

Artículo Original de Investigación

Exploración de la asociación entre factores clínicos y morfometría aórtica mediante redes neuronales.**Exploring the Association between Clinical Factors and Aortic Morphometry Using Neural Networks.**

Alberto Guevara Tirado.

Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 12 de Abril de 2025
Aceptado después de revisión
el 22 de Abril de 2025
www.revistafac.org.ar

El autor declara no tener
conflicto de intereses.

Palabras clave:

Aorta; Tomografía;
Factores de Riesgo
Cardiometabólico;
Anatomía; Redes Neuronales
de la Computación.

Keywords:

Aorta; Tomography;
Cardiometabolic Risk Factors;
Anatomy; Neural Networks,
Computer.

RESUMEN

Introducción: la morfometría de la aorta varía a lo largo de sus segmentos y puede reflejar influencias clínicas diversas.

Objetivo: identificar qué segmentos de la aorta muestran mayor asociación con variables clínicas mediante redes neuronales.

Materiales y método: estudio analítico y transversal con 801 adultos del repositorio Harvard Dataverse (2018–2019), sometidos a tomografía de tórax sin contraste. Se evaluaron diámetros aórticos desde el seno de Valsalva hasta la aorta abdominal, que habían sido medidos mediante inteligencia artificial, junto con 20 variables clínicas. Se aplicó una red neuronal multicapa como herramienta estadística de análisis no lineal.

Resultados: en el análisis del rendimiento del modelo de red neuronal, el diámetro con el menor error relativo fue el de la aorta descendente media, cuyo error relativo fue 0,356 en la fase de prueba, obteniendo un coeficiente de determinación de 0,613, indicando que el modelo explica el 61,3% de la variabilidad del diámetro. Sus variables más influyentes fueron edad (importancia de 0,168), creatinina (0,106), AST (0,082) y potasio (0,071). El error cuadrático medio fue de 0,324 en la fase de entrenamiento y 0,356 en la fase de prueba.

Conclusiones: el modelo de red neuronal indica una mayor asociación no lineal entre variables clínicas y el diámetro de la aorta descendente media, lo que refuerza su importancia como zona anatómica sensible a factores hemodinámicos y metabólicos, y su utilidad como marcador estructural en enfermedades cardiovasculares.

Exploring the Association between Clinical Factors and Aortic Morphometry Using Neural Networks.

ABSTRACT

Introduction: aortic morphometry varies across its segments and may reflect diverse clinical influences.

Objective: to identify which segments of the aorta show the greatest association with clinical variables using neural networks.

Materials and methods: an analytical and cross-sectional study was conducted with 801 adults from the Harvard Dataverse repository (2018–2019) who underwent non-contrast chest CT. Aortic diameters from the sinus of Valsalva to the abdominal aorta, measured using artificial intelligence, were assessed, along with 20 clinical variables. A multilayer neural network was applied as a nonlinear statistical analysis tool.

Results: in the performance analysis of the neural network model, the diameter with the lowest relative error was that of the middle descending aorta, whose relative error was 0.356 in the testing phase, obtaining a coefficient of determination of 0.613, indicating that the model explains 61.3% of the variability in diameter. Its most influential variables were age (importance of 0.168), creatinine (0.106), AST (0.082), and potassium (0.071). The mean square error was 0.324 in the training phase and 0.356 in the testing phase.

Conclusions: the neural network model reveals a stronger nonlinear association between clinical variables and the diameter of the mid-descending aorta, highlighting its sensitivity to hemodynamic and metabolic influences and reinforcing its value as a structural marker in cardiovascular disease assessment.

INTRODUCCIÓN

La aorta es una estructura vascular compleja y el principal vaso sanguíneo del cuerpo humano, encargado de transportar sangre oxigenada desde el ventrículo izquierdo del corazón hacia los órganos y tejidos¹. Anatómicamente, se divide en varios segmentos: la aorta ascendente, el arco aórtico, la aorta descendente torácica y la aorta abdominal. Cada uno de estos segmentos presenta características estructurales particulares y cumple funciones específicas dentro de la circulación sistémica². Su morfometría varía a lo largo de estos segmentos debido a factores biomecánicos, hemodinámicos y del envejecimiento, los cuales pueden reflejar tanto procesos fisiológicos como patológicos influenciados por factores clínicos, metabólicos, hepáticos, renales y cardiovasculares^{3,4}. Si bien es sabido que dichos factores afectan la salud vascular en general, no está claramente establecido qué segmentos aórticos presentan una asociación más fuerte con estas variables clínicas.

Comprender estas relaciones podría ofrecer información útil para la caracterización del remodelado vascular segmentario, y potencialmente contribuir al diseño de estrategias clínicas de evaluación y monitoreo individualizado. En particular, conocer cuáles segmentos aórticos muestran mayor sensibilidad o correspondencia con datos clínicos puede ayudar a priorizar recursos diagnósticos y enfocar la vigilancia en áreas más vulnerables a los cambios sistémicos.

En ese sentido, el objetivo de esta investigación fue identificar qué segmentos de la aorta muestran mayor asociación con variables clínicas utilizando medidas morfométricas tomográficas. Con este propósito, se emplearon modelos de redes neuronales artificiales, tipo perceptrón multicapa, no con el fin de realizar una predicción clínica directa, sino como una herramienta estadística avanzada para explorar patrones de asociación complejos y no lineales entre variables clínicas y medidas tomográficas del diámetro aórtico. A través de esta metodología, se busca comparar el grado de asociación entre distintos segmentos de la aorta y un conjunto común de variables clínicas, con el objetivo de identificar qué regiones presentan una relación más estrecha y consistente.

Esta exploración puede aportar evidencia novedosa sobre las diferencias segmentarias en la respuesta vascular a factores clínicos, y abre el camino para nuevas preguntas fisiopatológicas sobre la vulnerabilidad estructural diferencial de la aorta en contextos clínicos diversos.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño y población

Estudio analítico y transversal, utilizando una base de datos secundaria disponible en el repositorio Harvard Dataverse. Esta base de datos incluía adultos con y sin comorbilidades, que fueron sometidos a tomografía de tórax sin

contraste y a una evaluación de la elasticidad arterial mediante un detector de arteriosclerosis, entre marzo de 2018 y octubre de 2019.

La población estuvo compuesta por 801 adultos de 18 años o más, todos evaluados con tomografía de tórax. Según los autores de la base original, los participantes no presentaban alteraciones arteriales significativas ni enfermedades que pudieran comprometer seriamente la estructura de las arterias. Fueron excluidos aquellos con antecedentes de revascularización o reemplazo aórtico, colocación de stents, síndromes genéticos vinculados con aneurismas o disecciones aórticas (como los síndromes de Marfan o Turner), anomalías congénitas relevantes de las ramas aórticas, enfermedades inflamatorias con afectación aórtica, síndromes arteriales agudos (como disección o hematoma intramural), aneurismas aórticos, condiciones de hipovolemia o inestabilidad hemodinámica severa, insuficiencia cardíaca avanzada con fracción de eyección reducida, y pacientes en hemodiálisis. Se utilizó la totalidad de los datos disponibles en el repositorio, por lo que no se aplicaron técnicas de muestreo ni aleatorización.

Variables y mediciones

Se analizaron los diámetros aórticos (valores cuantitativos expresados en milímetros), siguiendo un orden anatómico de proximal a distal: seno de Valsalva, unión sinotubular, aorta ascendente media, porciones proximal y media del arco aórtico, aorta torácica descendente proximal, aorta descendente media, aorta a nivel del diafragma y la porción abdominal en el origen del eje celíaco. Según los autores de la base de datos, estos diámetros fueron obtenidos mediante un sistema automatizado basado en inteligencia artificial, diseñado para la segmentación de órganos a partir de imágenes de tomografía computarizada⁵.

Para modelar la predicción del diámetro de la aorta descendente media, se consideraron múltiples variables independientes. Estas incluyeron características demográficas como edad (en años) y sexo (0 = mujeres, 1 = hombres); parámetros metabólicos y bioquímicos como AST (U/L), creatinina (mg/dL), IMC (kg/m²), fósforo (mg/dL), calcio (mg/dL), PAD y PAS (mmHg), triglicéridos (mg/dL), ALT (U/L) y colesterol total (mg/dL); así como el índice de rigidez arterial (M.CAVI, adimensional). También se incorporaron antecedentes clínicos, tales como enfermedad pulmonar crónica, osteoporosis, hipertensión, diabetes mellitus y cardiopatía isquémica, todos clasificados como presentes o ausentes. Finalmente, se consideraron los hábitos de fumar y el consumo de alcohol, categorizados como 0 para ausencia y 1 para presencia. Estas variables fueron seleccionadas por su potencial relevancia en la variación del diámetro aórtico, considerando tanto aspectos fisiológicos como patológicos.

Análisis estadístico

Para el desarrollo del modelo de predicción del diámetro de los segmentos de la aorta, se utilizó una red neuronal tipo perceptrón multicapa (Multilayer Perceptron, MLP), que es un modelo de aprendizaje automático compuesto por varias capas de nodos o "neuronas", donde cada neurona está conectada a las de la capa siguiente, permitiendo capturar relaciones no lineales entre las variables clínicas y los diámetros aórticos⁶. Este tipo de red neuronal es capaz de aprender relaciones complejas entre las variables de entrada y la salida, a través de un proceso de entrenamiento

supervisado⁷. La red se entrenó con 544 casos (68,20%) y se validó con 254 casos (31,80%).

Durante el análisis del rendimiento del modelo de red neuronal, se evaluaron los errores relativos en la predicción de los diámetros de los segmentos aórticos tanto en la fase de entrenamiento como en la de prueba. Estos errores relativos, calculados como la diferencia porcentual entre los valores predichos y los valores reales, permiten estimar la precisión del modelo independientemente de la escala de los datos.

A continuación, se realizó un análisis independiente del segmento de la aorta descendente media debido a su mejor

TABLA 1.

Estadísticos descriptivos y frecuencia de variables clínicas

Variable (unidad)	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Edad (años)	18	95	57,97	14,14
IMC (kg/m ²)	15,3	40,2	24,55	33,01
PAS (mmHg)	91	223	148,48	20,45
PAD (mmHg)	52	118	79,37	10,28
M.CAVI (Índice de rigidez arterial)	3,215	14,735	818,83	1.42
ALT (U/L)	1	599	27,6	305,21
AST (U/L)	10	444	24,57	21,01
Creatinina (mg/dL)	0,05	6,25	0,8535	0,31499
Calcio (mg/dL)	7,21	234,47	92,22	798,34
Fósforo (mg/dL)	1,3	7,16	31,9	0,56489
Colesterol total (mg/dL)	72,97	375,29	1719,27	4322,52
Triglicéridos (mg/dL)	36,28	1908,85	1662,69	16873,85
Seno aórtico de Valsalva (mm)	21,4	51,1	35,23	42,53
Unión sinotubular (mm)	23	51,8	32,98	40,45
Aorta ascendente media (mm)	23,5	53,6	37,12	47,31
Arco aórtico proximal (mm)	22	44,7	33,15	37,08
Arco aórtico medio (mm)	19,3	39,4	30,31	30,83
Aorta torácica descendente (mm)	19,5	40,6	28,6	32,77
Aorta descendente media (mm)	15,9	35,5	25,64	31,94
Aorta en el diafragma (mm)	15,3	33,5	25,25	25,95
Aorta abdominal (mm)	13	31,7	23,85	25,63
Frecuencias				
Variable	Categoría	Frecuencia	Porcentaje	
Fumador	No	536	66,9%	
	Sí	265	33,1%	
Consume bebidas alcohólicas	No	574	71,7%	
	Sí	227	28,3%	
DM (Diabetes Mellitus)	No	509	63,5%	
	Tipo 1	115	14,4%	
	Tipo 2	177	22,1%	
Osteoporosis	No	666	83,1%	
	Sí	135	16,9%	
Enfermedad pulmonar crónica	No	772	96,4%	
	Sí	29	3,6%	

TABLA 2.

Resumen del procesamiento de casos y arquitectura del modelo de red neuronal para predicción de diámetros de segmentos aórticos

Categoría	Elemento	Detalle
Procesamiento de casos	Total de casos válidos	798 (100%)
	Casos utilizados para entrenamiento	544 (68,2%)
	Casos utilizados para prueba	254 (31,8%)
	Casos excluidos	3
Modelo de red neuronal	Tipo de red	Perceptrón multicapa
	Capa de entrada	
	Número de covariables	20
	Variables incluidas	Sexo, edad, IMC, PAS, PAD, M.CAVI, ALT, AST, fumador, alcohol, HTN, DM, coronariopatía, osteoporosis, enfermedad pulmonar crónica, creatinina, calcio, fósforo, colesterol total, triglicéridos
	Escalamiento de covariables	Estandarizado
	Capa oculta	
	Número de capas ocultas	1
	Unidades en la capa oculta	12
	Función de activación	Tangente hiperbólica
	Capa de salida	
	Variables dependientes	Seno aórtico de Valsalva, Unión sinotubular, Aorta ascendente media, Arco aórtico proximal, Arco aórtico medio, Aorta torácica descendente, Aorta descendente media, Aorta en el diafragma, Aorta abdominal
	Número de unidades	9
	Escalamiento de variables dependientes	Estandarizado
	Función de activación	Identidad
	Función de error	Suma de cuadrados

desempeño en la predicción. En este análisis, se observaron las relaciones no lineales entre las covariables y el diámetro de la aorta descendente media. Los coeficientes estimados en las capas ocultas reflejaron cómo cada covariable influye en las activaciones intermedias, las cuales son combinadas para generar la predicción final. Las relaciones de las covariables con el diámetro de la aorta descendente media fueron evaluadas en términos de la importancia relativa de cada una, lo que permitió identificar los factores más influyentes en la morfología aórtica.

El análisis y procesamiento de datos, incluyendo el uso de la red neuronal tipo perceptrón multicapa, fue realizado con el programa SPSS 25™.

Consideraciones éticas

La base de datos empleada en este estudio proviene del repositorio de acceso abierto Harvard Dataverse y se encuentra disponible bajo la licencia Creative Commons Zero (CC0), lo que permite su libre uso. Dado que se trabajó con datos secundarios ya anonimizados, no fue necesario obtener permisos adicionales ni autorizaciones éticas específicas. Asimismo, se aseguró la confidencialidad de la información de los participantes, respetando los principios establecidos en la Declaración de Helsinki.

La base de datos está disponible en el siguiente enlace:

<https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/C0YY9I>

Las especificaciones de la base de datos se encuentran en el siguiente enlace:

<https://doi.org/10.3389%2Ffcvm.2021.737161>

RESULTADOS

En el análisis descriptivo, los participantes presentaron una amplia variabilidad clínica y biológica. La edad media fue de 57,97 años, con un rango de 18 a 95. Se observaron altos niveles de dispersión en el IMC, presión arterial, biomarcadores (como AST, ALT, creatinina y M.CAVI), colesterol y triglicéridos. La mayoría no fumaba (66,9%), no consumía alcohol (71,7%), ni tenía diabetes (63,5%) u osteoporosis (83,1%). Solo el 3,6% reportó enfermedad pulmonar crónica. Esta heterogeneidad es clave para las asociaciones clínicas evaluadas (*Tabla 1*).

Se desarrolló un modelo de predicción mediante una red neuronal tipo perceptrón multicapa, utilizando 798 casos válidos, de los cuales el 68,2% se destinó al entrenamiento y el 31,8% a la prueba. La red incorporó 20 covariables estandarizadas en la capa de entrada, relacionadas con factores demográficos, clínicos y bioquímicos. La arquitectura inclu-

TABLA 3.

Errores relativos en la predicción de los diámetros aórticos por fase del modelo de perceptrón multicapa (entrenamiento y prueba)

Fase	Variable Dependiente	Error Relativo
Entrenamiento	Seno aórtico de Valsalva	0,714
	Unión sinotubular	0,703
	Aorta ascendente media	0,532
	Arco aórtico proximal	0,514
	Arco aórtico medio	0,531
	Aorta torácica descendente	0,551
	Aorta descendente media	0,383
	Aorta en el diafragma	0,544
	Aorta abdominal	0,573
Prueba	Seno aórtico de Valsalva	0,798
	Unión sinotubular	0,716
	Aorta ascendente media	0,521
	Arco aórtico proximal	0,584
	Arco aórtico medio	0,630
	Aorta torácica descendente	0,596
	Aorta descendente media	0,356
	Aorta en el diafragma	0,515
	Aorta abdominal	0,587
	Función de error	Suma de cuadrados

yó una capa oculta con 12 nodos y función de activación tangente hiperbólica. La capa de salida comprendió 9 nodos, correspondientes a los segmentos aórticos analizados. Las variables dependientes fueron estandarizadas y se aplicó una función de activación lineal con un criterio de error basado en la suma de cuadrados (Tabla 2).

El análisis de errores relativos mostró que el modelo representó con mayor precisión la relación entre las variables clínicas y el diámetro de la aorta descendente media, tanto en la fase de entrenamiento (0,383) como en la de prueba (0,356). En contraste, las mayores imprecisiones se observaron en el seno aórtico de Valsalva y la unión sinotubular. Estos resultados indican una mejor capacidad del modelo para capturar la relación en los segmentos descendentes de la aorta (Tabla 3).

Dado que la red neuronal mostró mayor precisión en la estimación del diámetro de la aorta descendente media, se realizó un análisis específico de este segmento. Las capas ocultas del modelo capturan relaciones no lineales entre las covariables clínicas y el diámetro aórtico. En este análisis, las unidades intermedias de las capas ocultas (H(1:1) a H(1:8)) muestran cómo las variables de entrada afectan la predicción final. Los coeficientes de las capas ocultas indican que un aumento en la edad está asociado con un aumento en el diámetro de la aorta descendente media, con valores significativos de 0,576 en H(1:1) y 0,638 en H(1:8). En contraste, el sexo muestra una relación más variable,

con coeficientes tanto negativos como positivos, reflejando su influencia diferente en las etapas de procesamiento. En resumen, los resultados evidencian cómo la red neuronal modela las complejas relaciones no lineales entre variables clínicas y la morfología aórtica, con especial énfasis en la aorta descendente media (Tabla 4).

El análisis de la importancia de las variables para el diámetro de la aorta descendente media reveló que la edad fue la más influyente (0,168, 100%). Otras variables importantes fueron la AST (0,092, 54,7%), creatinina (0,084, 49,9%), IMC (0,068, 40,2%) y fósforo (0,063, 37,5%). Factores metabólicos y de salud renal mostraron una relación significativa con el diámetro aórtico. Variables como la PAD (0,059, 35,2%) y los triglicéridos (0,057, 33,8%) también fueron relevantes, al igual que la ALT (0,055, 32,8%). Con menor impacto estuvieron M.CAVI (0,043, 25,5%) y la enfermedad pulmonar crónica (0,040, 24,0%). Las variables con menor relevancia fueron osteoporosis, fumador, HTN, consumo de alcohol, DM y coronariopatía. En resumen, la edad y la salud renal tuvieron una mayor influencia en el diámetro aórtico, mientras que las demás condiciones tienen un impacto menor (Tabla 5).

El gráfico de dispersión entre los valores observados y predichos del diámetro de la aorta descendente media muestra una relación moderada, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,613. En el gráfico, los valores observados se representan en el eje X y los valores predichos en el eje Y. La mayoría de los puntos se agrupan cerca de la línea de identidad, indicando que el modelo de perceptrón multicapa captura una parte significativa de la variabilidad en los diámetros aórticos. Sin embargo, la dispersión de algunos puntos refleja desviaciones y un margen de error en las predicciones. Este patrón sugiere que el modelo explica el 61,3% de la variabilidad en los diámetros, pero aún deja un margen de error del 38,7%, lo que indica la necesidad de optimizar la precisión del modelo en futuros análisis (Figura 1).

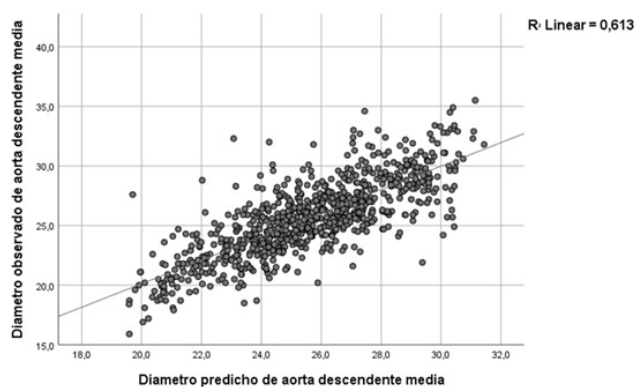
**FIGURA 1.**

Gráfico de dispersión con coeficiente de determinación entre valores observados del diámetro de la aorta descendente media obtenida mediante tomografía sin contraste, y valores predichos de la aorta descendente media obtenidos mediante perceptrón multicapa

TABLA 4.
Estimaciones de parámetros en el modelo de regresión para la predicción del diámetro de la aorta descendente media.

Predictor	(H(1:1))	1(H(1:2))	1(H(1:3))	1(H(1:4))	1(H(1:5))	(H(1:6))	(H(1:7))	(H(1:8))	Aorta Descendente Media
Sesgo (Bias)	-0,325	-0,411	-0,160	-0,167	-0,119	0,190	0,409	0,483	-0,058
Sexo	-0,289	-0,156	0,179	0,501	0,058	0,151	-0,266	-0,266	-0,266
Edad	0,576	-0,274	0,075	-0,065	-0,200	0,419	-0,232	0,638	0,638
IMC	0,269	-0,144	0,331	-0,040	0,180	0,045	0,183	-0,036	-0,036
PAS	0,457	0,157	0,045	0,409	-0,281	-0,283	0,209	0,104	0,104
PAD	-0,291	-0,325	-0,263	-0,518	0,149	-0,189	-0,511	0,578	0,578
M.CAVI	-0,195	0,292	0,556	0,035	-0,520	0,226	0,422	0,129	0,129
ALT	-0,573	-0,009	0,120	-0,305	-0,234	-0,207	-0,476	-0,052	-0,052
AST	0,230	0,463	0,204	-0,028	-0,118	0,251	-0,092	0,047	0,047
Fumador	0,419	0,075	-0,420	-0,299	-0,395	-0,430	-0,293	-0,262	-0,262
Bebe Alcohol	-0,223	-0,260	0,363	-0,334	0,233	-0,480	0,016	0,108	0,108
HTN	-0,136	0,049	0,332	0,157	-0,470	-0,024	0,060	0,190	0,190
DM	0,103	-0,245	0,196	0,349	-0,015	0,370	-0,215	0,009	0,009
Coronariopatía	-0,001	0,128	-0,117	-0,456	0,104	-0,283	-0,504	0,146	0,146
Osteoporosis	-0,462	-0,370	0,235	-0,164	-0,284	-0,027	-0,088	0,121	0,121
Enfermedad Pulmonar Crónica	0,483	0,515	0,186	-0,276	-0,003	0,406	0,284	-0,282	-0,282
Creatinina	0,325	-0,420	0,051	0,048	-0,354	-0,164	0,165	-0,007	-0,007
Calcio	0,292	0,438	0,033	0,319	0,151	-0,056	0,058	-0,099	-0,099
Fósforo	-0,224	0,343	-0,377	0,366	0,027	0,025	0,072	0,359	0,359
Colesterol Total	-0,164	-0,245	0,276	0,264	0,096	0,236	0,018	-0,238	-0,238
Triglicéridos	0,360	-0,431	-0,089	0,421	0,185	-0,468	-0,374	-0,176	-0,176

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que las variables clínicas, como la presión arterial, los niveles de calcio y fósforo, y la presencia de dislipidemia, tuvieron una asociación significativa con el diámetro de la aorta descendente media, mientras que esta relación no se observó con la misma fuerza en otros segmentos aórticos. Este hallazgo es particularmente relevante, dado que sugiere que el comportamiento clínico de ciertas condiciones sistémicas (como la hipertensión y las alteraciones metabólicas) podría tener un impacto específico sobre esta porción de la aorta, y no necesariamente sobre los segmentos proximales o distales con la misma intensidad.

La aorta descendente media se encuentra en una zona de transición entre la aorta ascendente, que tiene una estructura más elástica y menos expuesta a la presión sistólica directa, y la aorta abdominal, que tiene un comportamiento más rígido^{8,9}. Esta ubicación podría explicar por qué este segmento es más susceptible a alteraciones hemodinámicas y metabólicas. La presión sistólica elevada y los cambios en la elasticidad de la aorta pueden ser más evidentes en la aorta descendente media, ya que este segmento, recibe directamente las fuerzas pulsátiles del corazón, pero podría verse más afectado por las modificaciones del

tono vascular provocadas por las comorbilidades, como la hipertensión y la dislipidemia⁹.

La aorta descendente media es un sitio crítico para la manifestación de disfunciones en la elasticidad arterial debido a la rigidez aórtica asociada con la hipertensión crónica y el desequilibrio en el metabolismo lipídico y mineral¹⁰. La dislipidemia puede promover la formación de placas ateroscleróticas en este segmento, y el aumento de los niveles de calcio en sangre puede inducir la calcificación aórtica, procesos que pueden afectar más intensamente la aorta descendente media^{9,11,12}. Estos factores metabólicos, junto con la rigidez inducida por la hipertensión, pueden contribuir a la pérdida de distensibilidad en esta parte de la aorta, lo que la hace más vulnerable a alteraciones estructurales y funcionales.

Además, los factores metabólicos como los niveles elevados de calcio y fósforo, como en el caso de pacientes con enfermedades renales crónicas, podrían afectar la composición de la pared aórtica, especialmente en la región de la aorta descendente media, favoreciendo la calcificación y la disfunción endotelial¹³. Esto explicaría por qué este segmento muestra una mayor asociación con las variables clínicas observadas, en comparación con otros segmentos

TABLA 5.

Importancia de las variables independientes en la predicción del diámetro de la aorta descendente media.

Variable	Importancia	Importancia normalizada
Edad	0,168	100%
AST	0,092	54,7%
Creatinina	0,084	49,9%
IMC	0,068	40,2%
Fósforo	0,063	37,5%
Calcio	0,061	36,1%
PAD	0,059	35,2%
Triglicéridos	0,057	33,8%
ALT	0,055	32,8%
PAS	0,053	31,7%
Colesterol total	0,050	29,5%
M.CAVI	0,043	25,5%
Enfermedad pulmonar crónica	0,040	24,0%
Sexo	0,035	20,7%
Osteoporosis	0,018	10,7%
Fumador	0,013	7,4%
HTN	0,013	8,0%
Consume bebidas alcohólicas	0,010	5,9%
DM	0,010	5,9%
Coronariopatía	0,008	5,0%

más proximales o distales de la aorta, que pueden ser menos sensibles a estos factores.

El gráfico de dispersión entre los valores observados y estimados del diámetro de la aorta descendente media, generado mediante un modelo de perceptrón multicapa, mostró una relación moderada, con un coeficiente de determinación R^2 de 0,613, lo que indica que el modelo explica aproximadamente el 61,3% de la variabilidad del diámetro aórtico. Este desempeño moderado puede atribuirse a múltiples factores fisiológicos, clínicos y metodológicos. Dado que la morfología aórtica resulta de procesos complejos como el envejecimiento vascular, el remodelado arterial, la rigidez de la pared aórtica, el estrés oxidativo y la inflamación crónica, los cuales están mediados por componentes genéticos, metabólicos y hemodinámicos, que no siempre se reflejan en variables clínicas rutinarias^{14,15}.

Este resultado tiene implicancias clínicas importantes, ya que la aorta descendente media podría ser un marcador sensible de las alteraciones vasculares en individuos con enfermedades metabólicas y cardiovasculares, particularmente en aquellos con hipertensión o dislipidemia no controladas. Los médicos podrían centrarse en este segmento aórtico como un objetivo prioritario para monitorear los cambios estructurales en pacientes de alto riesgo,

como aquellos con enfermedad cardiovascular establecida o aquellos en riesgo de aneurismas aórticos. En ese sentido, este hallazgo también contribuye al entendimiento anatómico y fisiológico de la aorta descendente media, al resaltar su papel como una zona vascular susceptible a influencias hemodinámicas y metabólicas, lo que refuerza su relevancia como marcador estructural en el estudio de enfermedades cardiovasculares.

En este contexto, los médicos pueden utilizar las variables clínicas identificadas, como la presión arterial, los niveles de calcio y fósforo, y la dislipidemia, para estimar el riesgo de alteraciones aórticas en este segmento, lo que permite tomar decisiones más informadas sobre estudios adicionales o intervenciones preventivas. Además, el modelo desarrollado podría implementarse como una herramienta de apoyo clínico para la identificación temprana de pacientes en riesgo de enfermedades aórticas, optimizando la atención y reduciendo la necesidad de pruebas invasivas en fases iniciales, lo que favorece una atención más eficiente y personalizada.

Las principales limitaciones de este estudio incluyen su diseño transversal, que no permite establecer relaciones causales, y la falta de seguimiento longitudinal, lo que impide observar la evolución del diámetro aórtico a lo largo del tiempo. Además, el estudio no considera factores de confusión como la genética o el estilo de vida, y la evaluación del diámetro aórtico mediante tomografía computarizada mediada por inteligencia artificial podría estar sujeta a sesgos técnicos. Finalmente, la muestra podría no ser representativa de la población general, limitando la generalización de los resultados.

CONCLUSIÓN

Los resultados del modelo de red neuronal multicapa sugieren que variables clínicas y factores de riesgo cardiovascular presentan una asociación no lineal con el diámetro de la aorta descendente media. Esta asociación se evidencia en la adecuada capacidad predictiva del modelo para dicho segmento (error relativo más bajo en ambas fases del modelo), así como en la influencia observada de estas variables en las activaciones de las capas ocultas y la salida. Asimismo, si bien no se trata de un análisis causal ni inferencial, los resultados refuerzan la utilidad de redes neuronales para modelar relaciones clínicas complejas que afectan la morfología aórtica. Se recomienda reproducir esta investigación en cohortes más extensas.

Se sugiere realizar estudios longitudinales que permitan evaluar los cambios del diámetro aórtico en el tiempo y establecer relaciones causales. Asimismo, se recomienda, para futuros estudios, incluir variables genéticas y de estilo de vida, además de validar las mediciones automatizadas con métodos manuales. Finalmente, ampliar la muestra a poblaciones más diversas mejoraría la generalización de los hallazgos.

BIBLIOGRAFIA

1. In brief: How does the blood circulatory system work? [Internet]. Institute for Quality and Efficiency in Health Care (IQWiG); 2023. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279250/> Acceso 25 de Noviembre de 2025.
2. Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of Aortic Disease: A report of the American heart association/ American college of cardiology joint committee on clinical practice guidelines. *Circulation* 2022; 146: e334 – e482.
3. Shahbad R, Kazim M, Razian SA, et al. Variations in stiffness and structure of the human aorta along its length. *Sci Rep* 2025; 15: 11120.
4. BreCs I, Skuja S, Kasyanov V, et al. From biomechanical properties to morphological variations: Exploring the interplay between aortic valve cuspidity and ascending aortic aneurysm. *J Clin Med* 2024; 13: 4225.
5. Liu Y, Luo X, Jia H, et al. The effect of blood pressure variability on coronary atherosclerosis plaques. *Front Cardiovasc Med* 2022; 9: 803810.
6. Multiayer perceptrons (MLP) in machine learning explained [Internet]. Code B website. Disponible en: <https://code-b.dev/blog/guide-to-multi-layer-perceptrons-in-machine-learning> Acceso 25 de Noviembre de 2025.
7. Du KL, Leung CS, Mow WH, et al. Perceptron: Learning, generalization, model selection, fault tolerance, and role in the deep learning era. *Mathematics* 2022; 10: 4730.
8. Cavalcante JL, Lima JAC, Redheuil A, et al. Aortic stiffness: current understanding and future directions. *J Am Coll Cardiol* 2011; 57: 1511 – 1522.
9. Hickson SS, Butlin M, Graves M, et al. The relationship of age with regional aortic stiffness and diameter. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 1247 – 1255.
10. Bonfioli GB, Rodella L, Rosati R, et al. Aortopathies: From etiology to the role of arterial stiffness. *J Clin Med* 2023; 12: 3949.
11. Heidari H, Ran H, Spinka G, et al. Atherosclerotic plaque detected by transesophageal echocardiography is an independent predictor for all-cause mortality. *Int J Cardiovasc Imaging* 2020; 36: 1437 – 1443.
12. Waluś-Miarka M, Polus A, Idzior-Waluś B. Aortic valve and arterial calcification in patients with familial hypercholesterolemia. *Kardiol Pol* 2024; 82: 144 – 155.
13. Hutcheson JD, Goettsch C. Cardiovascular calcification heterogeneity in chronic kidney disease. *Circ Res* 2023; 132: 993 – 1012.
14. Kajuluri LP, Singh K, Morgan KG. Vascular aging, the vascular cytoskeleton and aortic stiffness. *Explor Med* 2021; 2: 186 – 197.
15. Dutta P, James JF, Kazik H, et al. Genetic and developmental contributors to aortic stenosis. *Circ Res* 2021; 128: 1330 – 1343.