasculares. Existen dos métodos principales para su medición: el método auscultatorio, que requiere el uso de un estetoscopio y un esfigmomanómetro, y el método oscilométrico, empleado por dispositivos automáticos que detectan las oscilaciones en el brazalete durante la desinflación.

Este trabajo de fin de máster compara ambos métodos en términos de repetibilidad y concordancia diagnóstica. Para ello, se diseñó un estudio observacional con adultos voluntarios, en el que se recogieron mediciones repetidas de PA mediante técnicas auscultatoria y oscilométrica bajo condiciones controladas. También se registraron variables contextuales como edad, sexo, índice de masa corporal, actividad física y dieta.

Aunque el método auscultatorio se considera el estándar clínico, los dispositivos oscilométricos, ampliamente utilizados en la actualidad, presentan limitaciones que pueden provocar discrepancias diagnósticas relevantes, especialmente en ciertos perfiles de pacientes. Este estudio busca aportar evidencia que contribuya a una mejor comprensión de estas diferencias y al uso más informado de los dispositivos de medición en la práctica clínica.

Palabras clave: presión arterial, método auscultatorio, método oscilométrico, medición, repetibilidad, reproducibilidad, tensiómetro.

Abstract:

Blood pressure (BP) is a key parameter in the monitoring and treatment of cardiovascular diseases. There are two primary methods for its measurement: the auscultatory method, which involves the use of a stethoscope and a sphygmomanometer, and the oscillometric method, employed by automated devices that detect cuff oscillations during deflation.

This master's thesis compares both methods in terms of repeatability and diagnostic agreement. An observational study was conducted with adult volunteers, in which repeated BP measurements were obtained using both auscultatory and oscillometric techniques under controlled conditions. Contextual variables such as age, sex, body mass index, physical activity, and dietary habits were also recorded.

Although the auscultatory method is considered the clinical gold standard, oscillometric devices—widely used in current practice—present limitations that may lead to significant diagnostic discrepancies, particularly in certain patient profiles. This study aims to provide evidence that enhances the understanding of these differences and supports more informed use of BP measurement devices in clinical settings.

Keywords: blood pressure, auscultatory method, oscillometric method, measurement, repeatability, reproducibility, blood pressure monitor.

Índice

1. Introducción	3
1.1. Relevancia de la presión arterial en la salud pública	3
1.2. Evolución de la medición de la presión arterial	3
1.3. Medición de la presión arterial en la actualidad	4
1.3.1. Método auscultatorio	4
1.3.2. Método oscilométrico	4
1.4. Futuro de la medición de la presión arterial	5
1.5. Factores que afectan a la medición de la presión arterial	5
1.5.1. Factores fisiológicos del paciente	5
1.5.2. Factores metodológicos de la medición	5
1.5.3. Factores técnicos del dispositivo de medición	6
1.6. Justificación, objetivos e hipótesis	6
2. Material y método	6
2.1. Búsqueda bibliográfica	6
2.2. Diseño del estudio	7
2.2.1. Selección de participantes	7
2.3. Procedimiento experimental	8
2.4. Consideraciones éticas	9
3. Resultados	9
3.1. Repetibilidad intra-método	9
3.2. Coeficiente de variación (CV)	10
3.3. Coeficiente de correlación intraclase (ICC)	10
3.4. Prueba de Friedman	11
3.5. Comparación entre métodos: Prueba t para muestras relacionadas	12
3.6. Diferencias entre métodos según el estado tensional	12
3.7. Diferencias entre métodos según otras características del paciente	13
3.8. Diferencias entre métodos según la actividad física	14
3.9. Diferencias entre métodos según los hábitos alimentarios	15
3.10. Diferencias entre métodos según la comunidad autónoma	16

4. Discusión	17
4.1. Repetibilidad intra-método: consistencia y variabilidad	17
4.2. Comparación entre métodos: diferencias promedio y significado clínico	17
4.3. Influencia del estado tensional en las diferencias entre métodos	17
4.4. Impacto de características del paciente en la precisión de los métodos	18
4.5. Impacto de estilos de vida: actividad física y hábitos alimentarios en las diferencias de medición	18
4.6. Limitaciones, recomendaciones y futuras investigaciones	19
5. Conclusiones	19
6. Anexos	21
6.1. Anexo I: Informe Aprobación Comité de Ética	21
6.2. Anexo II: Consentimiento Informado y de Confidencialidad	22
6.3. Anexo III: Cuestionario rellenado por los pacientes voluntarios	23

1. Introducción

1.1. Relevancia de la presión arterial en la salud pública

La medición de la presión arterial (PA) es crucial para el monitoreo, control y manejo de la salud. Según la Organización Mundial de la Salud, se estima que alrededor de 1280 millones de personas adultas en el mundo padecen hipertensión. De estos, se calcula que el 46 % desconoce esta afección, y que cerca de dos tercios de ellos viven en países de ingresos bajos y medianos. La presión arterial es un parámetro vital para diagnosticar y evaluar enfermedades como ataques cardíacos, accidentes cerebrovasculares y enfermedades renales. Sin embargo, a pesar de su importancia, solo se atiende al 42 % de los adultos afectados, y apenas 1 de cada 5 tiene la enfermedad controlada. Dado que la hipertensión es una de las principales causas de muerte prematura en el mundo, una de las metas globales para las enfermedades no transmisibles es reducir su prevalencia en un 25 % para 2030 con respecto a los valores de referencia. (Farias et al., 2025) (Kumar et al., 2021) (World Health Organization, 2024)

1.2. Evolución de la medición de la presión arterial

La primera medición de la presión arterial fue realizada en el siglo XVIII por Stephen Hales, quien llevó a cabo una medición directa en una yegua mediante un método invasivo, lo que permitió confirmar la existencia de la presión sanguínea. A partir de este hallazgo, los avances continuaron durante el siglo XIX, cuando Poiseuille desarrolló el manómetro de mercurio, que permitió medir la presión de forma directa y precisa, aunque aún de manera invasiva. Esta limitación impulsó la búsqueda de alternativas más prácticas. En este contexto, Vierordt introdujo el esfigmomanómetro no invasivo, que permitía estimar la presión arterial al medir la fuerza necesaria para interrumpir temporalmente el pulso arterial, lo que sentó las bases para la medición clínica sin punciones. (Booth, 1977) (Kumar et al., 2021)

Von Basch mejoró este diseño con la invención de una bolsa de goma inflable conectada a una columna de mercurio, lo que simplificó la técnica, aumentó su precisión, y eliminó la necesidad de métodos invasivos y facilitando su uso clínico. Sin embargo, fue Riva-Rocci quien, a finales del siglo XIX, consolidó el diseño moderno del esfigmomanómetro al introducir el manguito inflable alrededor del brazo junto con un manómetro de mercurio, lo que resultó en una mayor comodidad y exactitud de las mediciones. (Booth, 1977)

Un avance decisivo se produjo en 1905 con el descubrimiento de Korotkoff, quien identificó los sonidos característicos generados por el flujo sanguíneo al reanudarse en la arteria durante la desinflación del manguito. Este hallazgo dio origen al método auscultatorio, que mejoró notablemente la precisión y la reproducibilidad de las mediciones, y se convirtió en el estándar clínico vigente hasta la actualidad. (Booth, 1977) (Liu et al., 2022)

En las últimas décadas, la demanda de métodos aún menos invasivos y más adaptados a la monitorización continua ha promovido el desarrollo de nuevas técnicas basadas en tonometría arterial, tiempo de tránsito del pulso (PTT), fotopletoislografía (PPG) y ultrasonidos, además de dispositivos sin manguito que utilizan sensores ópticos para estimar la PA. Aunque estas innovaciones prometen mayor comodidad y seguimiento prolongado, todavía enfrentan importantes limitaciones en cuanto a precisión y reproducibilidad, lo que restringe su uso clínico generalizado. (Kario et al., 2024) (Barvik et al., 2021) (Kumar et al., 2021)

1.3. Medición de la presión arterial en la actualidad

La medición de la presión arterial en la práctica clínica se basa principalmente en métodos con manguito, donde destacan los dispositivos oscilométricos automáticos y los esfigmomanómetros auscultatorios tradicionales. Los esfigmomanómetros oscilométricos son los más comunes por su facilidad de uso y automatización, aunque su precisión puede verse afectada por condiciones clínicas y técnicas. Los métodos auscultatorios con esfigmomanómetro de mercurio, aunque considerados el estándar histórico, están limitados por restricciones medioambientales y la necesidad de un operador entrenado. (Kumar et al., 2021)

A pesar de la amplia adopción de dispositivos automáticos, la medición de la presión arterial aún enfrenta importantes desafíos en términos de precisión y estandarización, lo que puede derivar en errores clínicos significativos. Por este motivo, la práctica clínica actual combina técnicas convencionales con protocolos rigurosos de medición, con el fin de minimizar sesgos y fallos. En este contexto, el presente estudio se propone comparar directamente los métodos auscultatorio y oscilométrico, evaluar sus diferencias y limitaciones y contribuir a mejorar la exactitud y fiabilidad en la medición de la PA.

1.3.1. Método auscultatorio

El método auscultatorio consiste en la medición de la presión arterial mediante la detección de los sonidos de Korotkoff. Estos son los ruidos arteriales audibles al desinflar un manguito inflable colocado alrededor del brazo y se escuchan con un estetoscopio colocado sobre la arteria braquial. La presión sistólica corresponde al momento en que aparecen los primeros sonidos, mientras que la presión diastólica se identifica cuando estos sonidos desaparecen. Este método es considerado el estándar clínico por su precisión, aunque depende de la habilidad y experiencia del operador para interpretar correctamente los sonidos. (Ahmed et al., 2025)

1.3.2. Método oscilométrico

El método oscilométrico se basa en la detección de pequeñas oscilaciones del pulso en el manguito durante su inflado y desinflado. El dispositivo emplea algoritmos que analizan la forma y amplitud de estas oscilaciones para estimar las presiones sistólica y diastólica, e interpretan las presiones sistólica y diastólica. Estos algoritmos, que varían entre fabricantes, pueden influir significativamente en la precisión de la medición. A diferencia del método auscultatorio, el oscilométrico no requiere estetoscopio ni depende del operador, lo que facilita su uso en entornos no clínicos.

Es el método automático más utilizado tanto en el ámbito clínico como en el monitoreo domiciliario, debido a su facilidad de uso y alto grado de automatización. No obstante, su precisión puede verse comprometida por factores como el movimiento del paciente, la rigidez arterial o la presencia de arritmias. Además, la ausencia de estandarización y calibración entre dispositivos introduce una variabilidad significativa en los resultados. A pesar de estas limitaciones, el método oscilométrico es el principal foco de desarrollo para mejorar la medición no invasiva de la presión arterial. (Ahmed et al., 2025)

1.4. Futuro de la medición de la presión arterial

La medición de la presión arterial evoluciona hacia dispositivos más precisos, continuos y cómodos, integrados en la vida diaria del paciente. Entre ellos destacan los sistemas sin manguito (cuffless), que estiman la PA a partir de señales fisiológicas como el tiempo de tránsito del pulso (PTT) o la fotopleletismografía (PPG), y los *wearables*, que permiten una monitorización continua y generan datos útiles para detectar patrones clínicos sutiles.

El uso de inteligencia artificial y machine learning mejora la precisión de estas tecnologías, aunque su autonomía aún depende de la calibración con métodos convencionales. La validación clínica y metrológica aún es un reto debido a la ausencia de estándares específicos. (Kario et al., 2024)

1.5. Factores que afectan a la medición de la presión arterial

1.5.1. Factores fisiológicos del paciente

- **Arritmias cardíacas y fibrilación auricular:** La presencia de ritmos irregulares, como en la fibrilación auricular, puede distorsionar las oscilaciones de presión y generar errores significativos en los dispositivos oscilométricos, con subestimaciones de hasta 5 mmHg. En cambio, el método auscultatorio permite detectar de forma más precisa los latidos irregulares, siempre que el operador esté adecuadamente entrenado. Este aspecto será considerado en el análisis de los datos para identificar posibles desviaciones asociadas al método automático. (Liu et al., 2022)
- **Rigidez arterial y envejecimiento:** La rigidez arterial, que tiende a incrementarse con la edad, afecta la amplitud de las oscilaciones detectadas por los dispositivos oscilométricos, lo que reduce su precisión. Por ello, los participantes del estudio se agruparán en rangos de edad para evaluar si esta variable influye en las discrepancias entre métodos. (Kumar et al., 2021) (Uemura et al., 2022)

Otros factores de tipo emocional, como el estrés, la ansiedad o el dolor, así como la variabilidad biológica espontánea de la PA, pueden generar oscilaciones temporales en las lecturas. Además, se cuenta con el conocido *efecto de bata blanca*, caracterizado por un aumento de la presión arterial inducido por la presencia del personal sanitario. (Liu et al., 2022)

1.5.2. Factores metodológicos de la medición

Existen protocolos de medición y variables reconocidas por la literatura que afectan a las medidas y que pueden actuar como fuentes de error y causar variabilidad entre medidas:

- **Posición del paciente y del brazo:** Alteraciones en la posición del brazo pueden causar errores de 5 a 10 mmHg, lo cual es clínicamente relevante. (Liu et al., 2022)
- **Uso del manguito adecuado:** Un tamaño del manguito inadecuado puede causar variaciones de hasta ± 10 mmHg. (Liu et al., 2022)
- **Medición sobre la ropa:** Esta práctica puede interferir con la señal oscilométrica y con la auscultación. (Liu et al., 2022)

- **Repetición de mediciones:** Se recomienda realizar tres mediciones consecutivas con cada método, separadas por al menos un minuto entre ellas, con el fin de reducir la variabilidad intra-individual. (Liu et al., 2022)

1.5.3. Factores técnicos del dispositivo de medición

- **Calibración de dispositivos:** Los esfigmomanómetros aneroideos requieren recalibración anual para cumplir con los estándares ISO/AAMI . En contraste, no existe un método estandarizado de calibración trazable al Sistema Internacional de Unidades (SI) para los dispositivos oscilométricos, lo que dificulta la comparación absoluta entre fabricantes. Actualmente, su validación se realiza mediante comparación con métodos de referencia, como esfigmomanómetros de mercurio o mediciones invasivas. Esta ausencia de estandarización resalta la necesidad de procedimientos uniformes que mejoren la reproducibilidad y fiabilidad. En este estudio, ambos tipos de dispositivos serán revisados y calibrados para asegurar mediciones fiables (Kumar et al., 2021; Liu et al., 2022).
- **Algoritmo del dispositivo oscilométrico:** Los dispositivos automáticos estiman la presión arterial mediante algoritmos que analizan las oscilaciones detectadas, pero estos algoritmos suelen ser confidenciales y varían entre fabricantes. Es fundamental que el modelo utilizado en este estudio tenga validación clínica conforme a estándares internacionales (Geršak et al., 2021; Kumar et al., 2021).

1.6. Justificación, objetivos e hipótesis

La medición precisa de la presión arterial es fundamental para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, aunque actualmente presenta limitaciones técnicas. Los dispositivos oscilométricos, populares por su facilidad de uso, presentan discrepancias frente al método auscultatorio, que, aunque más fiable, depende del operador y es menos accesible.

Este estudio se propone analizar las diferencias entre ambos métodos, evaluando su precisión, fiabilidad y las posibles implicaciones clínicas. Para ello, se compararán directamente las mediciones, se identificarán fuentes comunes de error y se valorará el impacto en distintos contextos clínicos y poblacionales. Se estudiará la repetibilidad intra-método con indicadores estadísticos y se evaluarán las diferencias entre métodos. Además, se analizará si las discrepancias dependen del estado tensional y otras características del paciente, como la edad, el sexo, el índice de masa corporal y factores relacionados con el estilo de vida.

Se plantea la hipótesis de que existen diferencias significativas entre las mediciones obtenidas por el método auscultatorio y el oscilométrico. En particular, se espera que el método oscilométrico pueda subestimar o sobreestimar la presión arterial respecto al método auscultatorio, especialmente en pacientes con características fisiológicas específicas, como edad avanzada o hipertensión, lo que podría influir en la precisión diagnóstica y en la toma de decisiones clínicas.

2. Material y método

2.1. Búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica de este trabajo se realizó tal y como se indica en la Figura 1:

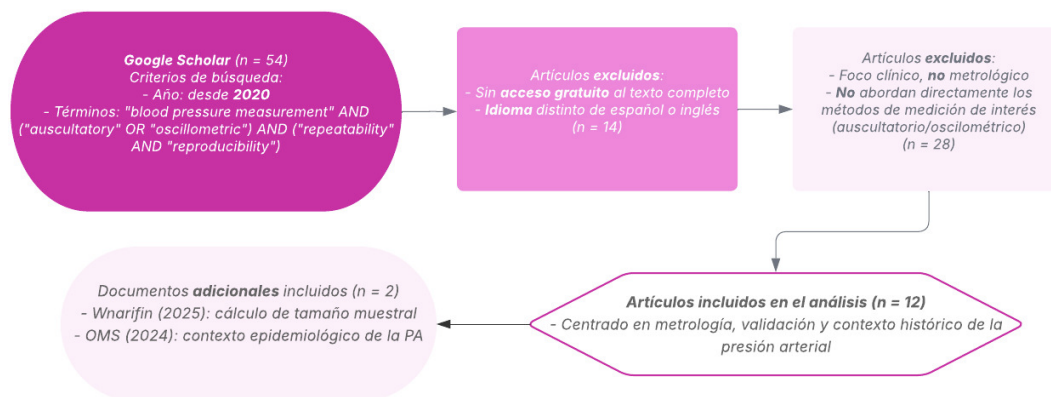


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de búsqueda y selección bibliográfica realizado en Google Scholar.

2.2. Diseño del estudio

Se trata de un estudio observacional y comparativo cuyo objetivo es analizar las diferencias entre las mediciones de presión arterial obtenidas mediante los métodos oscilométrico y auscultatorio. Para ello, se utilizará una muestra de 104 pacientes voluntarios, todos mayores de 18 años y en pleno uso de sus facultades mentales, es decir, capaces de otorgar su consentimiento de forma autónoma. A cada participante se le realizarán mediciones consecutivas con ambos métodos. Los datos obtenidos permitirán evaluar la concordancia entre técnicas y explorar factores asociados a posibles discrepancias.

2.2.1. Selección de participantes

Criterios de inclusión:

- Ser mayor de 18 años.
- Residir en la Comunidad de Madrid.
- Estar en pleno uso de las facultades mentales.
- Otorgar consentimiento informado.

Criterios de exclusión:

- Limitaciones físicas que impidan la medición de la presión arterial.
- Alteraciones cognitivas que dificulten seguir instrucciones.

El tamaño muestral se estimó mediante la herramienta *Sample Size Simulator*, tomando un coeficiente de correlación intraclase (ICC) esperado de 0.7, una precisión deseada de ± 0.075 , un nivel de confianza del 95 %, y seis mediciones por sujeto (tres con cada método). (Wnarifin, 2025)

Parámetro	Valor
Índice de correlación intraclase (ICC)	0.7
Precisión	0.075
Nivel de confianza	95 %
Número de mediciones por participante (k)	6 (tres por cada método)
Tasa esperada de abandono	0 %

Cuadro 1: Parámetros establecidos en el recurso web *Sample Size Simulator* para estimar el tamaño de la muestra en el estudio.

Con los parámetros establecidos, el tamaño mínimo necesario para obtener resultados estadísticamente fiables se estimó en 84 voluntarios. No obstante, el estudio contó con la participación de 104 personas, lo que proporciona un margen de seguridad adicional que refuerza la validez y la generalización de los hallazgos. El tamaño final de la muestra estuvo también condicionado por el tiempo disponible para la toma de datos. Se buscó un equilibrio entre la necesidad de representatividad con las limitaciones prácticas.

2.3. Procedimiento experimental

La selección de los voluntarios se realizó mediante charlas informativas impartidas en diferentes entornos: campus universitarios, centros de trabajo y centros de mayores.

Para la toma de datos, se efectuaron tres mediciones con el método auscultatorio y tres con el método oscilométrico. Las características de estos dos equipos se muestran en la Tabla 2:

Dispositivo	OMRON X2 Basic	Pic Solution Classic
Marca	OMRON	Pic Solution
Modelo	OMRON X2 Basic Tensiómetro de Brazo digital	Pic Solution 02021402000000 Aneroid Blood Pressure Monitor with Stethoscope
Tipo de dispositivo	Digital (Oscilométrico)	Manual (Aneriodes)
Fuente de alimentación	Baterías (4 x AA)	No aplica (manual)
Utilizar para	Brazo (22-32 cm)	Brazo (sin especificación)
Pantalla	Digital	Analógica
Rango de medición	0 - 300 mmHg	0 - 300 mmHg
Precisión	± 3 mmHg	± 4 mmHg (aproximado)
Tamaño de la banda	32 cm (para brazo)	No especificado
Dimensiones	14 x 8.2 x 11.2 cm	18.8 x 7.9 x 11.2 cm
Peso	360 g (aproximado)	360 g
Certificación	Validado clínicamente (ESH, ISO)	No especificado
Accesorios incluidos	1x Tensiómetro, 4x Pilas, Manual	Medidor aneroides, Estetoscopio, Bolsa de transporte, Manual
Tipo de uso	Uso doméstico, regular	Uso profesional (médico)

Cuadro 2: Características principales de los tensiómetros OMRON X2 Basic y Pic Solution Classic

Antes de proceder a las mediciones, los participantes completaron cuestionarios que permitieron contextualizar los datos obtenidos. La información recogida en cada uno de ellos se resume en el Cuadro 3.

Variable	Descripción
Edad	Edad del participante en años.
Sexo	Masculino / Femenino.
Medicamentos	Uso actual de medicamentos (sí / no; lista de medicamentos si aplica).
Patologías	Enfermedades actuales.
Peso y altura	Peso (kg) y altura (m).
Código postal	Código postal del domicilio.
Nivel de actividad física	Horas semanales de actividad física moderada y vigorosa, y horas diarias en posición sentada.
Tipo de dieta	Características principales de la dieta (consumo de frutas, verduras, aceite de oliva, sal, carnes rojas y/o procesadas).

Cuadro 3: Datos contextuales recogidos de los pacientes voluntarios.

Las tomas de datos fueron realizadas entre las fechas 1 de abril y 20 de mayo de 2025. Cada sesión de toma de medidas duró entre 15 y 20 minutos por participante, excepto en algunos casos con sujetos de brazos muy delgados, donde fue necesario un tiempo adicional para asegurar la correcta colocación del manguito. Las sesiones se distribuyeron en horario de mañana y tarde según disponibilidad, con el objetivo de completar todas las evaluaciones planificadas.

Se siguió un protocolo de medición estandarizado basado en las recomendaciones y fuentes de error más comunes descritas en la literatura y resumidos en la **sección 1.4 Factores que afectan a la presión arterial**. En cada centro, la investigadora se situó siempre en la misma mesa y silla, y los participantes adoptaban una posición concreta: posición sentada, espalda apoyada, piernas descruzadas y brazo a la altura del corazón. Se mantuvo un intervalo de al menos un minuto entre cada medición. Las mediciones fueron realizadas exclusivamente por la investigadora principal, quien recibió entrenamiento previo bajo la supervisión de sus profesores tutores, profesionales de la Facultad de Medicina. Esto redujo las diferencias entre métodos por el *efecto de bata blanca*.

2.4. Consideraciones éticas

Todos los participantes voluntarios firmaron un consentimiento informado previo a su inclusión en el estudio. En dicho documento se les explicó claramente el objetivo del estudio, la naturaleza y el uso de los datos recogidos mediante tensiómetros, así como la voluntariedad de su participación. Se les informó de su derecho a retirarse en cualquier momento. Asimismo, se garantizó la confidencialidad y anonimato de la información proporcionada conforme a la Ley de Protección de Datos (LOPD) 3/2018.

El estudio fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en su sesión celebrada el 13 de febrero de 2025 (ver anexo).

3. Resultados

3.1. Repetibilidad intra-método

Para evaluar la consistencia y fiabilidad de las mediciones repetidas obtenidas con cada método, se utilizaron el coeficiente de variación (CV) y el coeficiente de correlación intraclase (ICC). El uso de

estos indicadores está respaldado por la literatura, donde el CV % ha sido empleado como medida de consistencia en el desarrollo de nuevos dispositivos de medición de presión arterial y refleja la estabilidad entre mediciones. Por otro lado, el ICC es ampliamente utilizado para estimar la reproducibilidad, especialmente en estudios donde la PA puede estar influida por múltiples fuentes de variabilidad intraindividual. (Uemura et al., 2022)

3.2. Coeficiente de variación (CV)

El CV mide la variabilidad relativa de las mediciones respecto a su media, expresada en porcentaje. Sirve para evaluar qué tan dispersos están los datos respecto a su valor promedio. En otras palabras, indica la precisión dentro del mismo método: un CV bajo significa que las mediciones son muy consistentes entre sí -menos dispersión-, es decir, menor error aleatorio. Se usa para comparar la consistencia interna o repetibilidad del método, independientemente del valor absoluto de las mediciones.

Variable	Método A (Auscultatorio)	Método O (Oscilométrico)
Tensión sistólica	2,35 %	3,65 %
Tensión diastólica	2,71 %	4,00 %

Cuadro 4: Coeficientes de variación (CV) promedio de las mediciones repetidas para cada método y variable.

El método auscultatorio mostró una menor variabilidad relativa en ambas variables, lo que sugiere una mayor precisión en las mediciones repetidas.

3.3. Coeficiente de correlación intraclase (ICC)

El ICC evalúa la concordancia o consistencia entre mediciones repetidas dentro de un mismo método. Además de la variabilidad, tiene en cuenta la variabilidad entre sujetos y dentro del sujeto (intraindividual). No solo evalúa la dispersión, sino también la capacidad del método para producir resultados estables y reproducibles en diferentes condiciones o repeticiones. Valores cercanos a 1 indican alta fiabilidad. En este estudio se calcularon dos formas relevantes de ICC: por un lado, el ICC(2,1), que estima el grado de similitud entre las tres mediciones individuales realizadas; y por otro, el ICC(2,k), que refleja cómo mejora la fiabilidad al considerar el promedio de dichas mediciones en lugar de cada una por separado.

Variable	Método	ICC(2,1)	IC95 %	ICC(2,k)
Tensión sistólica	Auscultatorio	0,93	[0,91 – 0,95]	0,98
	Oscilométrico	0,89	[0,85 – 0,92]	0,96
Tensión diastólica	Auscultatorio	0,88	[0,84 – 0,91]	0,96
	Oscilométrico	0,79	[0,73 – 0,85]	0,92

Cuadro 5: Coeficientes de correlación intraclase (ICC) para ambos métodos y tipos de presión arterial.

Ambos métodos presentan una fiabilidad alta, especialmente al promediar las tres mediciones. No

obstante, el método auscultatorio destaca por su mayor consistencia, en particular en las mediciones de tensión sistólica.

3.4. Prueba de Friedman

Se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman para detectar posibles diferencias que pudieran ser estadísticamente significativas entre las tres mediciones repetidas de cada método. Esto permite identificar si existe variabilidad sistemática entre mediciones consecutivas.

Variable	Método	Valor de p e interpretación
Tensión sistólica	Auscultatorio (A)	$p = 0,521 \rightarrow$ No se detectaron diferencias significativas.
	Oscilométrico (O)	$p = 0,111 \rightarrow$ No se detectaron diferencias significativas.
Tensión diastólica	Auscultatorio (A)	$p = 0,003 \rightarrow$ Se detectaron diferencias significativas.
	Oscilométrico (O)	$p = 0,052 \rightarrow$ Resultado cercano a la significación estadística.

Cuadro 6: Resultados de la prueba de Friedman para las mediciones repetidas.

Las mediciones de presión sistólica fueron estables en ambos métodos. En contraste, la presión diastólica mostró una variabilidad significativa en el método auscultatorio.

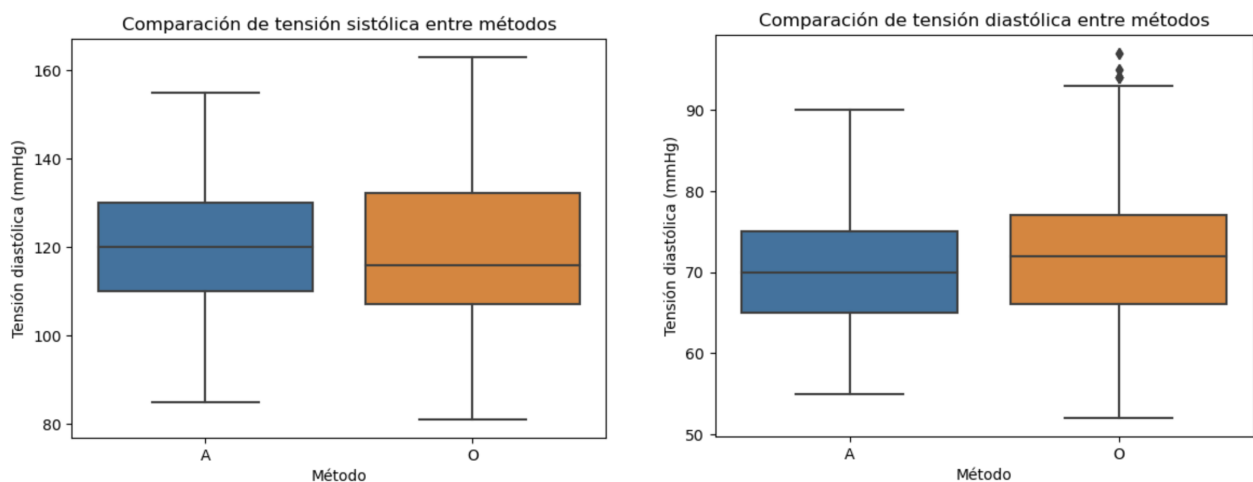


Figura 2: Diagramas de caja para presión arterial sistólica y diastólica medidos con métodos auscultatorio (A) y oscilométrico (O).

Las medianas son similares en ambos métodos, sin diferencias sistemáticas en los valores centrales. El método oscilométrico muestra mayor dispersión y más valores atípicos, especialmente en la presión diastólica, con algunas mediciones que superan los 90 mmHg. Esto refleja menor estabilidad y mayor variabilidad atribuible a factores como movimientos, rigidez arterial o arritmias. En contraste, el método auscultatorio presenta una distribución más compacta y sin valores extremos, lo que indica mayor consistencia y estabilidad.

3.5. Comparación entre métodos: Prueba t para muestras relacionadas

La prueba t para muestras relacionadas detecta si existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de ambos métodos, con un nivel de significación habitual de $p < 0,05$.

Variable	Diferencia media (mmHg)	Dirección	p-valor	Límites de acuerdo (mmHg)
Tensión sistólica	+0,44	A > O	0,483 (no significativa)	-11,93 a +12,81
Tensión diastólica	-1,53	O > A	0,0029 (significativa)	-11,53 a +8,48

Cuadro 7: Comparación de medias entre métodos con prueba t para muestras relacionadas. Se considera significativa una diferencia con $p < 0,05$.

Solo la tensión diastólica mostró diferencia estadísticamente significativa, aunque de pequeña magnitud, mientras que la tensión sistólica no presentó diferencias significativas según esta prueba.

3.6. Diferencias entre métodos según el estado tensional

Para evaluar si alguno de los métodos tiende a sobreestimar o subestimar la presión arterial en casos de hipotensión, normotensión o hipertensión, se analizaron las diferencias según la clasificación tensional de cada paciente. Se tomaron como referencia los umbrales establecidos en guías clínicas internacionales. (Williams et al., 2018)

Estado	Tensión sistólica (mmHg)	Tensión diastólica (mmHg)
Hipotensión	< 90	< 60
Normotensión	90–139	60–89
Hipertensión	≥ 140	≥ 90

Cuadro 8: Criterios de clasificación según valores medios de presión arterial (mmHg).

Se analizó la diferencia promedio por paciente, se calculó para cada individuo la media de las diferencias entre ambos métodos, y se agrupó luego según el estado tensional. Este análisis refleja la tendencia general de cada paciente y se reduce el impacto de la variabilidad puntual.

Estado	N	Sistólica (mmHg)		Diastólica (mmHg)	
		Media	DE	Media	DE
Hipertensión	11	-3.94	6.40	-4.97	2.41
Hipotensión	3	0.67	8.19	1.89	0.19
Normotensión	90	0.96	6.11	-1.22	5.25

Cuadro 9: Diferencias medias (auscultatorio - oscilométrico) por paciente, según estado tensional y tipo de presión arterial, expresadas en mmHg. N: número de pacientes. DE: desviación estándar. Valores negativos indican que la medición auscultatoria fue menor que la oscilométrica.

Se obtiene que el método oscilométrico tiende a sobreestimar la tensión sistólica e diastólica en hipertensión, mientras que en normotensión e hipotensión las diferencias son menores. Al representar las discrepancias diagnósticas entre métodos mediante una matriz de confusión, se observa

una concordancia global del 92,3% y un índice Kappa de Cohen de 0,743, lo que indica un acuerdo considerable.

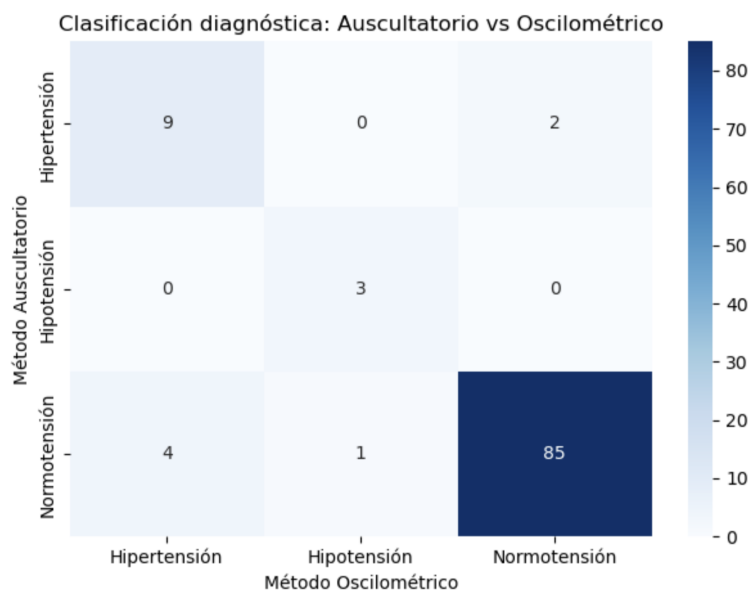


Figura 3: Matriz de confusión entre métodos auscultatorio y oscilométrico en la clasificación de presión arterial. La intensidad del color en cada celda representa la cantidad de casos, según la escala mostrada a la derecha: desde 0 (color claro) hasta 80 (color oscuro).

Se obtiene que, en 7 de los 104 pacientes (6,7%) la clasificación diagnóstica varió en función del método utilizado. Concretamente, 4 fueron clasificados como hipertensos por el método oscilométrico pero normotensos por el auscultatorio, mientras que 2 presentaron el patrón inverso. Estos hallazgos subrayan la relevancia clínica del método de medición empleado, ya que una proporción no despreciable de pacientes podría recibir un diagnóstico diferente, con posibles implicaciones terapéuticas.

3.7. Diferencias entre métodos según otras características del paciente

Sexo	Sistólica (mmHg)			Diastólica (mmHg)		
	Media	DE	Rango	Media	DE	Rango
Femenino (n=55)	-0.30	6.96	-13.3 a 14.7	-1.84	5.40	-14.3 a 6.3
Masculino (n=49)	1.27	5.45	-15.7 a 11.3	-1.18	4.78	-12.0 a 7.7

Cuadro 10: Resumen estadístico de las diferencias (Auscultatorio - Oscilométrico) por sexo. n: número de pacientes pertenecientes a la categoría.

Se observa que en mujeres el método oscilométrico tiende a sobreestimar ligeramente la presión sistólica (media = -0,30 mmHg) y diastólica (media = -1,84 mmHg). En varones, por el contrario, se detecta una leve subestimación en la presión sistólica (media = 1,27 mmHg), mientras que la diastólica también muestra una ligera sobreestimación (media = -1,18 mmHg). Aunque estas diferencias no resultan clínicamente relevantes en general, sugieren una posible interacción entre sexo y precisión del método oscilométrico que merece mayor estudio.

Variable	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)
Edad	-0.29	-0.01
IMC	-0.16	-0.13

Cuadro 11: Correlaciones entre diferencia de presión arterial entre métodos (Auscultatorio - Oscilométrico) y edad e IMC.

Existen correlaciones negativas moderadas entre la edad y la diferencia en presión sistólica ($r = -0,29$), y más débiles con el IMC ($r = -0,16$). Esto indica que el método oscilométrico tiende a sobreestimar más la presión sistólica en pacientes de mayor edad y con mayor IMC. Las correlaciones con la presión diastólica fueron más débiles y sin una tendencia clara.

3.8. Diferencias entre métodos según la actividad física

Para evaluar si las diferencias entre los métodos varían según el nivel de actividad física, se emplearon dos análisis estadísticos: el test de Kruskal-Wallis y la correlación de Spearman.

El test de Kruskal-Wallis es una prueba no paramétrica que compara las medianas de más de dos grupos independientes sin asumir distribución normal. Se usó para comparar las diferencias entre grupos con distintos niveles de actividad física moderada y vigorosa. El estadístico H varía desde 0 (ninguna diferencia entre grupos) hasta valores mayores que indican diferencias crecientes en las medianas. No tiene un límite máximo fijo, ya que depende del tamaño y número de grupos. Valores altos de H sugieren mayor discrepancia entre los grupos.

Tipo de actividad	Sistólica		Diastólica	
	Estadístico H	p-valor	Estadístico H	p-valor
Actividad moderada	9.71	0.021	2.443	0.486
Actividad vigorosa	1.73	0.630	7.217	0.065

Cuadro 12: Test de Kruskal-Wallis para diferencias sistólicas y diastólicas entre métodos según nivel de actividad física.

La correlación de Spearman es un coeficiente estadístico que mide la relación monótona entre dos variables. El coeficiente ρ varía entre -1 y 1, donde valores cercanos a -1 indican una correlación negativa fuerte (una variable aumenta mientras la otra disminuye), valores cercanos a 1 indican correlación positiva fuerte, y valores próximos a 0 indican ausencia de correlación.

Tipo de actividad	Sistólica		Diastólica	
	Coefficiente ρ	p-valor	Coefficiente ρ	p-valor
Actividad moderada	-0.27	0.006	-0.007	0.944
Actividad vigorosa	-0.01	0.912	0.063	0.526

Cuadro 13: Correlación de Spearman entre nivel de actividad física y diferencia sistólica y diastólica (auscultatorio - oscilométrico).

Para la actividad física moderada se observó una diferencia significativa entre grupos en la presión sistólica ($p = 0,021$, Kruskal-Wallis) junto con una correlación negativa moderada y significativa

($\rho = -0,27$, $p = 0,006$, Spearman). Esto sugiere que a mayor tiempo dedicado a actividad física moderada, la diferencia entre de presión sistólica entre métodos A y O tiende a disminuir, lo que indica concordancia. En cuanto a la presión diastólica, no se encontraron diferencias ni correlaciones significativas ($p = 0,486$ y $\rho = -0,007$, $p = 0,944$), lo que indica que el nivel de actividad física moderada no influye en la discrepancia entre métodos para esta variable. Para la actividad física vigorosa, tanto las diferencias como las correlaciones fueron no significativas para presión sistólica ($p = 0,065$, $\rho = 0,063$) y diastólica ($p > 0,05$), lo que sugiere ausencia de asociación en ambos casos.

En relación con el tiempo dedicado a estar sentado durante la jornada laboral o de estudio, se dividió a los pacientes en tres categorías.

Horas sentado	Diferencia sistólica (mmHg)	Diferencia diastólica (mmHg)
Menos de 4 horas (n=14)	$0,83 \pm 5,79$	$-1,64 \pm 5,95$
4 a 7 horas (n=65)	$-0,45 \pm 5,87$	$-1,36 \pm 4,80$
Más de 7 horas (n=24)	$2,44 \pm 7,51$	$-2,00 \pm 5,65$

Cuadro 14: Diferencias medias y desviaciones estándar entre métodos auscultatorio y oscilométrico según horas sentado en jornada laboral/estudio.

Aunque las diferencias sistólicas tendieron a ser mayores en pacientes que permanecen sentados más de 7 horas diarias (media = 2,44 mmHg), esta diferencia no fue estadísticamente significativa (Kruskal-Wallis, $p=0,175$). De forma similar, no se observó un patrón claro en las diferencias diastólicas entre grupos. La correlación de Spearman entre horas sentado y diferencia sistólica fue baja y no significativa ($\rho=0,133$, $p=0,179$), lo que indica ausencia de asociación monotónica. En conjunto, estos resultados sugieren que, en la muestra considerada en este estudio, el tiempo diario en posición sedentaria no tiene un impacto relevante sobre la discrepancia entre métodos de medición de PA.

3.9. Diferencias entre métodos según los hábitos alimentarios

Para analizar la influencia de los hábitos alimentarios en la diferencia entre métodos, se evaluaron cinco variables dietéticas: raciones diarias de fruta y verdura, consumo semanal de carnes rojas, procesadas y/o embutidos uso de aceite de oliva en la preparación de las comidas y añadido de sal tras el cocinado. Se realizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis para comparar los grupos definidos por cada variable alimentaria, y análisis de correlación de Spearman para evaluar relaciones monotónicas.

Variable	K-W (sist.)	p-val (sist.)	K-W (dias.)	p-val (dias.)	Spearman ρ (sist./dias.)	p-val (sist./dias.)
Fruta	2.62	0.270	1.75	0.417	-0.152 / 0.012	0.124 / 0.902
Verdura	1.13	0.567	0.47	0.789	0.088 / -0.059	0.375 / 0.550
Aceite oliva	1.23	0.268	2.83	0.092	-0.109 / -0.166	0.270 / 0.093
Carnes	0.53	0.768	1.22	0.542	-0.032 / -0.108	0.744 / 0.274
Sal	3.24	0.356	3.60	0.307	-0.115 / 0.104	0.243 / 0.294

Cuadro 15: Resumen estadístico por variable alimentaria. sist.: referente a la presión sistólica. dias.: referente a la presión diastólica.

Las estadísticas descriptivas mostraron diferencias leves en las diferencias de presión arterial entre los grupos definidos por cada variable dietética. No obstante, ninguna de las comparaciones alcanzó

significación estadística en los tests de Kruskal–Wallis (todas con valores $p > 0.05$), lo que indica que no existen diferencias sistemáticas atribuibles al patrón alimentario en esta muestra. Por ejemplo, el grupo con mayor consumo de fruta presentó una media de diferencia sistólica ligeramente menor que el grupo con menor consumo; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. En los análisis de correlación de Spearman, se observaron asociaciones débiles y no significativas entre las variables dietéticas y las diferencias de presión arterial. La asociación más cercana al umbral de significancia se dio entre el consumo de aceite de oliva y la diferencia diastólica, con un coeficiente de correlación negativo moderado ($\rho = -0,166$) y un valor p de 0.093. Aunque este resultado no alcanza significancia estadística ($p > 0.05$), sugiere una posible tendencia: un mayor consumo de aceite de oliva podría estar relacionado con una menor discrepancia entre los métodos de medición para la presión arterial diastólica. No obstante, se requieren estudios con mayor tamaño muestral para confirmar esta observación. A pesar de que los análisis descriptivos sugieren algunas diferencias en presión arterial asociadas a ciertos patrones de alimentación, los resultados no fueron estadísticamente significativos. Esto puede deberse a un tamaño muestral reducido en algunos subgrupos o a la naturaleza multifactorial de la presión arterial, donde la dieta es solo uno de muchos factores implicados.

3.10. Diferencias entre métodos según la comunidad autónoma

Se analizaron las diferencias en la presión sistólica entre métodos de medición según la comunidad autónoma de residencia, determinada a partir del código postal. Las regiones incluidas fueron Madrid, Castilla-La Mancha, País Vasco, Andalucía, Región de Murcia y Castilla y León, lo que representa una muestra geográficamente diversa. Esta segmentación se consideró relevante por posibles variaciones en factores contextuales como estilo de vida, nivel socioeconómico, hábitos alimentarios o acceso a servicios sanitarios, que podrían influir tanto en la presión arterial como en la precisión relativa de los métodos de medición.

Sin embargo, al aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar las diferencias sistólicas entre métodos según comunidad autónoma, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (estadístico $H = 7.95$, $p = 0.159$). Esta ausencia de significación podría explicarse por el tamaño limitado de la muestra en cada comunidad, la heterogeneidad interna dentro de las regiones, o la posibilidad de que la variabilidad regional no afecte de manera relevante la precisión comparativa de los métodos en esta población. Además, sesgos en la selección o distribución geográfica de los participantes podrían haber influido en los resultados.

Cabe aclarar que todas las mediciones se realizaron en la Comunidad de Madrid. No obstante, algunos participantes, principalmente estudiantes, indicaron como residencia habitual códigos postales de otras comunidades donde viven fuera del periodo lectivo. Por ello, el código postal refleja el lugar de residencia habitual y no el sitio físico de la medición. En consecuencia, el análisis por comunidad autónoma debe interpretarse considerando que el código postal se utilizó como proxy de factores ambientales y socioeconómicos asociados al lugar habitual de residencia, y no como ubicación de la toma de datos.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que, en esta muestra, la comunidad autónoma no parece ser un factor determinante en las diferencias observadas entre los métodos de medición de presión arterial sistólica.

4. Discusión

4.1. Repetibilidad intra-método: consistencia y variabilidad

Los resultados evidencian la alta repetibilidad intra-método en ambos métodos, especialmente al promediar tres mediciones ($ICC(2,k) > 0.9$), aunque el método auscultatorio mostró mayor precisión global, con coeficientes de variación (CV) más bajos y valores de ICC mayores. Esto coincide con la literatura que advierte que, pese a la creciente adopción de dispositivos automáticos, su precisión puede verse afectada por factores técnicos y fisiológicos. Los algoritmos oscilométricos generan mayor dispersión y sensibilidad a artefactos, sobre todo en la presión diastólica, reflejada en un CV más alto y valores atípicos. Esta imprecisión se debe a la dificultad para definir con claridad el punto de medición, dado que la desaparición o amortiguamiento del ruido de Korotkoff no es fácilmente traducible en criterios numéricos, lo que aumenta la susceptibilidad a errores. (Kario et al., 2024) (Kumar et al., 2021)

La mayor variabilidad observada en la presión diastólica, reflejada en la caída del ICC entre métodos, se debe a su menor amplitud y mayor inestabilidad fisiológica. Esto la hace más sensible a errores técnicos y a factores como el tono vascular, la respiración o el estrés. Además, la identificación del fin del ruido de Korotkoff es menos precisa, lo que incrementa su variabilidad en ambos métodos. Aunque los errores absolutos fueron mayores en la sistólica, la diastólica mostró una variabilidad relativa superior, lo que respalda las limitaciones ya descritas en la literatura para su medición precisa. (Mieke & Murray, 2023)

4.2. Comparación entre métodos: diferencias promedio y significado clínico

LA prueba t para muestras relacionadas no mostró diferencias significativas en la presión sistólica entre métodos, mientras que la presión diastólica sí presentó una diferencia pequeña pero significativa ($p = 0.0029$), con valores ligeramente más altos en el método oscilométrico. Aunque la diferencia fue modesta (1.53 mmHg), podría tener implicaciones clínicas relevantes, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de hipertensión. (Liu et al., 2022) (Kumar et al., 2021)

4.3. Influencia del estado tensional en las diferencias entre métodos

Los resultados de este estudio muestran que el método oscilométrico tiende a subestimar la presión arterial sistólica y diastólica en pacientes hipertensos, mientras que en normotensos e hipotensos las diferencias son menores. Esto concuerda con la bibliografía, que señala que la rigidez arterial y ciertas condiciones fisiológicas propias de la hipertensión afectan la precisión de los dispositivos automáticos. La mayor variabilidad observada en hipertensos también ha sido atribuida a la sensibilidad de los algoritmos oscilométricos a artefactos técnicos y clínicos, como el tamaño del manguito, la posición del brazo, el ritmo cardíaco irregular y la rigidez vascular. (Williams et al., 2018) (Kario et al., 2024)

A pesar de una concordancia diagnóstica global alta (92,3%), se detectaron diferencias entre métodos en el 6,7% de los casos, con un índice Kappa de 0,743. Esta cuantificación objetiva del desacuerdo entre técnicas, poco explorada en estudios previos, evidencia que la elección del método puede modificar el diagnóstico y, potencialmente, el tratamiento, especialmente en pacientes con presiones arteriales extremas.

En pacientes hipotensos, si bien los datos son limitados, las menores diferencias y variabilidad podrían explicarse por la dificultad técnica para detectar pulsos débiles, en línea con estudios que documentan limitaciones de ambos métodos en estas condiciones hemodinámicas. (Kumar et al., 2021)

4.4. Impacto de características del paciente en la precisión de los métodos

Los resultados muestran que el método oscilométrico tiende a sobreestimar levemente la PA en mujeres y a subestimarla ligeramente en hombres. Aunque las diferencias no son clínicamente relevantes, podrían reflejar una interacción entre sexo y precisión del método, un aspecto poco explorado en la literatura. Este análisis aporta una perspectiva relativamente novedosa al considerar el impacto del sexo en la medición oscilométrica.

Se observaron correlaciones negativas entre edad e IMC con la diferencia en presión sistólica, lo cual indica que el método oscilométrico tiende a sobreestimar la PA en personas de mayor edad o con mayor IMC. Esto coincide con lo reportado en estudios previos, que señalan que la rigidez arterial asociada al envejecimiento o a la obesidad puede afectar la amplitud de las oscilaciones detectadas por el manguito, lo cual genera lecturas elevadas de presión. Adicionalmente, el uso de manguitos de tamaño inadecuado, más frecuente en personas con alto IMC, es una fuente conocida de error. Cabe recordar que en el presente estudio se utilizaron los manguitos provistos de cada aparato y no se realizó un ajuste según el tamaño del brazo del paciente. (Kario et al., 2024)

Además, otros factores relacionados con estas características, como la mayor sensibilidad térmica en mujeres, personas mayores o con obesidad, también pueden influir indirectamente en la precisión de las mediciones oscilométricas. La bibliografía destaca la necesidad de validar los dispositivos en poblaciones diversas, especialmente en grupos con condiciones fisiológicas particulares. El análisis estadístico detallado de estas variables, poco habitual en estudios comparativos, aporta una perspectiva original en este trabajo. (Kario et al., 2024) (Liu et al., 2022)

4.5. Impacto de estilos de vida: actividad física y hábitos alimentarios en las diferencias de medición

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la actividad física moderada se asocia con una menor discrepancia sistólica entre métodos, lo que podría indicar que un estilo de vida activo mejora la concordancia. Esto puede deberse al efecto conocido del ejercicio en la mejora de la elasticidad vascular y reducción de la rigidez arterial, lo que estabiliza la PA y facilita mediciones más concordantes. Este hallazgo aporta una perspectiva poco abordada, ya que son escasos los estudios que analizan cómo la actividad física puede afectar la precisión en la medición de la presión arterial.

No se observaron diferencias significativas en las discrepancias entre métodos para la mayoría de las variables evaluadas con respecto a los hábitos alimenticios, posiblemente debido a la complejidad multifactorial que regula la PA y las limitaciones del tamaño de la muestra. Sin embargo, se detectó una tendencia no significativa hacia una menor discrepancia en la presión arterial con mayor consumo de aceite de oliva. Este hallazgo podría reflejar los efectos vasculares beneficiosos conocidos de este alimento y representa un aporte novedoso que podría ser confirmado en futuros estudios con muestras más amplias.

Aunque se evaluó si la comunidad autónoma influía en las diferencias entre métodos de medición de

presión arterial, no se hallaron diferencias significativas. Esto sugiere que, en esta muestra, factores regionales como estilo de vida o nivel socioeconómico no afectan de forma relevante la precisión comparativa de los métodos. No obstante, el análisis está limitado por el hecho de que todas las mediciones se realizaron en Madrid y el código postal solo reflejaba la residencia habitual, lo que podría diluir posibles efectos geográficos. Por tanto, este hallazgo debe interpretarse con cautela y no descarta que, en otras condiciones o muestras, la variabilidad regional pueda tener un impacto.

4.6. Limitaciones, recomendaciones y futuras investigaciones

A pesar de ser un estudio controlado y con muestra diversa, existen limitaciones: las mediciones se realizaron en entornos distintos, hubo dificultades con el manguito en brazos delgados y es posible que la fatiga del evaluador influyera. Además, los subgrupos con hipertensión o IMC alto fueron pequeños, y la falta de estandarización entre dispositivos puede haber introducido sesgos.

En cuanto a futuras investigaciones, sería interesante ampliar la muestra, unificar condiciones y evaluar la fatiga del evaluador. Además, la comparación de más de un dispositivo oscilométrico podría aportar información relevante en cuanto a la reproducibilidad de este método.

Se recomienda confirmar resultados oscilométricos con el método auscultatorio en casos de hipertensión o valores extremos, y considerar promediar varias lecturas en pacientes mayores o con sobrepeso.

5. Conclusiones

Este estudio confirma la alta repetibilidad de ambos métodos, con mayor precisión en el auscultatorio, especialmente para la presión diastólica, donde el método oscilométrico tiende a sobreestimar, lo que puede influir en el diagnóstico clínico.

Se realizaron análisis de diferencias individuales por medición junto con promedios por paciente, lo que permitió identificar discrepancias puntuales clínicamente relevantes y cuantificar el desacuerdo diagnóstico (6.7% de reclasificación, $Kappa = 0.743$). Además, se evidenció cómo factores como la edad, el IMC y la actividad física afectan la precisión del método oscilométrico, lo que aporta perspectivas poco abordadas en la literatura.

Se recomienda validar las mediciones automáticas con auscultatorio en pacientes hipertensos o con presiones extremas, y considerar el oscilométrico para seguimiento rutinario en normotensos, así como considerar la influencia del estilo de vida para la elección del método de medición.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de validaciones específicas y ajustes metodológicos para mejorar la precisión clínica en diferentes subgrupos poblacionales.

Referencias

- Ahmed, S., Gusain, Y., Pathak, R., Thakur, R., & Trilok-Kumar, G. (2025). Agreement of Automated Oscillometric Blood Pressure Measurement Device with the Manual Mercury Sphygmomanometer. *Indian Journal of Community Medicine*, 10-4103.
- Barvik, D., Cerny, M., Penhaker, M., & Noury, N. (2021). Noninvasive continuous blood pressure estimation from pulse transit time: A review of the calibration models. *IEEE reviews in biomedical engineering*, 15, 138-151.
- Booth, J. (1977). A Short History of Blood Pressure Measurement. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 70(11), 793-799. <https://doi.org/10.1177/003591577707001112>
- Farias, R. F., Tavares, R. M., & Fraga, C. H. (2025). A procedure to determine the accuracy of the blood pressure simulator. *Research on Biomedical Engineering*, 41(1), 1-8.
- Geršák, G., Schiebl, M., Nawotka, M., Jugo, E., do Céu Ferreira, M., Duffy, A., Rosu, D. M., Pavlásek, P., Sedlák, V., & Pražák, D. (2021). Physiology-based patient simulator for blood pressure meter testing. *Measurement: Sensors*, 18, 100260.
- Kario, K., Williams, B., Tomitani, N., McManus, R. J., Schutte, A. E., Avolio, A., Shimbo, D., Wang, J.-G., Khan, N. A., Picone, D. S., et al. (2024). Innovations in blood pressure measurement and reporting technology: International Society of Hypertension position paper endorsed by the World Hypertension League, European Society of Hypertension, Asian Pacific Society of Hypertension, and Latin American Society of Hypertension. *Journal of Hypertension*, 42(11), 1874-1888.
- Kumar, R., Dubey, P., Zafer, A., Kumar, A., & Yadav, S. (2021). Past, present and future of blood pressure measuring instruments and their calibration. *Measurement*, 172, 108845.
- Liu, J., Li, Y., Li, J., Zheng, D., & Liu, C. (2022). Sources of automatic office blood pressure measurement error: a systematic review. *Physiological Measurement*, 43(9), 09TR02.
- Mieke, S., & Murray, A. (2023). Technical evaluation of a simulator for accurate reproduction of oscillometric blood pressure pulses, providing traceability for automated oscillometric sphygmomanometers. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 9(6), 065003.
- Uemura, K., Nishikawa, T., Hasebe, N., Yokota, S., Kakuuchi, M., Saku, K., Kawada, T., Morodome, S., Furukoshi, M., & Sugimachi, M. (2022). A Novel Triple-Bladder Cuff Method for Blood Pressure Estimation Based on Pulse Wave Dynamics in Brachial Artery: Theoretical and Experimental Analyses. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(2), 703-714.
- Williams, B., Mancia, G., Spiering, W., Agabiti Rosei, E., Azizi, M., Burnier, M., Clement, D. L., Coca, A., de Simone, G., Dominiczak, A., et al. (2018). 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Hypertension (ESH). *European Heart Journal*, 39(33), 3021-3104. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy339>
- Wnarifin. (2025). Sample Size Calculator. <https://wnarifin.github.io/ssc/ssicc.html>
- World Health Organization. (2024). Hypertension: Key Facts. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>

6. Anexos

6.1. Anexo I: Informe Aprobación Comité de Ética



Informe Protocolo Favorable
Proyecto de investigación
Ref: CE_20250213_21_SAL

LUCÍA DE JUAN FERRÉ, PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA UCM, CERTIFICA:

Que el Comité de Ética de la Investigación de la UCM, en su sesión de 13 de febrero de 2025, ha evaluado la propuesta relativa al siguiente proyecto:

Título: "Análisis de los datos recogidos de las mediciones con tensiómetros en pacientes voluntarios".

Investigador responsable:
Diego García Pinto

Solicitante:
Irene Sánchez Hernández

Que en este estudio:

- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- La capacidad de los investigadores y los medios disponibles son adecuados para llevar a cabo el estudio.
- Los investigadores responsables quedan comprometidos a respetar el carácter confidencial de la información obtenida y a custodiarla conforme a la legislación vigente, incluyendo la protección de datos personales.

Cualquier cambio sobre el proyecto evaluado por el comité invalida el presente informe favorable y requerirá una nueva evaluación.

Madrid, a fecha de firma

Código Seguro De Verificación	4472-694D-7967P7133-694B	Estado	Fecha y hora	
Firmado Por	Lucia de Juan Ferre - Vicerrectora de Investigación y Transferencia	Firmado	07/03/2025 11:22:56	
Observaciones		Página	1/1	
Uri De Verificación	https://sede.ucm.es/verificacion?csv=4472-694D-7967P7133-694B			
Normativa	Este informe tiene carácter de copia electrónica auténtica con validez y eficacia administrativa de ORIGINAL (art. 27 Ley 39/2015).			

6.2. Anexo II: Consentimiento Informado y de Confidencialidad

CONSENTIMIENTO INFORMADO Y CONFIDENCIALIDAD

Firma alumna:

Firmado por SANCHEZ HERNANDEZ IRENE -
***7250** el día 30/01/2025 con un certificado
emitido por AC FNMT Usuarios

Firma tutor:

GARCIA PINTO
DIEGO - DNI
02648004Z

Digitally signed by GARCIA PINTO DIEGO - DNI
02648004Z
DN: c=ES, o=UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE
MADRID, ou=CERTIFICADO ELECTRONICO DE
EMPLEADO PUBLICO, SERIALNUMBER=IDCES-
02648004Z, SN=GARCIA PINTO, G=DIEGO, CN=
GARCIA PINTO DIEGO - DNI 02648004Z
Date: 2025.01.30 12:21:25+01'00'

1. Información sobre el estudio

Título del estudio: "Análisis de los datos recogidos de las mediciones con tensiómetros en pacientes voluntarios".

Objetivo del estudio: Comparar dos métodos de medición de la presión arterial para entender mejor sus diferencias y mejorar la precisión de las mediciones. Para ello, se tomarán datos de presión arterial mediante ambos métodos.

Tu participación:

- Se te tomarán mediciones de presión arterial mediante dos métodos diferentes.
- Responderás a unas preguntas básicas acerca de tu edad, sexo, estado de salud y estilo de vida.

Beneficios del estudio:

- Se espera comprender mejor las diferencias entre ambos métodos de medición de presión arterial.
- Posible contribución a la mejoría de la precisión de la medición de la presión arterial en el futuro.

Riesgos y molestias:

- Podrías sentir una ligera presión en el brazo durante la medición.

Si no participas:

- Tu decisión no afectará en nada a tu vida cotidiana.

Institución responsable:

- Este estudio es parte de un Trabajo de Fin de Máster de la Universidad Complutense de Madrid.

Gratuidad:

- No recibirás ni tendrás que pagar dinero por participar.

Uso de los resultados:

- Los resultados se usarán con fines de investigación y podrían ser publicados en estudios científicos, siempre manteniendo la confidencialidad de los participantes.

Contacto del investigador:

- Irene Sánchez Hernández irensa14@ucm.es

Ética:

El proyecto seguirá las normas éticas internacionales de la Declaración de Helsinki. Puedes retirarte del estudio en cualquier momento.

2. Confidencialidad

Protección de datos:

- Tus datos personales estarán protegidos según la Ley de Protección de Datos (LOPD) 3/2018.
- Se han tomado todas las medidas necesarias para asegurar tu privacidad.

Acceso a la información: Tienes derecho a acceder a la información sobre ti generada en el estudio. Para ello, contacta con el investigador.

Anonimización de datos: Tus datos serán anonimizados mediante un número. Los consentimientos firmados no se juntarán nunca con los datos recogidos en el estudio. En los resultados del estudio, tus datos personales no serán identificables.

3. Consentimiento

Si participas en el estudio, eres mayor de edad y nadie te representa:

Yo, Don/Doña _____, con DNI _____, declaro que:

- He sido informado/a sobre el proyecto "Análisis de los datos recogidos de las mediciones con tensiómetros en pacientes voluntarios".
 - He leído y entendido la información y el compromiso de confidencialidad.
 - Sé que puedo retirarme del estudio en cualquier momento.
- Consiento participar en este estudio y lo firmo en _____, a _____ de _____ de 2025.

FIRMA:

6.3. Anexo III: Cuestionario rellenado por los pacientes voluntarios

CUESTIONARIO DE CARACTERIZACIÓN DE VOLUNTARIOS PARA EL ESTUDIO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN ARTERIAL

Nº paciente (no responder a esta pregunta): _____

Edad: _____ años

Sexo: Femenino / Masculino

Peso: _____ kg

Altura: _____ cm

Código postal:

Patologías:

Medicamentos:

¿Cuántos días a la semana realizas al menos 30 minutos de actividad física moderada (como caminar rápido, montar en bicicleta a ritmo moderado, tareas domésticas intensas)?

- 0 días
- 1-2 días
- 3-4 días
- 5-7 días

¿Cuántos días a la semana realizas al menos 20 minutos de actividad física vigorosa (como correr, nadar rápido, deportes de alta intensidad)?

- 0 días
- 1-2 días
- 3-4 días
- 5-7 días

En su jornada laboral o de estudio, ¿cuánto tiempo pasas sentado en promedio por día?

- Menos de 4 horas
- Entre 4 y 7 horas
- Más de 7 horas

¿Cuántas raciones de frutas consumes al día?

- Menos de 1
- 1-2
- 3 o más

¿Cuántas raciones de verduras consumes al día?

- Menos de 1
- 1-2
- 3 o más

¿Usas aceite de oliva como principal grasa para cocinar?

- Sí
- No

¿Cuántas veces a la semana consumes embutidos, carnes rojas o carnes procesadas?

- Más de 3
- 1-3
- Menos de 1

¿Añades sal a las comidas después de haberlas cocinado?

- Siempre
- A veces
- Nunca