

Artículo Original de Investigación

Estimación del engrosamiento intima-media de la carótida común mediante redes neuronales en adultos con y sin ACV isquémico

Estimation of common carotid intima-media thickening using neural networks in adults with and without ischemic stroke

Alberto Guevara Tirado.

Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 13 de Septiembre de 2024

Aceptado después de revisión

el 7 de Octubre de 2024

www.revistafac.org.ar

El autor declara no tener
conflicto de intereses

Palabras clave:

Grosor Intima-Media Carotídeo;

Exámenes Médicos;

Accidente Cerebrovascular;

Redes Neuronales de la Computación;

Toma de Decisiones Asistida por

Computador.

Keywords:

Carotid Intima-Media Thickness;

Medical Examination; Stroke;

Neural Networks,

Computer;

Decision Making,

Computer-Assisted

RESUMEN

Introducción: el engrosamiento intima-media carotideo indica potencial aterosclerosis y riesgo de accidente cerebrovascular (ACV) isquémico. El objetivo fue predecir la presencia de engrosamiento intima-media carotideo mediante redes neuronales en adultos con y sin ACV

Material y métodos: estudio analítico y transversal de una base de datos secundaria de 600 pacientes con y sin antecedentes de ACV isquémico. La variable dependiente fue el grosor intima-media de carótida común derecha e izquierda (CCD y CCI). Se emplearon marcadores bioquímicos frecuentemente usados en atención primaria, así como presión arterial sistólica y diastólica. Se empleó redes neuronales tipo perceptrón multicapa con área bajo la curva (AUC)

Resultados: sin antecedentes de ACV, el modelo predictivo del perceptrón para CCD fue bueno (AUC=0,852). Para CCI fue aceptable (AUC=0,799). En pacientes con antecedentes de ACV isquémico, El modelo predictivo para CCD fue bueno (AUC=0,826). El modelo para CCI fue aceptable (AUC=0,789). En ausencia de ACV, la prueba de la red neuronal tuvo un porcentaje de pronósticos correctos para engrosamiento intima-media de la carótida común derecha e izquierda de 81.30% y 79.20%, respectivamente. Con antecedentes de ACV isquémico fue de 82.80% y 91.50%, respectivamente.

Conclusiones: el modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa, basado en exámenes realizados en atención primaria, tuvo una elevada capacidad de pronosticar correctamente el engrosamiento intima-media de la carótida común en pacientes sin antecedentes de ACV isquémico.

Estimation of common carotid intima-media thickening using neural networks in adults with and without ischemic stroke

ABSTRACT

Introduction: carotid intima-media thickening indicates potential atherosclerosis and risk of ischemic stroke. The objective was to predict the presence of carotid intima-media thickening using neural networks in adults with and without stroke.

Materials and methods: analytical and cross-sectional study of a secondary database of 600 patients with and without a history of ischemic stroke. The dependent variable was the intima-media thickness of the right and left common carotid artery (RCC and LCC). Biochemical markers frequently used in primary care, systolic and diastolic blood pressure, were used. Multilayer perceptron-type neural networks with area under the curve (AUC) were used.

Results: without a history of stroke, the perceptron predictive model for RCC was good (AUC=0.852). For LCC, it was acceptable (AUC=0.799). In patients with a history of ischemic stroke, the predictive model for RCC was good (AUC=0.826). The model for LCC was acceptable (AUC=0.789). In the absence of stroke, the neural network test had a percentage of correct predictions for right and left common carotid intima-media thickening of 81.30% and 79.20%, respectively. With a history of ischemic stroke, it was 82.80% and 91.50%, respectively.

Conclusions: the multilayer perceptron-type neural network model, based on tests performed in primary care, had a high capacity to correctly predict intima-media thickening of the common carotid artery in patients without a history of ischemic stroke.

INTRODUCCIÓN

El accidente cerebrovascular es mundialmente la segunda causa de mortalidad, siendo el ACV isquémico el más frecuentes, con prevalencia estimada de 85% a 87%¹. El porcentaje restante corresponde a ACV de tipo hemorrágico². La medición del grosor intima-media es un (cMIT) marcador temprano de aterosclerosis y predictor de ACV isquémico³. Si bien se ha inferido que los factores de riesgo cardiovascular tradicionales, que incluyen edad avanzada, hipertensión, diabetes, dislipidemia, tabaquismo, etc., conducen a un aumento del cMIT, el principal factor asociado es la hipertensión arterial, los cuales influyen en la fisiopatología del engrosamiento carotideo debido a que generan alteraciones hemodinámicas, bioquímicas y humorales que favorecen su formación, cuya cronicidad incrementa el riesgo de tromboembolización hacia vasos sanguíneos cerebrales, favoreciendo la aparición de ataques isquémicos transitorios o ACV isquémico^{4,5}.

La ecografía carotídea en modo B es un método no invasivo que puede evaluar el espesor carotideo⁶. Sin embargo, no es una técnica empleada de forma rutinaria en población general. Ciertos marcadores bioquímicos, hemodinámicos y antropométricos alterados se asocian con la formación de ateromas y la progresión de la aterosclerosis, reconociéndose entre ellos a los lípidos, la glucosa, y la hipertensión, entre otros^{7,8,9}. Estos, generalmente, son solicitados como parte de las consultas médicas de atención primaria y especializada, pudiendo ser elementos que proporcionen evidencia que determine la sospecha sobre la posible presencia de engrosamiento anormal del espesor

El uso de redes neuronales artificiales, como el perceptrón multicapa puede ser una herramienta útil para construir modelos basados en relaciones no lineales, que podría servir como un complemento en la toma de decisiones clínicas, como lo ha demostrado en enfermedades como la diabetes mellitus-2¹⁰. En ese sentido, basado en la proximidad fisiopatológica de alteraciones en marcadores bioquímicos y hemodinámicos sobre el engrosamiento carotideo, es factible generar un algoritmo lo suficientemente sensible como para orientar y alentar a médicos y pacientes a un esfuerzo conjunto para la prevención y detección temprana de este importante factor de riesgo de ACV isquémico. Por ello, el objetivo de esta investigación fue predecir la presencia de engrosamiento intima-media carotideo mediante redes neuronales en adultos con y sin ACV.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño y población de estudio

Estudio analítico y transversal a partir de una base de datos secundaria proveniente de F1000 research, la cual es una plataforma de acceso abierto, en la cual también se realizan depósitos e intercambios de bases de datos (<https://f1000research.com/>). La base de datos fue subida por Salazar et al, quien la utilizó para realizar el artículo denominado "Risk factors for ischemic stroke in China: a case-control study" (en español: "Factores de riesgo de accidente cerebrovascu-

lar isquémico en China: un estudio de casos y controles"), el cual tuvo como objetivo determinar si el ácido úrico, bilirrubina total, creatinina sérica, la homocisteína, índice de plaquetas en células grandes, volumen plaquetario medio, amplitud de distribución del volumen de los glóbulos rojos y el grosor de la íntima-media de la arteria carótida común, eran factores de riesgo de accidente cerebrovascular isquémico¹¹. La base de datos constó de un total de 600 adultos desde los 18 años, de los cuales 400 tuvieron ACV isquémico y 200 no tuvieron antecedentes de esta enfermedad, a quienes se les realizaron ecografías carotídeas modo B y exámenes de laboratorio. No hubo criterios de exclusión, y tampoco hubo técnica de muestreo o aleatorización al seleccionar el total de la población de que tuvo el total de los datos requeridos para la investigación. Las características de la población y los exámenes de laboratorio realizados se observan en la *tabla 1*.

Variables y mediciones

La variable dependiente fue el grosor de la íntima-media de la arteria carótida común derecha e izquierda, el cual, según información de la base de datos, fue obtenido mediante ecografía *doppler* de las arterias carótidas empleando un *software* automático. Fue analizada como variable categórica según el punto de corte de engrosamiento de riesgo de ACV isquémico, para el cual no hay un consenso universal, habiéndose seleccionado un punto de corte basado en estudios que sugieren que el límite superior se encuentra a partir de 0,9 milímetros (mm)^{12,13}. Las variables independientes fueron las incluidas en la *tabla 1*, que fueron edad (en años), glucosa basal, colesterol total, triglicéridos, lipoproteínas de baja densidad, lipoproteínas de alta densidad, creatinina sérica, ácido úrico, bilirrubina total, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica, siendo todas ellas variables cuantitativas. Los valores de laboratorio y de presión arterial, según lo reportado en metodología de la fuente secundaria de la base de datos, fueron obtenidos en el hospital donde se realizó la investigación. Estos marcadores de laboratorio se encontraban en mmol/L, por lo que fueron convertidas a mg/dL mediante una calculadora en línea¹⁴.

Análisis estadístico

Se emplearon redes neuronales artificiales simples tipo perceptrón multicapa, para determinar la presencia de engrosamientos intima-media de las carótidas comunes derecha e izquierda mayores o iguales a 0,9 mm. Las redes neuronales son arquitecturas computarizadas, modeladas de forma análoga a las redes neuronales biológicas. De forma similar a las neuronas biológicas, donde la capacidad de procesamiento es producto de las fuerzas de interconexión entre arreglos de nodos de procesamiento no lineales¹⁵. Las redes neurales computarizadas, también denominadas perceptrones o modelos de conexión en múltiples capas, poseen unidades similares a las neuronas del sistema nervioso. Estas redes tienen la capacidad de reconocer patro-

TABLA 1.
Características de la población estudiada

	Media	DS
Edad (años)	63.71	11.57
Glucosa basal (mg/dL)	110.17	46.78
CT (mg/dL)	179.19	45.33
TG (mg/dL)	161.02	122.35
LDL (mg/dL)	94.43	32.37
HDL (mg/dL)	45.51	11.27
Cr (mg/dL)	0.80	0.35
AU (mg/dL)	5.29	1.5
BT (mg/dL)	0.73	0.32
PAS (mmHg)	142.24	21.43
PAD (mmHg)	83.09	12.02
	Frecuencia	Porcentaje
Sexo		
Mujer	283	47.20
Hombre	317	52.80
ACV isquémico		
No	200	33.30
Si	400	66.70
HTA		
No	326	54.30
Si	274	45.70
Diabético		
No	482	80.30
Si	118	19.70
Coronariopatía		
No	586	97.70
Si	14	2.30
Dislipidemia		
No	558	93
Si	42	7
Grosor IM-CCD		
≥0,9 mm	346	57.70
<0,9 mm	254	42.30
Grosor IM-CCI		
≥0,9 mm	350	58.30
<0,9 mm	250	41.70

TG: triglicéridos; HDL: lipoproteínas de alta densidad; LDL: lipoproteínas de baja densidad; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; Cr: creatinina sérica; AU: ácido úrico; CT: colesterol total; BT: bilirrubina total; Grosor IM-CCD: grosor intima-media de la carótida común derecha; Grosor IM-CCI: grosor intima-media de la carótida común izquierda; HTA: hipertensión arterial; ACV: accidente cerebrovascular; mmHg: milímetros de mercurio; mg/dL: miligramos por decilitro

nes, son adaptativas, realizan tareas a partir de ejemplos previos y, por tanto, son mejores para la toma de decisiones que las máquinas lineales de aprendizaje tradicional. Además, no requieren programación explícita¹⁶. Los ajustes de hiperparámetros del perceptrón fueron predeterminados

automáticamente por la red neuronal del programa SPSS *statistics* 25.

Si bien la población total de la base de datos fue de 600 personas, hubo datos perdidos durante el entrenamiento de la red neuronal, ya que de 400 pacientes con ACV isquémico, hubo 99 y 98 casos excluidos para la carótida común derecha e izquierda, respectivamente, representando una pérdida de datos de 16,50 y 16,30%. Para los 200 pacientes sin antecedentes de ACV isquémico, hubo 25 casos excluidos para las arterias carótidas comunes derecha e izquierda, representando una pérdida de 6,25%. Asimismo, como parte de los resultados, la red neuronal incluyó el área bajo la curva, que determina si el modelo es aceptable, bueno, y excelente, siendo sus rangos de 0,7-0,8; 0,8-0,9 y 0,9 a 1, respectivamente¹⁷. Asimismo, el análisis de la red incluyó el error de entropía cruzada, que cuantifica la medida de asincronismo entre variables, definido como una función de pérdida que se utiliza en el aprendizaje automático para medir el rendimiento de un modelo de clasificación¹⁸.

Consideraciones éticas

Al ser un estudio a partir de una base de datos secundaria, no existió intervención ni uso o manipulación de muestras biológicas, empleándose solo registros clínicos y datos anónimos proporcionados libremente por el autor de la base de datos original bajo licencia creative commons, por lo que no se requirió de evaluación por un comité de ética. La información complementaria, incluido la base de datos donde se realizó el entrenamiento de la red neuronal, están disponibles por medio del siguiente enlace: <https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/QSKKLD>

RESULTADOS

En pacientes sin antecedentes de ACV isquémico, el porcentaje de pronósticos incorrectos en el entrenamiento del modelo para CCD y CCI fue de 22,40% y 24,20%, respectivamente. Para la prueba fue de 20 y 27,50%, respectivamente. En pacientes con antecedente de ACV isquémico, el porcentaje de pronósticos incorrectos en el entrenamiento del modelo para CCD y CCI fue 22,80% y 24,80%, respectivamente, y en la prueba fue de 28,40% y 26,30%, respectivamente. El error de entropía cruzada fue mayor en el grupo de pacientes con antecedentes de ACV isquémico, lo que indica que el rendimiento del modelo fue menor (*Tabla 2*).

En pacientes sin antecedentes de ACV isquémico, la estructura de la red neuronal tipo perceptrón multicapa para determinar la presencia de engrosamiento intima-media de la carótida común derecha e izquierda, tuvo como función de activación de capa oculta la tangente hiperbólica, y como función de salida de la capa de salida, softmax. El modelo para la CCD constó de 1 capa de entrada con 8 unidades, 1 capa oculta con 6 unidades, y una capa de salida con 2 unidades. El área bajo la curva fue de 0,852, lo que indica que fue un buen modelo predictivo. El modelo para CCI consto de 1 capa de entrada con 8 unidades, una capa oculta con 6

TABLA 2.

Resumen del modelo de red neuronal para determinación de presencia de engrosamiento intima-media de la arteria carótida común en adultos con y sin antecedente de ACV isquémico.

		Sin antecedente de ACV isquémico		Con antecedente de ACV isquémico	
		CCD	CCI	CCD	CCI
Entrenamiento	Error de entropía cruzada	60.305	68.266	95.651	106.699
	Porcentaje de pronósticos incorrectos	22.4%	24.2%	22.8%	24.8%
	Regla de parada utilizada	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error	1 paso(s) consecutivo(s) sin disminución del error
	Tiempo de entrenamiento	0:00:00.03	0:00:00.02	0:00:00.05	0:00:00.07
Pruebas	Error de entropía cruzada	23.066	28.148	49.675	44.051
	Porcentaje de pronósticos incorrectos	20.0%	27.5%	28.4%	26.3%

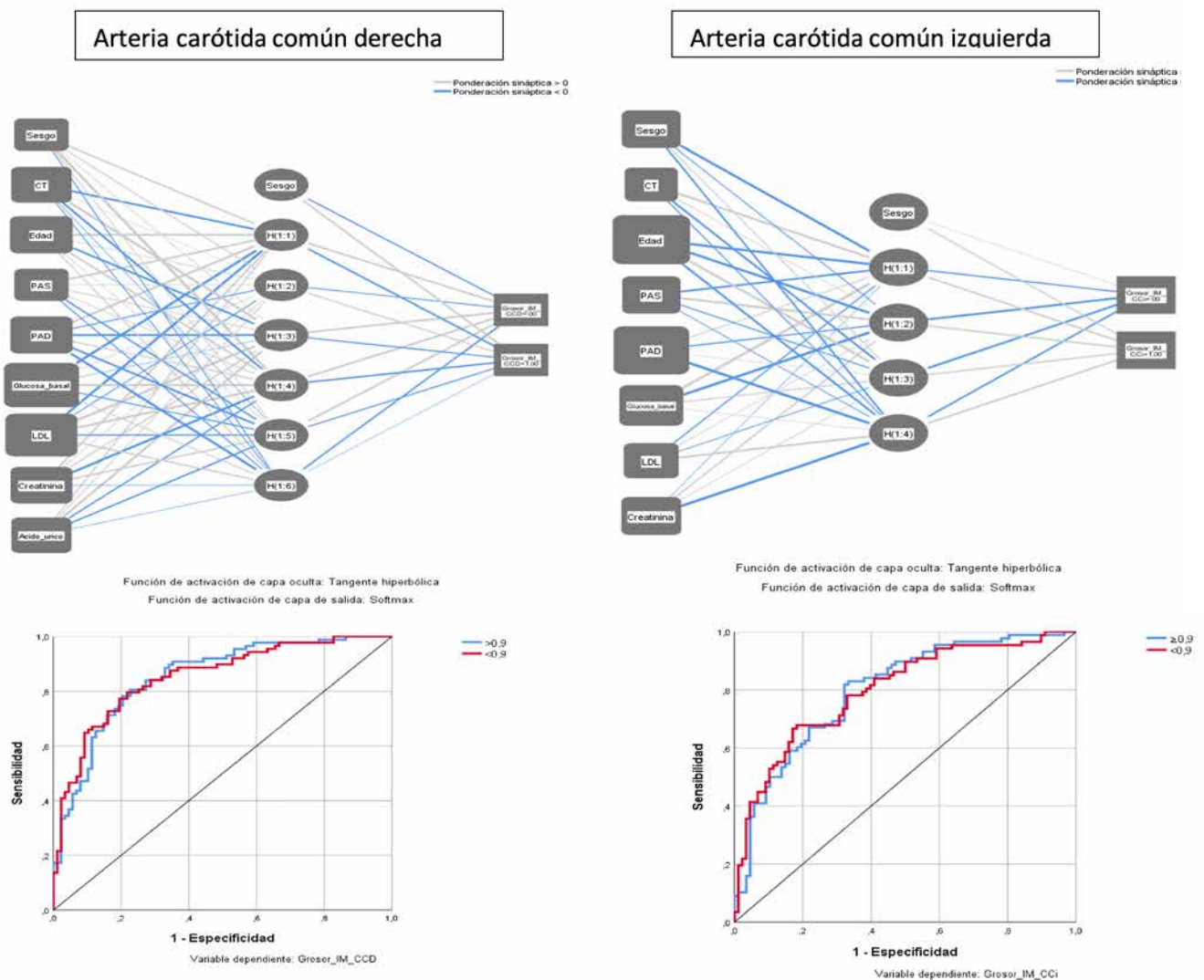


FIGURA 1.

Estructura de red tipo perceptrón multicapa con área bajo la curva para predicción de presencia de engrosamiento intima-media de carótida común derecha a partir de parámetros bioquímicos y hemodinámicos en adultos sin antecedentes de ACV isquémico

TG: triglicéridos; HDL: lipoproteínas de alta densidad; LDL: lipoproteínas de baja densidad; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; Cr: creatinina sérica; AU: ácido úrico; CT: colesterol total; BT: bilirrubina total

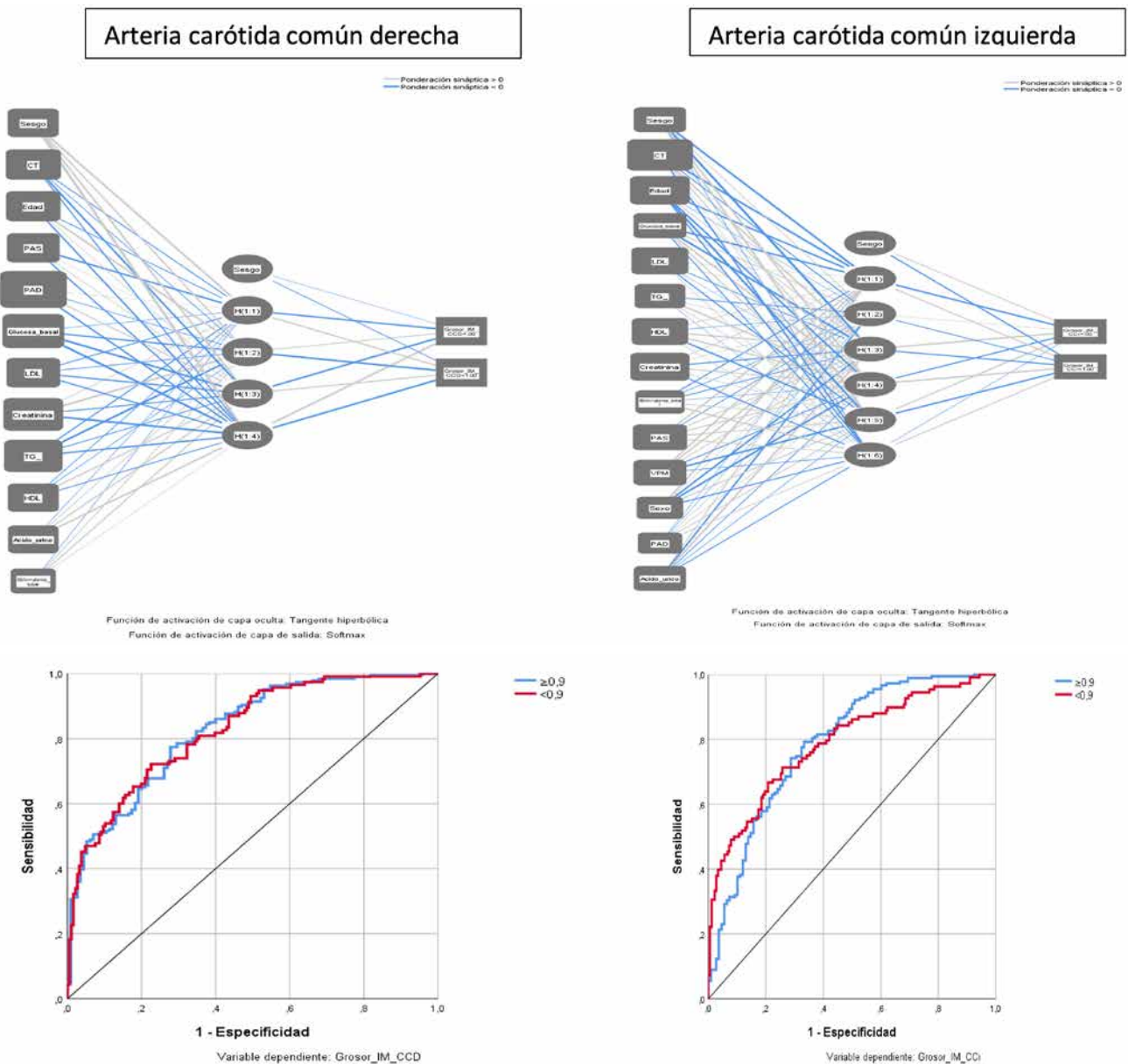


FIGURA 2.

Estructura de red tipo perceptrón multicapa con área bajo la curva para predicción de presencia de engrosamiento intima-media de carótida común derecha a partir de parámetros bioquímicos y hemodinámicos en adultos con antecedentes de ACV isquémico
 TG: triglicéridos; HDL: lipoproteínas de alta densidad; LDL: lipoproteínas de baja densidad; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; Cr: creatinina sérica; AU: ácido úrico; CT: colesterol total; BT: bilirrubina total

unidades y una capa de salida con 2 unidades, con un área bajo la curva de 0,799, lo que indica que fue un modelo predictivo aceptable (Figura 1).

En pacientes con antecedentes de ACV isquémico, la estructura de la red neuronal tipo perceptrón multicapa para determinar la presencia de engrosamiento intima-media de la carótida común derecha e izquierda tuvo como función de activación de capa oculta la tangente hiperbólica, y como función de salida de la capa de salida, *softmax*. El modelo para la CCI constó de 1 capa de entrada con 11 unidades, 1 capa oculta con 4 unidades, y una capa de salida con 2 unidades. El área bajo la curva fue de 0,826, lo que indica que

fue un buen modelo predictivo. El modelo para CCI constó de 1 capa de entrada con 13 unidades, una capa oculta con 6 unidades y una capa de salida con 2 unidades, con un área bajo la curva de 0,789, lo que indica que fue un aceptable modelo predictivo (Figura 2).

En la prueba del modelo de perceptrón multicapa, el porcentaje de pronósticos correctos para la determinación de engrosamiento intima-media en pacientes sin antecedente de ACV isquémico de la CCD fue de 81,30% y 79,40% para engrosamientos $\geq 0,90$ y $< 0,90$, respectivamente. Para la CCI fue 79,2% y 66,70%. En pacientes con antecedentes de ACV isquémico, el porcentaje de pronósticos correctos

TABLA 3.

Porcentajes de pronósticos correctos del perceptrón multicapa para engrosamiento intima-media de carótida común en adultos con y sin antecedente de ACV isquémico.

		Sin antecedente de ACV isquémico					
		CCD			CCI		
		Pronosticado			Pronosticado		
		≥0,9	<0,9	Porcentaje correcto	≥0,9	<0,9	Porcentaje correcto
Entrenamiento	≥0,9	57	14	80.3%	53	11	82.8%
	<0,9	14	40	74.1%	19	41	68.3%
	Porcentaje global	56.8%	43.2%	77.6%	58.1%	41.9%	75.8%
Pruebas	≥0,9	13	3	81.3%	19	5	79.2%
	<0,9	7	27	79.4%	9	18	66.7%
	Porcentaje global	40.0%	60.0%	80.0%	54.9%	45.1%	72.5%
		Con antecedente de ACV isquémico					
		CCD			CCI		
		Pronosticado			Pronosticado		
		≥0,9	<0,9	Porcentaje correcto	≥0,9	<0,9	Porcentaje correcto
Entrenamiento	≥0,9	113	15	88.3%	116	15	88.5%
	<0,9	32	46	59.0%	37	42	53.2%
	Porcentaje global	70.4%	29.6%	77.2%	72.9%	27.1%	75.2%
Pruebas	≥0,9	48	10	82.8%	43	4	91.5%
	<0,9	17	20	54.1%	16	13	44.8%
	Porcentaje global	68.4%	31.6%	71.6%	77.6%	22.4%	73.7%

CCD: carótida común derecha; CCI: carótida común izquierda

para la CCD fue de 82.80% y 54,10% para engrosamientos ≥0,90 y <0,90, respectivamente, mientras que para la CCI fue 91,50% y 44,80% (tabla 3).

DISCUSIÓN

El análisis del AUC mostró que los modelos predictivos fueron más altos en el estudio del engrosamiento de la CCD, y, además, el número de variables incluidas para la CCD fueron menores que para la CCI. Ya que el objetivo de esta investigación no pasó por realizar un análisis comparativo de las características de ambas arterias, cuyos orígenes anatómicos difieren (la carótida derecha procede del tronco braquiocefálico y la izquierda nace de la aorta), y ante la ausencia de estudios que analicen profundamente esta cuestión, es posible que las diferencias en el número de variables predictoras para la eficiencia del modelo predictivo que a su vez, fue menor respecto al de la CCD, tenga relación con características asociadas a factores anatómicos y hemodinámicos. Al respecto, un estudio halló que, en adultos hipertensos y diabéticos, hubo diferencias significativas en el diámetro del lumen y el espesor de la íntima-media de la CCD y CCI, siendo mayores en la CCI, sugiriendo que las diferencias de tensión se deben a los orígenes anatómicos de ambos vasos¹⁹.

Se observó que los porcentajes de pronósticos correctos fueron más elevados en ausencia de ACV isquémico, donde la entropía cruzada fue menor respecto a los pacientes con antecedentes de ACV. Al ser la entropía cruzada un indicador del grado de ajuste entre predicciones y hallazgos, es recomendable emplear la red neuronal dirigida hacia pacientes sin antecedente de ACV isquémico, lo que conlleva a considerarlo como un sistema complementario para la toma de decisiones clínicas con enfoque preventivo, así como para confirmar posteriormente la presencia de engrosamiento intima-media mediante ecografía *doppler* carotídeo.

Si bien esta red neuronal no es 100% precisa, al ser un sistema de aprendizaje supervisado, el cual ya ha sido entrenado y puesto a prueba, tiene la posibilidad de ser empleado para complementar las tomas de decisiones clínicas sobre pacientes con factores de riesgo de ACV isquémico. Pueden colocarse en esta red neuronal resultados de laboratorio y de presión arterial de los pacientes con factores de riesgo cardio-metabólico, con el fin de determinar si pueden presentar engrosamientos intima-media carotídeos anormales y, por tanto, el médico de atención primaria y el cardiólogo, en conjunción con el paciente, tomarán medidas diagnósticas para confirmar o descartar esta posibili-

dad, así como profundizar en estrategias preventivas farmacológicas y no farmacológicas, como cambios en estilos de vida y en la alimentación, entre otros. En ese sentido, el uso de redes neuronales entrenadas puede ser una opción complementaria al juicio clínico del médico de atención primaria y especialistas, permitiendo analizar la posible presencia de anomalías en el engrosamiento intima-media, basado en exámenes de laboratorio rutinarios, poco complejos, y de bajo coste económico, para posteriormente confirmar o descartar esta posibilidad mediante ecografía *doppler* carotídea.

Las limitaciones de esta investigación fueron que la red neuronal estuvo diseñada para determinar el engrosamiento intima-media carotídeo de forma cualitativa, por lo que no es posible estimar el grosor de la pared vascular de forma exacta. El tamaño muestral para los grupos con y sin ACV fue otra limitación, por lo que se requiere que se realicen estudios de mayor número de participantes. Además, los resultados podrían verse afectados por las mediciones realizadas con la ecografía *doppler* carotídeo registrados en la base de datos secundaria, ya que las medidas pueden presentar una variabilidad inter e intra observador. También, si bien se sugirió hipótesis que expliquen las diferencias en la predicción de engrosamiento carotídeo derecho e izquierdo, no se han desarrollado estudios que expliquen si es que existen diferencias significativas en este grupo específico de pacientes bajo la premisa de esta investigación. Asimismo, la fuente de información fue una base de datos secundaria, por lo que existe la posibilidad de sesgos de información y clasificación de datos que no pudieron ser controlados.

En conclusión, el modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa entrenado, basado en exámenes bioquímicos de rutina y presión arterial, tuvo una elevada capacidad para predecir la presencia de engrosamiento intima-media de la carótida común en pacientes sin antecedentes de ACV isquémico.

BIBLIOGRAFIA

- Pacheco-Barrios K, Giannoni-Luza S, Navarro-Flores A, et al. Burden of stroke and population-attributable fractions of risk factors in Latin America and the Caribbean. *J Am Heart Assoc* **2022**; 11: e027044.
- Abdu H, Tadese F, Seyoum G. Comparison of ischemic and hemorrhagic stroke in the medical ward of Dessie referral hospital, northeast Ethiopia: A retrospective study. *Neurol Res Int* **2021**; 2021: 9996958.
- Sun P, Liu L, Liu C, et al. Carotid intima-media thickness and the risk of first stroke in patients with hypertension. *Stroke* **2020**; 51: 379 – 386.
- Zhang L, Fan F, Qi L, et al. The association between carotid intima-media thickness and new-onset hypertension in a Chinese community-based population. *BMC Cardiovasc Disord* **2019**; 19: 269.
- Mechtouff L, Rasle L, Crespy V, et al. A narrative review of the pathophysiology of ischemic stroke in carotid plaques: a distinction versus a compromise between hemodynamic and embolic mechanism. *Ann Transl Med* **2024**; 9: 1208 – 1208.
- Sultan SR, Khayat M, Almutairi B, et al. B-mode ultrasound characteristics of carotid plaques in symptomatic and asymptomatic patients with low-grade stenosis. *PLoS One* **2023**; 18: e0291450.
- Khan RSU, Nawaz M, Khan S, et al. Prevalence of dyslipidemia in ischemic stroke patients: A single-center prospective study from Pakistan. *Cureus* **2022**; 14: e25880.
- Villa R, Ferrari F, Moretti A. Hyperglycemia in acute ischemic stroke: physiopathological and therapeutic complexity. *Neural Regen Res* **2022**; 17: 292.
- Narita K, Hoshida S, Kario K. The role of blood pressure management in stroke prevention: current status and future prospects. *Expert Rev Cardiovasc Ther* **2022**; 20: 829 – 838.
- Zhang Z, Zhou D, Zhang J, et al. Multilayer perceptron-based prediction of stroke mimics in prehospital triage. *Sci Rep* **2022**; 12: 17994.
- Xu Y, Eng Hwa W, et al. Risk factors for ischemic stroke in China: a case-control study. *F1000Res* **2024**; 13: 355.
- Simova I. Intima-media thickness: appropriate evaluation and proper measurement. Disponible en <https://www.escardio.org/Journals/E-Journal-of-Cardiology-Practice/Volume-13/Intima-media-thickness-Appropriate-evaluation-and-proper-measurement-described> Acceso 2 de Diciembre de **2024**.
- Jaraúta E, Mateo-Gallego R, Bea A, et al. Carotid intima-media thickness in subjects with no cardiovascular risk factors. *Rev Esp Cardiol* **2010**; 63: 97 - 102.
- MediCalc. Equations. Disponible en <https://www.scymed.com/en/smnxfid/smnxfdah.htm> Acceso 2 de Diciembre de **2024**.
- Bhattacharya S, Bennet L, Davidson JO, et al. Multi-layer perceptron classification & quantification of neuronal survival in hypoxic-ischemic brain image slices using a novel gradient direction, grey level co-occurrence matrix image training. *PLoS One* **2022**; 17: e0278874.
- Chai SS, Cheah WL, Goh KL, et al. A multilayer perceptron neural network model to classify hypertension in adolescents using anthropometric measurements: A cross-sectional study in Sarawak, Malaysia. *Comput Math Methods Med* **2021**; 2021: 2794888.
- Çorbacıoğlu ŞK, Aksel G. Receiver operating characteristic curve analysis in diagnostic accuracy studies: A guide to interpreting the area under the curve value. *Turk J Emerg Med* **2023**; 23: 195 – 198.
- Jamin A, Humeau-Heurtier A. (multiscale) cross-entropy methods: A review. *Entropy (Basel)* **2019**; 22: 45.
- Al-Sabbagh AA, Essa SI, Saleh AZ. A comparative study of the right and left carotid arteries in relation to age for patients with diabetes and hypertension. *J Vasc Ultrasound* **2022**; 46: 118 – 121.