



ARTÍCULO ORIGINAL / Original

HIPERTENSIÓN, COMORBILIDADES Y TIPO DE FRACTURA EN ADULTOS MAYORES: UN ANÁLISIS DE MEDIACIÓN

Alberto Guevara Tirado 

Universidad Científica del Sur. Lima, Perú

Resumen

Introducción: las fracturas por fragilidad en adultos mayores suelen coexistir con comorbilidades, afectando su localización y gravedad.

Objetivo: analizar si el número de comorbilidades actúa como mediador entre hipertensión arterial y fracturas por fragilidad en adultos mayores.

Materiales y métodos: estudio de corte de datos secundarios de 719 adultos ≥ 50 años con fracturas por fragilidad no vertebrales. Se utilizó el modelo 4 de PROCESS de Hayes para analizar si el total de comorbilidades media la relación entre hipertensión arterial y tipo de fractura (miembro superior vs. inferior). Se usaron regresiones lineales y logísticas ajustadas por edad, sexo, diabetes, dislipidemia, tabaquismo y uso de calcio/vitamina D. Se aplicó remuestreo *bootstrap* con 5000 iteraciones. Los resultados se representaron en un diagrama del modelo de mediación para representar la hipótesis analítica planteada.

Resultados: La hipertensión ($B=1,35$; $p<0,001$), diabetes mellitus ($B=1,09$; $p<0,001$),

dislipidemia ($B=1,36$; $p<0,001$) y uso de vitamina D ($B=0,73$; $p<0,001$) se asociaron con mayor número de comorbilidades. En la regresión logística se observó una asociación directa positiva entre hipertensión y fractura en miembro superior ($B=0,43$; $p=0,042$), así como una asociación indirecta negativa mediada por comorbilidades ($B=-0,48$; IC 95%: $-0,73$ a $-0,28$). El número de comorbilidades se relacionó con mayor probabilidad de fractura en miembro inferior ($B=-0,36$; $p<0,001$). También fueron significativos el sexo ($B=-0,50$; $p=0,012$), la dislipidemia ($B=0,82$; $p<0,001$), el tabaquismo ($B=0,42$; $p=0,033$) y el bajo consumo de calcio ($B=-0,71$; $p=0,008$).

Conclusiones: la hipertensión arterial se asocia con fracturas en miembro superior; sin embargo, esta asociación se atenúa o se invierte en presencia de mayor carga de comorbilidades, favoreciendo fracturas en miembros inferiores.

Palabras clave: fracturas óseas, hipertensión, comorbilidad, salud del adulto, análisis de mediación

HYPERTENSION, COMORBIDITIES, AND FRACTURE TYPE IN OLDER ADULTS: A MEDIATION ANALYSIS

Abstract

Introduction: Fragility fractures in older adults often coexist with comorbidities, affecting their location and severity.

Objective: To analyze whether the number of comorbidities acts as a mediator in the association between hypertension and fragility fracture type in older adults.

Materials and methods: A cross-sectional study based on secondary data from 719 adults aged ≥ 50 years with non-vertebral fragility fractures. Hayes' PROCESS model 4 was used to assess whether the total number of comorbidities mediated the association between hypertension and fracture type (upper vs. lower limb). Linear and logistic regressions were adjusted for age, sex, diabetes, dyslipidemia, smoking, and calcium/vitamin D supplementation. Bootstrap resampling with 5000 iterations was applied. Results were illustrated in a mediation model diagram to

represent the theoretical analytical framework.

Results: Hypertension ($B=1.35$; $p<0.001$), diabetes mellitus ($B=1.09$; $p<0.001$), dyslipidemia ($B=1.36$; $p<0.001$), and vitamin D use ($B=0.73$; $p<0.001$) were associated with a higher number of comorbidities. In the logistic regression, a direct positive association between hypertension and upper limb fractures was observed ($B=0.43$; $p=0.042$), along with a significant indirect association mediated by comorbidities ($B=-0.48$; 95% CI: -0.73 to -0.28). A higher number of comorbidities was associated with lower limb fractures ($B=-0.36$; $p<0.001$). Sex ($B=-0.50$; $p=0.012$), dyslipidemia ($B=0.82$; $p<0.001$), smoking ($B=0.42$; $p=0.033$), and low calcium intake ($B=-0.71$; $p=0.008$) were also significant.

Conclusions: Hypertension was associated with upper limb fractures; however, this association was attenuated or reversed in the presence of multiple comorbidities, favoring lower limb fractures.

Keywords: fractures, bone, hypertension, comorbidity, adult health, mediation analysis.

Introducción

Las fracturas por fragilidad constituyen una de las principales causas de morbilidad, discapacidad y pérdida de calidad de vida en adultos mayores, especialmente en contextos con alta prevalencia de enfermedades crónicas y acceso limitado a servicios de salud.¹ Estas fracturas, que ocurren típicamente tras caídas de bajo impacto, afectan con mayor frecuencia a sitios como la cadera, el húmero, el radio distal y el tobillo, y se encuentran estrechamente relacionadas con condiciones como la osteoporosis, el deterioro funcional y la multimorbilidad.²

La hipertensión arterial (HTA) es una de las comorbilidades más frecuentes en personas de 50 años o más y ha sido asociada con un

mayor riesgo de caídas, alteraciones en la microcirculación ósea y disminución de la masa mineral ósea.^{3,4} Sin embargo, su relación con el tipo específico de fractura no ha sido claramente establecida. Por otro lado, la carga de comorbilidades podría modificar esta asociación, dado que las enfermedades que suelen coexistir en edades avanzadas pueden alterar tanto la estabilidad postural como la fragilidad ósea, pudiendo afectar la localización y gravedad de las fracturas.

Los estudios que analizan la relación entre hipertensión arterial, comorbilidades y fracturas en adultos mayores siguen siendo limitados, a pesar de que esta población concentra una elevada carga de enfermedades crónicas



y un mayor riesgo de fracturas por fragilidad.⁵ En el contexto del envejecimiento poblacional global, estas condiciones representan un desafío creciente para los sistemas de salud, tanto por sus implicaciones clínicas como por los costos asociados a la atención y rehabilitación⁶. Ciertos factores como las barreras estructurales al acceso a servicios preventivos y el subtratamiento de enfermedades como la osteoporosis agravan aún más la vulnerabilidad de los adultos mayores, especialmente en entornos con recursos limitados.⁷

Asimismo, la HTA ha sido asociada con alteraciones en la perfusión ósea, disfunción endotelial, inflamación crónica y mayor riesgo de caídas, lo cual podría influir en la aparición de fracturas osteoporóticas. A su vez, se vincula frecuentemente con otras enfermedades crónicas como la diabetes, la dislipidemia y la movilidad reducida, configurando un perfil de multimorbilidad en adultos mayores. Estas comorbilidades pueden afectar tanto la estabilidad postural como la integridad del hueso, modificando potencialmente el patrón anatómico de las fracturas. Bajo este marco tiene sentido explorar un modelo causal donde la HTA se relacione con el tipo de fractura, y este vínculo pueda estar mediado por el número total de comorbilidades, como mecanismo explicativo relevante en contextos clínicos con alta carga de enfermedades crónicas.

En ese sentido, el presente estudio tuvo como objetivo analizar si el número de comorbilidades actúa como mediador en la relación entre HTA y tipo de fractura por fragilidad (miembro superior versus miembro inferior) en una muestra de adultos mayores. Se espera que este enfoque permita comprender mejor cómo la HTA contribuye directa o indirectamente a la localización anatómica de las fracturas a través de la acumulación de condiciones clínicas coexistentes, lo que podría facilitar la identificación de perfiles de riesgo más precisos y mejorar las estrategias de prevención y manejo integral en adultos mayores con múltiples comorbilidades.

Materiales y método

Diseño y población

Se realizó un estudio de tipo analítico y transversal utilizando una base de datos secundaria de acceso abierto, originalmente publicada en la plataforma F1000Research®. Esta base de datos corresponde a una cohorte retrospectiva de tres años (enero de 2017 a diciembre de 2019) obtenida a partir de registros médicos electrónicos.⁸ La base de datos estuvo conformada por 719 pacientes adultos de 50 años o más, de ambos sexos, que acudieron a servicios ambulatorios u hospitalarios a causa de fracturas por fragilidad no vertebrales.

La base de datos incluyó fracturas de bajo impacto ocurridas en el húmero, cintura escapular, radio, cúbito, cuello femoral, región intertrocanterica/subtrocanterica, tibia y maléolos. No se tuvieron en cuenta fracturas vertebrales, aquellas debidas a mecanismos de alta energía (como proyectiles, accidentes automovilísticos o caídas desde más de un metro de altura), fracturas relacionadas con cáncer y fracturas previamente tratadas en otra institución o con diagnóstico de no unión. Los datos analizados incluyeron información sociodemográfica, clínica y sobre el consumo de suplementos (calcio y vitamina D), así como antecedentes médicos relevantes registrados al momento del evento fracturario.

Variables y mediciones

La variable dependiente principal fue el tipo de fractura por fragilidad, categorizada en miembro superior (que comprendió fracturas del húmero, muñeca y antebrazo) y miembro inferior (incluyendo cadera, tibia y tobillo). Estas fracturas habían sido codificadas según la Clasificación Internacional de Enfermedades, décima revisión (CIE-10), utilizando los códigos S42.2 y S42.9 para fracturas del húmero y del hombro; S52.5, S52.60 y S52.9 para radio, cúbito y antebrazo; S72.0, S72.1 y S72.2 para cuello femoral e intertrocantericas/subtrocantericas y S82.3, S82.5, S82.6 y S82.8

para maléolos, par tibia distal y maléolos. Esta variable fue dicotomizada como fractura en miembro superior = 1 y miembro inferior = 0.

La variable mediadora fue el número total de comorbilidades, definida como el recuento de diagnósticos médicos crónicos registrados en la historia clínica al ingreso. Esta se trató como una variable de conteo modelada analíticamente como continua. Entre las comorbilidades documentadas se incluyeron hipertensión arterial, diabetes mellitus, dislipidemia, enfermedad tiroidea, enfermedad renal crónica, enfermedad cardiovascular, cáncer, osteoporosis, artritis y movilidad reducida, entre otras.

Las variables independientes seleccionadas para el análisis incluyeron condiciones clínicas y conductuales registradas como antecedentes o diagnósticos activos en el momento de la fractura, tales como hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2, dislipidemia, uso de suplementos de calcio, suplementación con vitamina D y antecedente de tabaquismo. La hipertensión arterial fue considerada según el diagnóstico clínico registrado en la historia médica electrónica al momento del ingreso por fractura. La base de datos no incluyó valores específicos de presión arterial ni el criterio diagnóstico utilizado (por ejemplo, umbral $\geq 140/90$ mmHg), por lo que esta variable se analizó en forma dicotómica (presente/ausente).

Estas variables fueron dicotomizadas (presente = 1; ausente = 0) en función de su presencia en los registros. Asimismo, se incluyeron como covariables de control la edad (expresada en años, variable continua) y el sexo (femenino = 1; masculino = 0).

La información fue extraída por los responsables del estudio original mediante reportes del sistema de inteligencia empresarial del hospital y herramientas automatizadas como *DI Report Writer*. Los datos sobre diagnóstico de fractura, uso de medicamentos y antecedentes clínicos fueron validados por personal clínico y técnico en el estudio primario, y no

se recolectaron datos directamente de los pacientes para el presente análisis.

Análisis estadístico

Para evaluar la relación entre HTA y tipo de fractura (miembro superior vs. miembro inferior) se utilizó un análisis de mediación simple correspondiente al modelo 4 del macro-PROCESS® de Andrew F. Hayes, el cual permite estimar componentes directos e indirectos dentro de un marco analítico teórico, considerando una variable mediadora.⁹ En este caso, la variable independiente fue la presencia de HTA; la variable dependiente, el tipo de fractura (codificada como fractura en miembro superior = 1, inferior = 0); y la variable mediadora, el número total de comorbilidades. Todos los modelos fueron ajustados por edad, sexo, diabetes, dislipidemia, uso de suplementos de calcio y vitamina D y antecedente de tabaquismo.

Primero, se aplicó un modelo de regresión lineal para examinar los predictores del número total de comorbilidades. En este modelo, los coeficientes B representan el cambio promedio en el número de comorbilidades asociado a una unidad de cambio en la variable independiente. El valor t evalúa si cada coeficiente es significativamente diferente de cero; el valor p indica si esa diferencia es estadísticamente significativa. El coeficiente de determinación R² refleja el porcentaje de la varianza total del mediador explicado por el modelo (R² = 0,64), y el estadístico F evalúa la significancia global del modelo (p global < 0,001).

Luego, se utilizó una regresión logística binaria para modelar la probabilidad de fractura en miembro superior según hipertensión, comorbilidades y otras covariables. En este modelo, los coeficientes B indican el logaritmo del *odds ratio* (log-OR) para cada variable independiente. El estadístico Z (similar al t en regresión lineal) evalúa la significancia individual de cada predictor y los intervalos de confianza (IC 95%) indican el rango de valores plausibles para cada efecto. Se reportaron



también indicadores de ajuste del modelo como el -2 Log Likelihood y las pseudo- R^2 de Cox & Snell y Nagelkerke, siendo esta última útil para interpretar la proporción de varianza explicada.

Se aplicó el procedimiento de mediación utilizando el método de remuestreo *bootstrap* con 5000 iteraciones, lo que permitió estimar con precisión los componentes directo e indirecto de la asociación entre hipertensión y tipo de fractura, mediado por las comorbilidades. Un componente indirecto significativo, con un intervalo de confianza que no incluye el valor cero, indica una mediación estadísticamente relevante.

Finalmente, se elaboró un diagrama esquemático (con el programa Microsoft Power Point 2016®) para representar gráficamente el modelo de mediación especificado. En esta figura se incluyen la variable independiente, el mediador y la variable dependiente, así como las covariables clínicas, sociodemográficas y conductuales incluidas en los modelos, con el objetivo de facilitar la comprensión de las relaciones modeladas y del papel del mediador dentro del esquema analítico planteado.

Se consideró un nivel de significancia de $p \leq 0,05$ en todos los análisis. El procedimiento completo se realizó en SPSS 27® con el macro-PROCESS 4.3 de Hayes.

Dado el diseño transversal basado en registros secundarios, el análisis de mediación se utilizó como un modelo estadístico para explorar asociaciones estructuradas entre variables, sin implicar relaciones causales.

Consideraciones éticas

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos de la plataforma de acceso abierto F1000Research.com®, la cual opera bajo una licencia *Creative Commons*, por lo que no fue necesario solicitar permisos o autorizaciones adicionales al tratarse de una base de datos secundaria. La investigación se llevó a cabo conforme a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki. La base de datos

y el material complementario están disponibles en el siguiente enlace:⁷ <https://f1000research.com/articles/10-175#ref-7>.

Resultados

La mayoría de los adultos mayores con fracturas por fragilidad no tenía diagnóstico previo de osteoporosis, a pesar de la ocurrencia del evento clínico, lo que podría sugerir un subdiagnóstico o infratratamiento en esta población. La mayor proporción de casos correspondió a personas entre 66 y 83 años y de sexo femenino. Más de la mitad presentaba hipertensión arterial y obesidad, mientras que un tercio tenía antecedentes de diabetes o dislipidemia. El hábito de fumar actual o pasado fue menos frecuente que la ausencia total de consumo, y solo uno de cada tres pacientes recibía suplementación con vitamina D. En cuanto a la carga de enfermedades crónicas, cerca del 60% informó entre dos y cuatro comorbilidades. Las fracturas se localizaron predominantemente en miembros inferiores, particularmente en tobillo y cadera, frente a las de miembro superior como hombro o muñeca (Tabla 1).

El modelo de regresión lineal para el total de comorbilidades presentó un ajuste adecuado ($R=0,80$; $R^2=0,64$; $F=157,96$; $gl=8;703$; $p < 0,001$), explicando el 64% de la varianza del mediador. Se observó que la hipertensión arterial ($B=1,35$; IC 95%: 1,15-1,54; $p < 0,001$), la diabetes ($B=1,09$; IC 95%: 0,89-1,28; $p < 0,001$), la dislipidemia ($B=1,36$; IC 95%: 1,17-1,55; $p < 0,001$) y el uso de vitamina D ($B=0,73$; IC 95%: 0,52-0,95; $p < 0,001$) se asociaron significativamente con un mayor número de comorbilidades. En cambio, edad, sexo, consumo de calcio y tabaquismo no mostraron asociaciones estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo que sugiere que la carga comórbida en esta población hispana adulta mayor está más vinculada a condiciones clínicas específicas que a factores socio-demográficos o conductuales (Tabla 2).

En el modelo de regresión logística

Tabla 1. Características clínicas y sociodemográficas de adultos ≥ 50 años con fracturas por fragilidad (N = 719)

Variable	Categoría	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Osteoporosis	No	657	91,4
	Sí	62	8,6
Grupo etario	50-65 años	187	26
	66-83 años	355	49,4
	84 años o más	177	24,6
Sexo	Mujer	550	76,5
	Hombre	169	23,5
Hipertensión arterial	No	294	40,9
	Sí	425	59,1
Obesidad	No	376	52,3
	Sí	343	47,7
Diabetes mellitus	No	458	63,7
	Sí	261	36,3
Dislipidemia	No	452	62,9
	Sí	267	37,1
Consumo de cigarro	Fumador / Exfumador	175	24,3
	Nunca	537	74,7
Vitamina D	No	472	65,6
	Sí	247	34,4
Número total de comorbilidades	0	57	7,9
	1	131	18,2
	2	138	19,2
	3	143	19,9
	4	98	13,6
	5	84	11,7
	6	37	5,1
	7	23	3,2
	8	6	0,8
	10	2	0,3
Zona de fractura por fragilidad	Miembro inferior (cadera o tobillo)	423	58,8
	Miembro superior (hombro o muñeca)	296	41,2

multivariado, la hipertensión arterial se asoció significativamente con mayor probabilidad de fractura en miembro superior frente a inferior (B=0,4291; IC 95%: 0,0158-0,8424; p=0,042). En cambio, el número total de comorbilidades

se asoció inversamente (B=-0,356; IC 95%: -0,5040 a -0,2080; p < 0,001), sugiriendo que una mayor carga comórbida favorece fracturas en miembros inferiores. Asimismo, el sexo femenino presentó menor probabilidad



Tabla 2. Modelo de regresión lineal para el número total de comorbilidades

Variable	Coefficiente (B)	Error estándar	Valor t	Valor p	IC 95%
Constante	0,9454	0,1533	6,17	<0,001	0,6445-1,2464
HTA	1,346	0,1001	13,45	<0,001	1,1495-1,5426
Edad	0,0491	0,0626	0,78	0,433	-0,0738-0,1720
Sexo	0,0024	0,1029	0,02	0,982	-0,1996-0,2043
Diabetes	1,0851	0,0981	11,06	<0,001	0,8925-1,2778
Dislipidemia	1,3637	0,0964	14,14	<0,001	1,1743-1,5531
Calcio	0,012	0,1343	0,09	0,929	-0,2516-0,2756
Fumador	-0,1014	0,1021	-0,99	0,321	-0,3018-0,0990
Vitamina D	0,7312	0,1101	6,64	<0,001	0,5151-0,9473

Estadísticos del modelo: R=0,8016; R²=0,6425; F=157,96; gl (df)=8; 703; p global del modelo < 0,001

de fractura superior (B=-0,4982; IC 95%: -0,8854 a -0,1111; p=0,012). La dislipidemia (B=0,8223; p < 0,001), el antecedente de tabaquismo (B=0,417; p=0,033) y niveles bajos de calcio (B=-0,7079; p=0,008) también fueron predictores significativos. Edad, diabetes mellitus y vitamina D no mostraron asociaciones relevantes (p > 0,05). El modelo presentó ajuste aceptable (-2LL=908,93) y capacidad

explicativa moderada (Nagelkerke R²=0,1014), con significancia global ($\chi^2=55,69$; gl=9; p < 0,001) (Tabla 3).

Con el fin de evaluar la robustez del modelo se realizó un análisis de sensibilidad excluyendo la hipertensión arterial de la regresión logística multivariada. El número total de comorbilidades mantuvo una asociación significativa e inversa con fractura en miembro superior

Tabla 3. Modelo de regresión logística para tipo de fractura (miembro superior vs. miembro inferior)

Variable	Coefficiente (B)	Error estándar	Z	Valor p	IC 95%
Constante	0,1942	0,2928	0,66	0,507	-0,3797- 0,7682
HTA	0,4291	0,2109	2,04	0,042	0,0158-0,8424
Número de comorbilidades	-0,356	0,0755	-4,71	<0,001	-0,5040- -0,2080
Edad	-0,137	0,1167	-1,17	0,241	-0,3658- 0,0918
Sexo	-0,4982	0,1975	-2,52	0,012	-0,8854- -0,1111
Diabetes mellitus	0,0685	0,1989	0,34	0,731	-0,3213- 0,4582
Dislipidemia	0,8223	0,2102	3,91	<0,001	0,4102- 1,2343
Calcio	-0,7079	0,2658	-2,66	0,008	-1,2288- -0,1870
Fumador	0,417	0,1954	2,13	0,033	0,0339- 0,8000
Vitamina D	0,1768	0,2123	0,83	0,405	-0,2392- 0,5928

-2 Log likelihood=908,93; McFadden R²=0,0577; Cox & Snell R²=0,0752; Nagelkerke R²=0,1014; p global del modelo (χ^2)=< 0,001; df=9

Variable dependiente: fractura en miembro superior (1) vs. miembro inferior (0).

(OR=0,745; IC 95%: 0,655-0,847; $p < 0,001$), evidenciando consistencia en la dirección y magnitud del efecto (Tabla 4).

En el análisis de mediación se observó un componente directo positivo de la asociación entre hipertensión y probabilidad de fractura en miembro superior frente a inferior (B=0,4291; IC 95%: 0,0158-0,8424; $p=0,042$), indicando que los adultos mayores con hipertensión presentaron mayor probabilidad de este tipo de fractura. Asimismo, se evidenció un componente indirecto negativo significativo mediado por el número total de comorbilidades (B=-0,4791; IC 95%: -0,7310 a -0,2828), lo que sugiere que, al incrementar la carga comórbida, la asociación entre

hipertensión y tipo de fractura se orienta hacia mayor probabilidad de fractura en miembro inferior. Estos hallazgos indican la coexistencia de asociaciones en direcciones opuestas dentro del modelo analítico planteado (Tabla 5).

El diagrama (Figura 1) representa las asociaciones significativas del modelo de mediación, donde la HTA es la variable independiente; el tipo de fractura, la dependiente, y el número total de comorbilidades, el mediador. Las flechas rojas indican asociaciones positivas, relacionadas con mayor probabilidad de fractura en el miembro superior; las azules indican asociaciones negativas, vinculadas con fracturas en el miembro inferior. La HTA mostró un componente directo positivo

Tabla 4. Análisis de sensibilidad: Modelo logístico para tipo de fractura excluyendo hipertensión arterial

Variable	B	OR	IC 95%	p
Número total de comorbilidades	-0,295	0,745	0,655- 0,847	<0,001
Diabetes mellitus	0,131	1,14	0,775- 1,675	0,506
Dislipidemia	0,783	2,189	1,456- 3,291	<0,001
Calcio	-0,698	0,497	0,299- 0,829	0,007
Vitamina D	0,116	1,123	0,746-- 1,690	0,578
Fumador	-0,395	0,674	0,461- 0,985	0,042
Sexo femenino	0,502	1,652	1,124- 2,427	0,011

Tabla 5. Componentes directo e indirecto de la asociación entre hipertensión y tipo de fractura

Tipo de efecto	Efecto	Error bootstrap	IC 95%	Valor p
Directo (HTA → fractura en miembro superior vs. inferior)	0,4291	0,2109	0,0158- 0,8424	0,042
Indirecto (HTA → comorbilidades → fractura en miembro superior vs. inferior)	-0,4791	0,1136	-0,7310--0,2828	—

Nota: ajustado por edad, sexo, diabetes, dislipidemia, consumo de suplementos de calcio, fumador, consumo de suplementos de vitamina D.

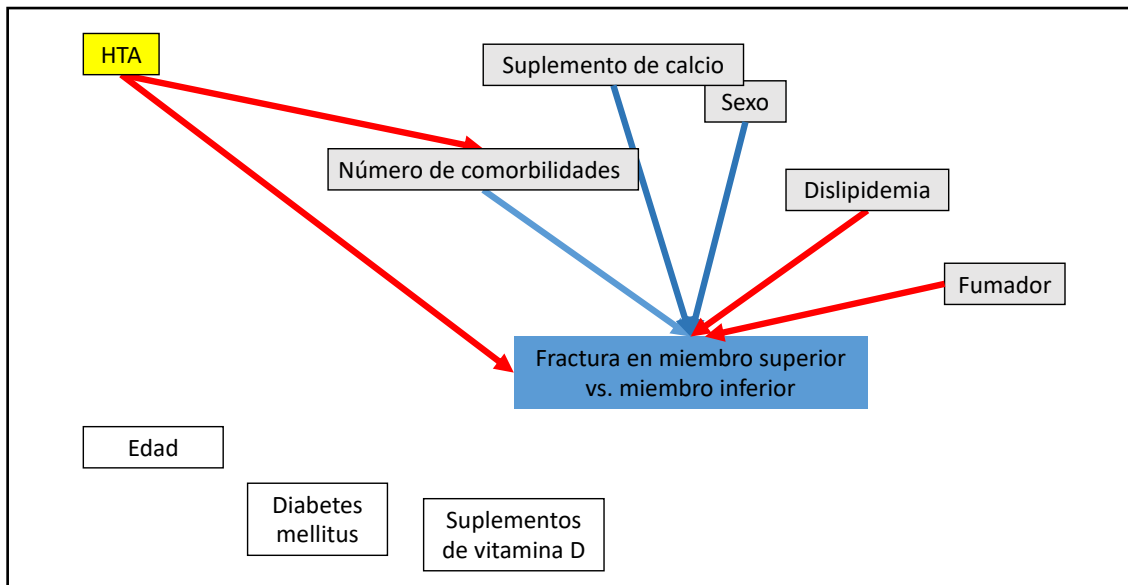


Figura 1. Modelo de mediación de la asociación entre HTA y fracturas en miembro superior vs. miembro inferior, con comorbilidades como mediador.

de la asociación con el tipo de fractura, y un componente indirecto negativo mediado por comorbilidades. Además, dislipidemia y tabaquismo se asociaron con mayor riesgo de fractura superior, mientras que el sexo femenino y el calcio, con fractura inferior. Edad, diabetes y vitamina D se incluyen sin flechas por no haber mostrado significación estadística, aunque fueron controladas como covariables. Este esquema resume la coexistencia de efectos contrapuestos que contribuyen al riesgo diferencial de fractura según la localización anatómica.

Discusión

Los resultados mostraron que ciertas condiciones clínicas, particularmente la HTA, la diabetes mellitus, la dislipidemia y el uso de suplementos de vitamina D, se asociaron significativamente con un mayor número de comorbilidades en adultos mayores de este estudio. Tal hallazgo sugiere que la carga comórbida en esta población está determinada

principalmente por enfermedades crónicas de base metabólica, más que por factores socio-demográficos como la edad o el sexo, o conductuales como el tabaquismo o el consumo de suplementos de calcio. Esto podría explicarse por el hecho de que algunas patologías como la hipertensión, la diabetes mellitus y la dislipidemia comparten mecanismos fisiopatológicos comunes, como la inflamación crónica, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial,¹⁰ que tienden a coexistir y acumularse en el mismo individuo, generando un perfil clínico complejo. En contraste, variables como la edad o el sexo podrían influir de forma indirecta o estar moduladas por el contexto clínico general, mientras que el consumo de suplementos no siempre refleja una deficiencia previa ni sugiere necesariamente un estado de salud adverso.¹¹

Adicionalmente, el sexo femenino mostró menor probabilidad de fractura en el miembro superior, hallazgo consistente con estudios previos que informan mayor prevalencia de

fracturas de cadera en mujeres mayores, posiblemente debido a la mayor pérdida de masa ósea trabecular en sitios como la cadera tras la menopausia¹², lo que aumenta su vulnerabilidad a fracturas en miembros inferiores. La dislipidemia y el antecedente de tabaquismo se asociaron con mayor riesgo de fractura en el miembro superior, probablemente por su efecto negativo acumulativo sobre la calidad del hueso, ya que ambas condiciones se han vinculado con alteraciones en el metabolismo óseo, reducción de la densidad mineral y deterioro de la microarquitectura ósea¹³⁻¹⁴. Por su parte, el uso de suplementos de calcio se asoció inversamente con las fracturas en el miembro superior, lo cual podría reflejar una mayor fragilidad ósea general en quienes los consumen o un posible sesgo de prescripción, dado que estos suplementos son más frecuentemente indicados en personas con antecedentes de fractura previa o con mayor riesgo percibido de fracturas osteoporóticas, muchas de las cuales se producen en miembros inferiores.

El modelo de mediación reveló la coexistencia de asociaciones en direcciones opuestas dentro del esquema analítico planteado: aunque la hipertensión se asoció directamente con fracturas en miembro superior, esta asociación se orientó hacia fracturas en miembro inferior en presencia de múltiples comorbilidades. Esta variación en la dirección de la asociación podría explicarse por el deterioro funcional acumulativo que generan las comorbilidades en conjunto, como la sarcopenia, la disminución de la movilidad, el deterioro del equilibrio o el uso de múltiples fármacos,¹⁵ que incrementan el riesgo de caídas graves, típicamente asociadas con fracturas en cadera o tobillo. Es posible que, en ausencia de una carga comórbida elevada, las caídas comprometan con mayor frecuencia las extremidades superiores; mientras que, en presencia de múltiples condiciones clínicas, la fragilidad general aumente la probabilidad de impactos en miembros inferiores. Este patrón

subraya la importancia de evaluar el perfil clínico global del paciente en lugar de centrarse en diagnósticos individuales.

Desde una perspectiva clínica, estos hallazgos resaltan la utilidad del análisis de mediación como herramienta para explorar posibles rutas de asociación en poblaciones envejecidas. A diferencia de los modelos tradicionales que evalúan asociaciones independientes entre variables, el enfoque de mediación permite examinar cómo una variable puede influir en otra a través de un tercer factor intermedio, facilitando una comprensión más integrada del perfil clínico del paciente. Este marco analítico no implica causalidad, sino que ofrece una aproximación estructurada para interpretar asociaciones complejas en estudios observacionales.

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones relevantes para la práctica clínica y la prevención de fracturas en adultos mayores. La identificación de la HTA como un factor asociado a fracturas en miembro superior sugiere que el control adecuado de la presión arterial debería considerarse no solo por sus beneficios cardiovasculares, sino también por su posible impacto en la salud musculoesquelética. Además, dado que una mayor carga comórbida se relacionó con fracturas en miembro inferior, los programas de atención geriátrica integral deberían priorizar la evaluación y manejo simultáneo de múltiples enfermedades crónicas para reducir el riesgo de caídas graves. En conjunto, estos resultados resaltan la necesidad de un abordaje multidimensional del riesgo de fracturas osteoporóticas, incorporando tanto factores individuales como el perfil clínico global del paciente.

Estos resultados también abren diversas interrogantes que merecen exploración en investigaciones futuras. ¿Por qué la hipertensión se asocia directamente con fracturas en miembros superiores, pero este efecto se revierte en presencia de comorbilidades? ¿Existen patrones específicos de caída o mecanismos biomecánicos distintos en personas



hipertensas que expliquen este fenómeno? Además, la asociación inversa entre el uso de suplementos de calcio y las fracturas en miembro superior plantea dudas sobre el momento, dosis y motivo de la suplementación: ¿se trata de un marcador de fragilidad previa o de un efecto protector real limitado a ciertos grupos?

Este estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Al tratarse de un análisis transversal basado en datos secundarios, no es posible establecer relaciones causales entre las variables evaluadas. Además, la información sobre el uso de suplementos de calcio y vitamina D proviene de autoinforme, lo que puede estar sujeto a sesgos de recuerdo o subregistro. Otra limitación fue la ausencia de mediciones clínicas directas como densitometría ósea, información sobre el mecanismo o tipo de caída, o marcadores de fragilidad, que podrían ayudar a precisar los mecanismos fisiopatológicos detrás de las fracturas y su localización anatómica. Asimismo, la base de datos no incluyó el índice de masa corporal como variable continua ni las mediciones de peso y talla necesarias para su cálculo, lo que impidió evaluar el coeficiente ponderoestatural en forma cuantitativa. Finalmente, aunque el análisis incluyó diversas covariables, no se pudo ajustar por factores como la actividad física, el estado nutricional o la adherencia terapéutica, que podrían influir en el riesgo de fractura o en la carga comórbida.

En conclusión, en este estudio la hipertensión arterial en adultos mayores se asoció con fracturas en miembro superior; sin embargo, tal asociación mostró una orientación diferente en presencia de mayor carga de comorbilidades, favoreciendo fracturas en miembros inferiores. Este hallazgo resalta el papel mediador del estado comórbido dentro del modelo analítico planteado y subraya la necesidad de un abordaje clínico integral que considere no solo enfermedades aisladas, sino la coexistencia de múltiples condiciones crónicas. Asimismo, algunos factores como el sexo femenino, la dislipidemia, el tabaquismo y el uso de suplementos de calcio se asociaron diferencialmente con el tipo de fractura, aportando nuevas perspectivas para el tamizaje de riesgo y la planificación de intervenciones preventivas más personalizadas en esta población envejecida.

Conflictos de intereses: el autor declara no tener conflictos de intereses.

Financiamiento: el autor declara que no ha recibido ningún financiamiento o apoyo económico para la realización de este estudio y la preparación de este artículo.

Recibido: 8/09/2025

Aceptado: 13/02/2026

Publicado: 1/04/2026

Referencias

1. Hurtado Y, Hernández OA, De Leon DPA, Duque G. Challenges in delivering effective care for older persons with fragility fractures. *Clin Interv Aging* [Internet]. 2024;19:133-40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/CIA.S433999>
2. Jha SS. Fragility fracture: 10 commandments. *Indian J Orthop* [Internet]. 2025;59(3):244-55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s43465-025-01356-y>
3. Li C, Zeng Y, Tao L, et al. Meta-analysis of hypertension and osteoporotic fracture risk in women and men. *Osteoporos Int* [Internet]. 2017;28(8):2309-18. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00198-017-4050-z>
4. Hu Z, Yang K, Hu Z, et al. Determining the

- association between hypertension and bone metabolism markers in osteoporotic patients. *Medicine (Baltimore)* [Internet]. 2021;100(24):e26276. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000026276>
5. Kanis JA, Johnell O, Oden A, et al. Smoking and fracture risk: a meta-analysis. *Osteoporos Int* [Internet]. 2005;16(2):155-62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00198-004-1640-3>
 6. Jones CH, Dolsten M. Healthcare on the brink: navigating the challenges of an aging society in the United States. *NPJ Aging* [Internet]. 2024;10(1):22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41514-024-00148-2>
 7. Onizuka N, Onizuka T. Disparities in osteoporosis prevention and care: Understanding gender, racial, and ethnic dynamics. *Curr Rev Musculoskelet Med* [Internet]. 2024;17(9):365-72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12178-024-09909-8>
 8. Torres-Reveron A, Serra-Torres M. Retrospective analysis of the use of osteoporosis medication at the presentation of non-vertebral fragility fractures in a predominantly Hispanic population. *F1000Res* [Internet]. 2021 [citado 13 de noviembre de 2024];10(175):175. Disponible en: <https://f1000research.com/articles/10-175/pdf>
 9. Jung SJ. Introduction to mediation analysis and examples of its application to real-world data. *J Prev Med Public Health* [Internet]. 2021;54(3):166-72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3961/jpmph.21.069>
 10. Dąbrowska E, Narkiewicz K. Hypertension and dyslipidemia: The two partners in endothelium-related crime. *Curr Atheroscler Rep* [Internet]. 2023;25(9):605-12. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11883-023-01132-z>
 11. Nagpal AK, Muthukrishnan J. The calcium and vitamin D dilemma: To D or not to D? *Med J Armed Forces India* [Internet]. 2015;71(4):315-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mjafi.2015.09.011>
 12. Whittier DE, Manske SL, Billington E, et al. Hip fractures in older adults are associated with the low density bone phenotype and heterogeneous deterioration of bone microarchitecture. *J Bone Miner Res* [Internet]. 2022;37(10):1963-72. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/jbmr.4663>
 13. Trevisan C, Alessi A, Girotti G, et al. The impact of smoking on bone metabolism, bone mineral density and vertebral fractures in postmenopausal women. *J Clin Densitom* [Internet]. 2020;23(3):381-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jocd.2019.07.007>
 14. Anagnostis P, Florentin M, Livadas S, Lambrinouadaki I, Goulis DG. Bone health in patients with dyslipidemias: An underestimated aspect. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2022;23(3):1639. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms23031639>
 15. Rodrigues F, Domingos C, Monteiro D, Morouço P. A review on aging, sarcopenia, falls, and resistance training in community-dwelling older adults. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2022;19(2):874. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19020874>