



CÓMO CITAR

Guevara-Tirado A. Dimorfismo sexual en la arquitectura aórtica y su influencia segmentaria abdominal mediante redes neuronales. Rev Méd Electrón [Internet]. 2026 [citado: fecha de acceso];48:e6742. Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/6742/6546>

*Autor para correspondencia:

albertoguevara1986@gmail.com

Revisores:

Silvio Faustino Soler-Cárdenas y Regla Ponce-de-León.

Palabras clave:

aorta; anatomía regional; modelos cardiovasculares; estudio comparativo; redes neurales de la computación

Key words:

aorta; sex characteristics; anatomy; cross-sectional studies; neural networks; machine learning

Recibido: 05/07/2025.

Aceptado: 13/02/2026.

Publicado: 06/05/2026.

Artículo de Investigación

Dimorfismo sexual en la arquitectura aórtica y su influencia segmentaria abdominal mediante redes neuronales

Sexual dimorphism in aortic architecture and its segmental abdominal influence using neural networks

Alberto Guevara-Tirado^{1*}  <https://orcid.org/0000-0001-7536-7884>

Afiliación:

¹ Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.

RESUMEN

Introducción: Las diferencias sexuales en la anatomía aórtica, modeladas mediante redes neuronales, pueden revelar patrones diferenciados.

Objetivo: Analizar la influencia segmentaria aórtica sobre el diámetro abdominal, según sexo, mediante redes neuronales tipo perceptrón multicapa.

Método: Estudio observacional, transversal y analítico basado en datos secundarios de 801 pacientes, que contaban con tomografía de tórax sin contraste. Se extrajeron mediciones de ocho segmentos aórtico-torácicos y aorta abdominal, procesadas mediante inteligencia artificial y segmentadas con aprendizaje profundo. Se empleó modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa, aplicado por separado en hombres y mujeres. El modelo incluyó validación cruzada; su desempeño se evaluó mediante error cuadrático y análisis de importancia relativa de cada segmento aórtico.



Resultados: La red neuronal se aplicó por separado en hombres (n = 559) y mujeres (n = 242), e incluyó una capa oculta, con 5 neuronas en hombres y 8 en mujeres. El desempeño fue superior en mujeres, con menor error de suma de cuadrados en entrenamiento (26,17 vs. 66,88) y prueba (13,13 vs. 29,76), así como menor error relativo (0,301 vs. 0,348 en entrenamiento). En ambos sexos, la aorta en el diafragma fue el segmento más relevante (100 % de importancia normalizada). En hombres, le siguieron la aorta descendente media (59,1 %) y la ascendente media (28,2 %). En mujeres, destacaron el arco aórtico proximal (27,6 %) y la unión sinotubular (11,1 %).

Conclusiones: Las diferencias segmentarias en la predicción del diámetro aórtico abdominal refuerzan un dimorfismo vascular funcional y estructural según sexo, evidenciado mediante redes neuronales artificiales.

ABSTRACT

Introduction: Sex-related anatomical differences in the aorta, modeled using neural networks, can reveal distinct morphological and functional patterns

Objective: To analyze, by sex, the influence of thoracic aortic segments on abdominal aortic diameter using a multilayer perceptron neural network.

Methods: This observational, cross-sectional, and analytical study used secondary data from 801 patients who underwent non-contrast thoracic computed tomography. Aortic diameters were measured at eight thoracic segments and the abdominal aorta, segmented using deep-learning-based artificial intelligence algorithms. Separate multilayer perceptron neural network models were developed for men and women. Model performance was assessed using mean squared error (MSE) and relative importance analysis of each aortic segment, with k-fold cross-validation.

Results: The neural network models included a single hidden layer with 5 neurons for men (n=559) and 8 neurons for women (n=242). Model performance was superior in women, with lower MSE in training (26.17 vs. 66.88) and testing (13.13 vs. 29.76), as well as lower relative error during training (0.301 vs. 0.348). In both sexes, the aortic segment at the diaphragm showed the highest normalized importance (100%). In men, the next most influential segments were the mid-descending aorta (59.1%) and the ascending aorta (28.2%). In women, the proximal aortic arch (27.6%) and the sinotubular junction (11.1%) exhibited the greatest secondary relevance.

Conclusions: The segmental contribution to predicting abdominal aortic diameter differs by sex, reinforcing the presence of sex-specific functional and structural vascular dimorphism, as revealed by artificial neural networks.



INTRODUCCIÓN

Las variaciones anatómicas y funcionales del sistema arterial central constituyen un campo de creciente interés en la investigación cardiovascular, especialmente en relación con las diferencias sexuales.^(1,2) La aorta, principal conducto de distribución del flujo sistémico, presenta características morfológicas y biomecánicas distintivas entre hombres y mujeres en el contexto de enfermedades como el aneurisma aórtico abdominal, la disección aórtica y la hipertensión arterial.^(3,4)

Diversos estudios han señalado que los hombres tienen diámetros aórticos absolutos mayores, así como una progresión más acelerada de la rigidez arterial con la edad, mientras que las mujeres, protegidas en parte por los efectos vasodilatadores de los estrógenos antes de la menopausia, exhiben una distribución hemodinámica distinta y una mayor elasticidad en segmentos proximales.^(5,6)

A pesar de estos hallazgos, persiste una comprensión incompleta sobre cómo los distintos segmentos de la aorta torácica y proximal contribuyen de manera diferenciada al diámetro de la aorta abdominal, especialmente cuando se considera el sexo como una variable moduladora. Comprender esta relación es fundamental no solo desde una perspectiva anatómica, sino también para avanzar hacia enfoques más personalizados en la predicción y manejo de enfermedades aórticas, como el aneurisma aórtico abdominal, una patología cuya prevalencia, umbrales quirúrgicos y evolución natural difieren significativamente entre hombres y mujeres.⁽⁷⁾

La modelización tradicional mediante regresión ha sido útil para describir relaciones lineales entre segmentos vasculares,⁽⁸⁾ pero puede no capturar la complejidad no lineal ni las interacciones anatómicas integradas que caracterizan a la arquitectura aórtica. En este contexto, los métodos de inteligencia artificial, en particular las redes neuronales artificiales, ofrecen una alternativa poderosa. Entre ellas, el perceptrón multicapa destaca por su capacidad para modelar relaciones no lineales entre múltiples predictores correlacionados, sin requerir supuestos estrictos de distribución.⁽⁹⁾

Si bien estas herramientas han sido aplicadas extensamente en contextos de clasificación diagnóstica o predicción clínica, su uso como herramienta exploratoria para estimar la importancia relativa de variables anatómicas en distintos grupos poblacionales permanece inexplorado.

En ese sentido, el presente estudio tiene como objetivo analizar la influencia de diferentes segmentos de la aorta sobre el diámetro de la aorta abdominal mediante el uso de un modelo de redes neuronales tipo perceptrón multicapa, comparando específicamente los patrones de importancia entre hombres y mujeres. Al integrar análisis morfométrico con aprendizaje automático, se pretende aportar evidencia sobre el dimorfismo sexual en la arquitectura aórtica

desde una perspectiva cuantitativa, con posibles implicancias en la comprensión de la fisiología vascular diferenciada por sexo y en el desarrollo de modelos personalizados de riesgo cardiovascular.

MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional, transversal y analítico, basado en el análisis secundario de un conjunto de datos de tomografía computarizada (TC) de tórax sin contraste. La base de datos original incluyó información recopilada de forma prospectiva en una cohorte de 801 pacientes adultos hospitalizados en los servicios de Geriatria y Medicina General del Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology (Wuhan, China), entre marzo de 2018 y octubre de 2019.

Los datos fueron generados por un grupo independiente de investigadores, y el autor del presente estudio no participó en la adquisición original de las imágenes ni en la recolección primaria de los mismos. Los participantes contaban con TC de tórax sin contraste, en la que se registraron mediciones detalladas de los diámetros aórticos en ocho segmentos anatómicos torácicos y la aorta abdominal, como parte de una evaluación estandarizada de elasticidad arterial.⁽¹⁰⁾

Según información de la base de datos secundaria, y con el fin de garantizar la validez estructural de las mediciones, la base de datos de 801 pacientes se construyó considerando la exclusión de registros que presentaban condiciones anatómicas o clínicas que pudieran alterar significativamente la morfología aórtica.

Los criterios de exclusión, en concordancia con las guías clínicas de la American Heart Association, fueron: antecedentes de cirugía o intervención endovascular aórtica, síndromes genéticos asociados a enfermedad aórtica (como los síndromes de Marfan o Turner), anomalías congénitas de ramas aórticas, patologías inflamatorias con compromiso aórtico, síndrome aórtico agudo (como disección o hematoma intramural), aneurismas diagnosticados, insuficiencia cardíaca avanzada o hemodinámicamente inestable, e insuficiencia renal terminal en hemodiálisis.⁽¹⁰⁾

Estos criterios de exclusión fueron aplicados durante la construcción de la cohorte original del estudio fuente. En el presente análisis secundario no se realizaron exclusiones adicionales, y se emplearon la totalidad de los pacientes incluidos en la base de datos publicada.

La variable dependiente fue el diámetro de la aorta abdominal, medido a nivel del origen del eje celíaco. Si bien las mediciones se realizaron a partir de tomografías computarizadas de tórax sin contraste, el protocolo de adquisición del estudio original incluyó extensiones caudales que abarcaron

sistemáticamente la región diafragmática y el origen del tronco celíaco, lo que permitió una medición fiable y reproducible de este segmento abdominal.

Esta medición, junto con las variables independientes, según la información de los datos secundarios previamente publicados y disponibles para análisis académico,⁽¹⁰⁾ fue generada a partir de TC de tórax sin contraste, obtenidas entre marzo de 2018 y octubre de 2019, y procesadas mediante protocolos estandarizados en el estudio original.

Las variables independientes incluyeron ocho segmentos consecutivos de la aorta, distribuidos a lo largo de la aorta ascendente, el arco aórtico y la aorta torácica descendente. Específicamente, se consideraron segmentos de la aorta ascendente: (1) seno aórtico de Valsalva, (2) unión sinotubular y (3) aorta ascendente media; del arco aórtico: (4) arco aórtico proximal y (5) arco aórtico medio; y de la aorta torácica descendente: (6) aorta torácica descendente proximal, (7) aorta descendente media y (8) aorta en el diafragma (ubicada 2 cm por encima del origen del eje celíaco). Asimismo, se incluyó el sexo biológico como variable categórica para evaluar diferencias morfofuncionales entre hombres y mujeres.

Fueron realizadas las mediciones en el estudio original (10) mediante procesamiento automatizado, utilizando el *software* AI-Rad Companion (Chest CT, Siemens Healthineers, Munich, Alemania), que aplica algoritmos de segmentación basados en aprendizaje profundo para la identificación automática de puntos de referencia anatómicos a lo largo del eje aórtico. Dado que el estudio fuente no reporta un número de versión específico, no se dispone de versionado público para el *software* utilizado. A partir de estos puntos, el sistema generó mediciones estandarizadas del diámetro aórtico, definidas como la raíz cuadrada del producto entre los diámetros máximo y mínimo de cada sección transversal.

En el presente análisis secundario se utilizaron exclusivamente las mediciones automatizadas reportadas, sin corrección manual adicional. Las imágenes se obtuvieron mediante escáneres de TC de alta resolución (Somatom Force, Aquilion ONE y CT750 HD), con parámetros técnicos homogéneos descritos en el artículo fuente.⁽¹⁰⁾

El análisis estadístico se orientó a explorar las relaciones entre los diferentes segmentos de la aorta torácica y el diámetro de la aorta abdominal, diferenciando por sexo. Para ello, se emplearon estadísticos descriptivos básicos (media, desviación estándar, mínimos y máximos), con el fin de caracterizar la distribución de los diámetros aórticos.

Posteriormente, se utilizó un modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa, que se aplicó por separado para hombres y mujeres, con el objetivo de estimar el diámetro de la aorta abdominal en función de ocho variables predictoras correspondientes a segmentos anatómicos de la aorta. Este enfoque fue elegido por su capacidad para modelar relaciones no lineales y multivariadas complejas,

a diferencia de la regresión lineal tradicional, que se basa en supuestos más restrictivos y relaciones lineales entre predictores y variable dependiente.⁽¹¹⁾

El modelo de perceptrón multicapa incluyó una única capa oculta, con función de activación tangente hiperbólica, y una capa de salida con función identidad. El número de neuronas en la capa oculta fue determinado automáticamente por el algoritmo de SPSS durante el proceso de entrenamiento (cinco neuronas en hombres y ocho en mujeres).

Si bien existen métodos alternativos como los árboles de decisión o los bosques aleatorios, el perceptrón multicapa fue considerado más adecuado para el objetivo exploratorio del presente estudio: identificar patrones no lineales entre segmentos aórticos altamente correlacionados, más que a maximizar la interpretabilidad clínica individual.

Así, el perceptrón multicapa permitió evaluar la contribución de cada variable de entrada mediante análisis de importancia, especialmente útil para identificar patrones diferenciales. En el modelo de perceptrón multicapa de SPSS, el análisis de importancia se deriva de los pesos sinápticos ajustados durante el entrenamiento. La importancia absoluta refleja la contribución bruta de cada predictor, mientras que la importancia normalizada expresa esta contribución en relación con la variable más influyente (establecida en 100 %), lo cual facilita la comparación entre predictores.

Además, al emplear una fase de entrenamiento y validación cruzada (división aleatoria de los datos en subconjuntos de entrenamiento y prueba), se estimó la capacidad del modelo minimizando el riesgo de sobreajuste. Todas las variables continuas fueron estandarizadas previamente para garantizar la comparabilidad entre predictores y facilitar la convergencia de la red.

La validación del modelo se realizó mediante un esquema de partición aleatoria de los datos (*hold-out*), de acuerdo con el procedimiento implementado por el módulo de redes neuronales de SPSS. El desempeño del modelo se evaluó mediante la suma de errores cuadráticos y el error relativo, tanto en el conjunto de entrenamiento como en el de prueba, lo que permitió valorar su capacidad de generalización. Dado el carácter exploratorio del estudio, el énfasis se centró en la identificación de patrones de contribución relativa entre los segmentos aórticos, más que en la optimización de métricas predictivas absolutas.

Se realizó la estratificación por sexo de manera intencional para capturar patrones no lineales específicos en cada grupo, se consideró el dimorfismo sexual descrito en la morfología y biomecánica aórtica. Aunque un modelo único con términos de interacción (sexo × segmento aórtico) constituye una alternativa válida, el uso de modelos separados permitió reducir la complejidad estructural y la colinealidad entre predictores altamente correlacionados. Lo anterior facilitó la interpretación de la importancia relativa de los segmentos

dentro de cada sexo en un enfoque exploratorio basado en aprendizaje automático.

El análisis se realizó utilizando el módulo de redes neuronales de SPSS versión 27, y los resultados fueron interpretados en función del error de suma de cuadrados, error relativo y la importancia de las variables.

Los datos que se emplearon en este estudio corresponden están disponibles en acceso abierto en el repositorio Harvard Dataverse, bajo licencia Creative Commons Zero (CC0) (<https://doi.org/10.7910/DVN/C0YY9I>). Ya que se trata de datos secundarios completamente anonimizados, no fue necesaria una nueva aprobación por un comité de ética. Este uso es consistente con marcos regulatorios internacionales para investigación con datos anonimizados, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR, por sus siglas en inglés) y las directrices HIPAA. La licencia CC0 del repositorio cubre tanto las imágenes originales como las mediciones derivadas empleadas en el presente análisis.

RESULTADOS

Los diámetros aórticos mostraron una disminución progresiva desde los segmentos proximales hasta los distales, manteniendo la geometría anatómica esperada de la aorta. Los valores más elevados se concentraron en la raíz y aorta ascendente, mientras que los menores se localizaron en la región abdominal. La variabilidad fue mayor en los tramos proximales, posiblemente influida por factores como edad, sexo y condiciones hemodinámicas. Esta heterogeneidad podría reflejar diferencias estructurales o funcionales relevantes en el análisis segmentario.

La muestra, compuesta mayoritariamente por hombres, puede influir en el promedio global si se considera el conocido dimorfismo sexual en el tamaño aórtico. Estos datos descriptivos aportan un contexto esencial para interpretar los patrones de influencia segmentaria modelados mediante redes neuronales. (Tabla 1)

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los segmentos aórticos y distribución por sexo en la muestra total (n = 801)

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Seno aórtico de Valsalva (mm)	21,4	51,1	35,232	4,2531
Unión sinotubular (mm)	23	51,8	32,982	4,045
Aorta ascendente media (mm)	23,5	53,6	37,122	4,7307
Arco aórtico proximal (mm)	22	44,7	33,15	3,7082
Arco aórtico medio (mm)	19,3	39,4	30,305	3,0826
Aorta torácica descendente proximal (mm)	19,5	40,6	28,604	3,2774
Aorta descendente media (mm)	15,9	35,5	25,639	3,1939
Aorta en el diafragma (mm)	15,3	33,5	25,251	2,5953
Aorta abdominal (mm)	13	31,7	23,847	2,5628
Sexo	No.		%	
Hombre	559		69,80	
Mujer	242		30,20	

El modelo de perceptrón multicapa fue aplicado por separado a hombres y mujeres para estimar el diámetro de la aorta abdominal. Se utilizaron ocho segmentos aórticos como variables de entrada. En ambos grupos se empleó una arquitectura con una sola capa oculta, aunque con diferencias en su complejidad: cinco neuronas en hombres y ocho en mujeres. El desempeño del modelo fue ligeramente superior en mujeres, con menor error de suma de cuadrados tanto en la fase de entrenamiento como en la de prueba. Asimismo, el error relativo fue más bajo en mujeres, lo que sugiere una mejor capacidad de ajuste en este subgrupo.

El tiempo de entrenamiento fue breve en ambos casos, sin diferencias sustanciales en la eficiencia computacional. Estas variaciones podrían reflejar diferencias estructurales o variabilidad anatómica más homogénea en la población femenina, lo cual facilitaría el aprendizaje del modelo. Además, la mayor complejidad estructural en la red aplicada a mujeres sugiere un patrón de relaciones más distribuido entre los predictores. (Tabla 2)

Tabla 2. Comparación del modelo de perceptrón multicapa para estimar el diámetro de la aorta abdominal en hombres y mujeres

Categoría	Variable / Detalle	Hombres	Mujeres
Procesamiento de casos	Número total de casos válidos	559	242
	Casos en conjunto de entrenamiento	385 (68,9 %)	175 (72,3 %)
	Casos en conjunto de prueba	174 (31,1 %)	67 (27,7 %)
	Casos excluidos	-	-
Variables de entrada	Covariables	8 variables: seno aórtico de Valsalva, unión sinotubular, aorta ascendente media, arco aórtico proximal, arco aórtico medio, aorta torácica descendente proximal, aorta descendente media, aorta en el diafragma	
	Método de estandarización de entradas	Estandarizados	Estandarizados
Arquitectura de la red	Número de capas ocultas	1	1
	Unidades en la capa oculta	5	8
	Función de activación (capa oculta)	Tangente hiperbólica	Tangente hiperbólica
Capa de salida	Variable dependiente	Aorta abdominal	Aorta abdominal
	Número de unidades en la salida	1	1
	Método de estandarización de salida	Estandarizados	Estandarizados
	Función de activación (capa de salida)	Identidad	Identidad
	Función de error	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados
Desempeño del modelo	Error de suma de cuadrados (entrenamiento)	66,881	26,17
	Error relativo (entrenamiento)	0,348	0,301
	Error de suma de cuadrados (prueba)	29,759	13,128
	Error relativo (prueba)	0,358	0,341
	Regla de parada utilizada	1 paso sin mejora	1 paso sin mejora
	Tiempo de entrenamiento	0:00:00.04	0:00:00.02

El análisis comparativo de la importancia relativa de los segmentos aórticos sobre el diámetro de la aorta abdominal evidenció diferencias sustanciales entre sexos. En ambos grupos, la aorta en el diafragma fue el segmento con mayor relevancia, lo cual era esperable dada su continuidad anatómica con la región abdominal.

Sin embargo, los patrones restantes difirieron de manera significativa. En hombres, predominó la influencia de los segmentos distales, especialmente la aorta descendente media (59,1 %) y la aorta ascendente media (28,2 %), lo que podría reflejar una mayor rigidez arterial o un patrón de transmisión pulsátil más directo hacia la aorta abdominal.

En contraste, en mujeres destacó el arco aórtico proximal (27,6 %) y la unión sinotubular (11,1 %) como estructuras de mayor influencia, lo cual sugiere un rol más importante de los segmentos proximales en la modulación hemodinámica. Estas diferencias podrían estar asociadas a variaciones en la elasticidad vascular, la geometría aórtica o mecanismos compensatorios diferenciados según el sexo, y refuerzan la hipótesis de un dimorfismo funcional en la arquitectura aórtica toracoabdominal. (Tabla 3)

Tabla 3. Comparación de la importancia de los segmentos aórticos en la predicción del diámetro de la aorta abdominal entre hombres y mujeres mediante perceptrón multicapa

Sexo	Hombres		Mujeres	
	Importancia absoluta	Importancia normalizada	Importancia absoluta	Importancia normalizada
Segmento aórtico				
Seno aórtico de Valsalva	0,067	16,60 %	0,036	6,90 %
Unión sinotubular	0,04	9,80 %	0,058	11,10 %
Aorta ascendente media	0,114	28,20 %	0,087	16,70 %
Arco aórtico proximal	0,034	8,40 %	0,143	27,60 %
Arco aórtico medio	0,054	13,30 %	0,056	10,70 %
Aorta torácica descendente proximal	0,051	12,70 %	0,061	11,70 %
Aorta descendente media	0,238	59,10 %	0,04	7,70 %
Aorta en el diafragma	0,403	100 %	0,52	100 %

Se observaron diferencias en la importancia relativa de los segmentos aórticos sobre el diámetro de la aorta abdominal entre hombres y mujeres. En ambos grupos, la aorta en el diafragma fue el principal determinante. En hombres,

predominó la influencia de segmentos distales, como la aorta descendente media, mientras que en mujeres se destacó la mayor relevancia de segmentos proximales, particularmente el arco aórtico proximal, lo que sugiere un patrón hemodinámico diferencial según el sexo. (Figura)

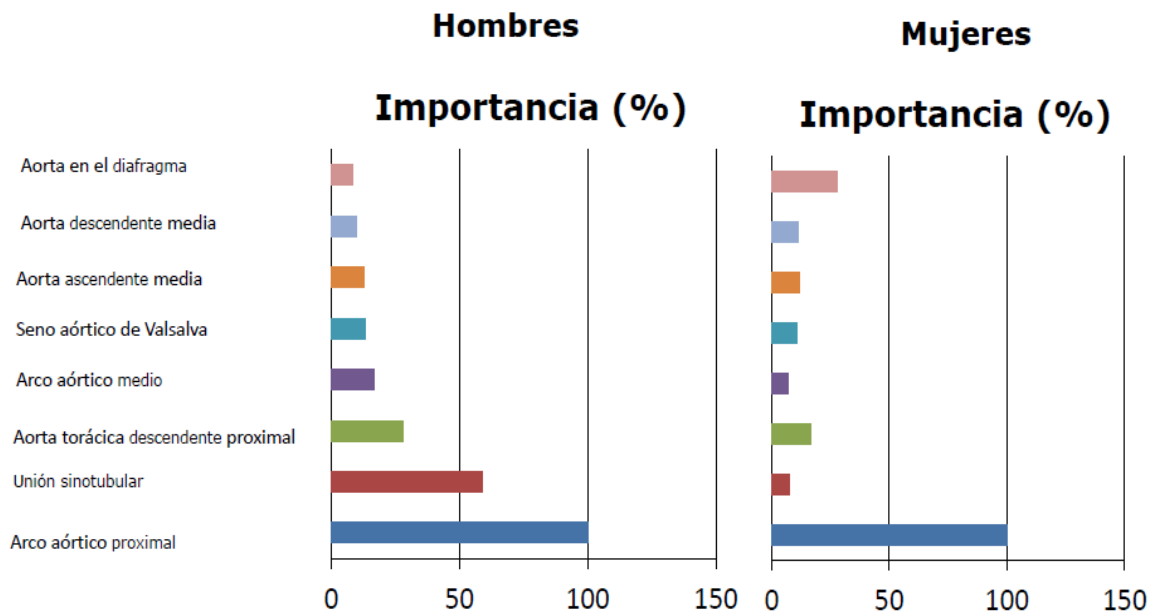


Fig. Importancia de los segmentos aórticos sobre el diámetro de la aorta abdominal en hombres y mujeres mediante perceptrón multicapa.

DISCUSIÓN

Los hallazgos evidencian un patrón diferenciado por sexo en la influencia segmentaria sobre el diámetro de la aorta abdominal, modelado mediante redes neuronales artificiales. El perceptrón multicapa permitió capturar relaciones no lineales entre ocho segmentos aórticos y el diámetro abdominal, y reveló diferencias en el desempeño y la relevancia anatómica de los predictores.

El modelo mostró mejor ajuste en mujeres, con menores errores absolutos y relativos, lo que sugiere una mayor homogeneidad estructural femenina, y favorece la precisión del aprendizaje automático aplicado al análisis morfofuncional aórtico.

Respecto a la arquitectura funcional de la red, se evidenció una diferencia en la cantidad de unidades ocultas necesarias para alcanzar una convergencia estable: 5 neuronas en hombres frente a 8 en mujeres. Esta mayor complejidad en la red femenina podría estar reflejando un patrón más distribuido de

influencia entre los diferentes segmentos aórticos, en contraste con una concentración de influencia en segmentos específicos en hombres.

Esta distribución podría deberse a la mayor elasticidad y menor rigidez vascular observada en mujeres, especialmente en etapas previas a la menopausia,⁽¹²⁾ lo que es probable generaría un amortiguamiento más homogéneo de la onda de pulso a lo largo del eje aórtico. Además, se ha documentado que las mujeres presentan diferencias sutiles en la curvatura, diámetro y longitud de la aorta torácica en comparación con los hombres,⁽¹³⁾ lo cual podría contribuir a un patrón de modulación hemodinámica más complejo y distribuido.

El análisis de importancia reveló que, si bien la aorta en el diafragma fue el segmento más determinante en ambos sexos, los segmentos secundarios de mayor peso fueron distintos. En hombres, la aorta descendente media y la ascendente media representaron los factores más relevantes después del diafragma, lo que podría estar relacionado con una mayor rigidez arterial⁽¹⁴⁾ y, en consecuencia, un trayecto hemodinámico más directo hacia la región abdominal.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han reportado un mayor riesgo de dilatación aórtica distal en varones,^(15,16) posiblemente vinculado a diferencias en la composición estructural de la pared vascular y en la carga pulsátil.⁽¹⁷⁾

Por el contrario, en mujeres se observó una mayor influencia de segmentos proximales, especialmente el arco aórtico proximal y la unión sinotubular, lo cual sugiere una modulación hemodinámica diferente, probablemente vinculada a una mayor elasticidad vascular, diferente *compliance* de la pared aórtica o patrones de flujo distintos inducidos por la geometría torácica femenina.⁽¹⁸⁾ Dicha distribución más uniforme del peso predictor podría también reflejar una mayor sensibilidad del diámetro abdominal a determinantes funcionales más cercanos al inicio del eje aórtico.

En conjunto, este estudio aporta una perspectiva novedosa al evidenciar un dimorfismo sexual en la influencia segmentaria sobre el diámetro de la aorta abdominal. En mujeres, la mayor importancia de segmentos proximales —como el arco aórtico proximal— sugiere una modulación hemodinámica más distribuida y elástica, posiblemente mediada por factores hormonales. En hombres, la mayor influencia de segmentos distales como la aorta descendente media podría reflejar mayor rigidez vascular y una transmisión pulsátil más directa. Estos patrones, capturados por redes neuronales, ofrecen un enfoque innovador para comprender diferencias anatómicas y fisiopatológicas por sexo.

Desde una perspectiva traslacional, los hallazgos de este estudio sientan las bases para futuras aplicaciones clínicas y tecnológicas en el modelamiento de la arquitectura aórtica. El reconocimiento de patrones segmentarios diferenciales

por sexo podría orientar el desarrollo de algoritmos diagnósticos más sensibles al dimorfismo vascular.

Si se valida en estudios prospectivos, este enfoque permitiría avanzar hacia modelos de riesgo personalizados y optimizar intervenciones endovasculares adaptadas a la anatomía segmentaria. Además, el uso del perceptrón multicapa demuestra potencial para integrarse en plataformas de medicina personalizada, a la vez que facilita análisis morfofuncionales más precisos basados en inteligencia artificial.

Asimismo, se abren varias interrogantes relevantes para futuras investigaciones: ¿Hasta qué punto las diferencias segmentarias en la arquitectura aórtica reflejan adaptaciones funcionales al perfil hemodinámico de cada sexo? ¿Podrían estos patrones diferenciales anticipar con mayor precisión el riesgo de dilataciones o aneurismas específicos en hombres o mujeres? También, ¿cómo influirían factores como la edad, el estado hormonal o la presencia de comorbilidades en la redistribución de la importancia segmentaria observada?

Explorar estas preguntas en poblaciones clínicas y longitudinales, con la integración de datos imagenológicos, funcionales y genéticos, permitirá validar y ampliar las implicancias de este modelo, y avanzar hacia una comprensión más personalizada y predictiva del comportamiento vascular aórtico humano.

Este estudio presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. El diseño transversal impide establecer relaciones causales y, aunque el perceptrón multicapa permite modelar relaciones no lineales complejas, su naturaleza multicapas limita la interpretación fisiopatológica directa. No se incluyeron variables clínicas o hemodinámicas potencialmente relevantes, dado que el objetivo fue evaluar de forma aislada la influencia segmentaria anatómica.

Por otro lado, la población analizada corresponde a pacientes adultos hospitalizados en servicios de medicina general y geriatría, sin patología aórtica estructural manifiesta, lo que define una cohorte clínica específica y limita la generalización de los hallazgos a poblaciones ambulatorias, más jóvenes o sin comorbilidades. La aplicabilidad de estos resultados a poblaciones con enfermedad aórtica establecida requiere validación adicional.

En conclusión, en el presente estudio se reconoció la existencia de un dimorfismo sexual en la influencia segmentaria de la aorta torácica sobre el diámetro de la aorta abdominal, que se identificó mediante un modelo de perceptrón multicapa. Si bien en ambos sexos la aorta en el diafragma fue el predictor más relevante, se observaron patrones diferenciados en los segmentos secundarios: los hombres mostraron una mayor influencia de zonas distales, mientras que en las mujeres predominó la relevancia de segmentos proximales.

Estas diferencias reflejan posibles variaciones anatómicas y funcionales en la arquitectura aórtica, con implicancias para la evaluación del riesgo vascular y el diseño de estrategias diagnósticas personalizadas. El uso de redes neuronales demostró ser una herramienta útil para capturar estas complejidades, y abre nuevas perspectivas para el análisis funcional del sistema cardiovascular con enfoque de sexo biológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zaid M, Sala L, Despins L, et al. Cardiovascular sex-differences: insights via physiology-based modeling and potential for noninvasive sensing via ballistocardiography. *Front Cardiovasc Med.* 2023;10:1215958. DOI: 10.3389/fcvm.2023.1215958.
2. Marques-Antunes M, van Oort MJH, Oliveri F, et al. Angiographic characterization and sex-related anatomical differences of atrial coronary arteries anatomy-A proposal of systematic classification. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025;105(4):951-8. DOI: 10.1002/ccd.31414.
3. Gao Z, Xiong J, Chen Z, et al. Gender differences of morphological and hemodynamic characteristics of abdominal aortic aneurysm. *Biol Sex Differ.* 2020;11(1):41. DOI: 10.1186/s13293-020-00318-3.
4. Zuo X, Liu L, Liu K, et al. Proximal aorta dilatation in hypertension. *J Hypertens.* 2023;41(10):1511-20. DOI: 10.1097/HJH.0000000000003518.
5. Rylski B, Desjardins B, Moser W, et al. Gender-related changes in aortic geometry throughout life. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2014;45(5):805-11. DOI: 10.1093/ejcts/ezt597.
6. Bhatt N, Chung JC-Y. Gender differences in acute aortic syndromes. *Curr Opin Cardiol.* 2023;38(2):75-81. DOI: 10.1097/HCO.0000000000001012.
7. Voigt KR, Gökalp AL, Papageorgiou G, et al. Male-female differences in ascending aortic aneurysm surgery: 25-year single center results. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2023;35(2):300-8. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2022.01.002.
8. García-Ortiz L, Recio-Rodríguez JI, Mora-Simón S, et al. Vascular structure and function and their relationship with health-related quality of life in the MARK study. *BMC Cardiovasc Disord.* 2016;16(1):95. DOI: 10.1186/s12872-016-0272-9.
9. Shirazi DH, Toosi H. Deep multilayer perceptron neural network for the prediction of Iranian dam project delay risks. *J Constr Eng Manag.* 2023;149(4). DOI: 10.1061/jcemd4.coeng-12367.



10. Wang Y, Yang J, Lu Y, et al. Thoracic aorta diameter calculation by artificial intelligence can predict the degree of arterial stiffness. *Front Cardiovasc Med.* 2021;8:737161. DOI: 10.3389/fcvm.2021.737161.
11. Aghaabbasi M, Chalermpong S. Machine learning techniques for evaluating the nonlinear link between built-environment characteristics and travel behaviors: A systematic review. *Travel Behav Soc.* 2023;33:100640. DOI: 10.1016/j.tbs.2023.100640.
12. Vatner SF, Zhang J, Vyzas C, et al. Vascular stiffness in aging and disease. *Front Physiol.* 2021;12:762437. DOI: 10.3389/fphys.2021.762437.
13. Wanhainen A, Themudo R, Ahlström H, et al. Thoracic and abdominal aortic dimension in 70-year-old men and women--a population-based whole-body magnetic resonance imaging (MRI) study. *J Vasc Surg.* 2008;47(3):504-12. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.10.043.
14. Lau ES, Panah LG, Zern EK, et al. Arterial stiffness and vascular load in HFpEF: Differences among women and men. *J Card Fail.* 2022;28(2):202-11. DOI: 10.1016/j.cardfail.2021.10.019.
15. Carlestål E, Thorell A, Bergstrand L, et al. High prevalence of thoracic aortic dilatation in men with previous inguinal hernia repair. *Aorta (Stamford).* 2022;10(3):122-30. DOI: 10.1055/s-0042-1749172.
16. Obel LM, Diederichsen AC, Steffensen FH, et al. Population-based risk factors for ascending, arch, descending, and abdominal aortic dilations for 60-74-year-old individuals. *J Am Coll Cardiol.* 2021;78(3):201-11. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.04.094.
17. Neutel CHG, Corradin G, Puylaert P, et al. High Pulsatile Load Decreases Arterial Stiffness: An ex vivo Study. *Front Physiol.* 2021;12:741346. DOI: 10.3389/fphys.2021.741346.
18. Bellemare F, Jeanneret A, Couture J. Sex differences in thoracic dimensions and configuration. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;168(3):305-12. DOI: 10.1164/rccm.200208-876OC.

