

Artículo original

Previsión de enfermedades cardiovasculares en pacientes ecuatorianos con hipertensión arterial mediante modelo de series temporales

Forecasting cardiovascular disease in ecuadorian patients with arterial hypertension using a time series model

Lina Espinoza Neri^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6498-473X>

Anahí Bonilla Rodríguez² <https://orcid.org/0009-0002-8886-7022>

Jenny Maribel Moya Arizaga³ <https://orcid.org/0000-0002-9846-0122>

¹Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES). Ecuador.

²Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES Ambato). Ecuador.

³Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES Santo Domingo). Ecuador.

*Autor para la correspondencia: ua.linaespinoza@uniandes.edu.ec

RESUMEN

Introducción: La hipertensión arterial se posiciona como un factor de riesgo fundamental en las afecciones cardiovasculares.

Objetivo: Prever enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un hospital de Ecuador, mediante modelo de series temporales.

Métodos: Se estudiaron individuos diagnosticados con hipertensión arterial en Ecuador. La variable a predecir fue los casos de enfermedades cardiovasculares y las variables que influyeron en las predicciones se relacionaron con el tiempo y los parámetros del modelo de series temporales. Se creó un modelo de series temporales, cuya validación utilizó el método de suavizado exponencial y como criterio el método aditivo de Winters, para poder calcular los coeficientes que permitieron detallar el modelo predictivo: alpha (nivel), gamma (tendencia) y delta (estación).

Resultados: Los valores de R cuadrado estacionaria y R cuadrado indicaron un buen ajuste del modelo, explicando alrededor del 70 % y 90 % de la variabilidad en los datos respectivamente. El modelo no contuvo predictores externos, solo la serie temporal original, presentó un R cuadrado estacionario de 0,699 y un *Root Mean Square Error* (RMSE) de 2,226. El parámetro alfa fue significativo con un valor de 0,803, lo que implicó que los datos exhibieron un nivel estacionario. Gamma y delta no fueron significativos, sugiriendo ausencia de tendencia y estacionalidad en la serie.

Conclusiones: Los parámetros del modelo fueron consistentes con un proceso estacionario apropiado para modelar la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares en la población de estudio.

Palabras clave: modelos de series temporales; Root Mean Square Error; enfermedades cardiovasculares; hipertensión arterial; R cuadrado estacionaria.

ABSTRACT

Introduction: Arterial hypertension is positioned as a fundamental risk factor in cardiovascular conditions.

Objective: To predict cardiovascular disease in patients diagnosed with hypertension in a hospital in Ecuador, using a time series model.

Methods: Individuals diagnosed with arterial hypertension in a hospital in Ecuador, were studied. The variable to be predicted was cases of cardiovascular disease and the variables that influenced the predictions were related to time and the parameters of the time series model. A time series model was created, whose validation used the exponential smoothing method and Winters' additive method as a criterion to calculate the coefficients that allowed the predictive model to be detailed: alpha (level), gamma (trend) and delta (season).

Results: The stationary R-squared and R-squared values indicated a good model fit, explaining about 70 % and 90 % of the variability in the data, respectively. The model contained no external predictors, only the original time series, presented a stationary R-squared of 0.699 and a Root Mean Square Error (RMSE) of 2.226. The alpha parameter was significant with a value of 0.803, implying that the data exhibited a stationary level. Gamma and delta were not significant, suggesting absence of trend and stationarity in the series.

Conclusions: The model parameters were consistent with a stationary process appropriate for modeling the occurrence of cardiovascular disease in the study population.

Keywords: time series models; Root Mean Square Error; cardiovascular disease; arterial hypertension; stationary R-squared.

Recibido: 03/01/2024

Aceptado: 26/02/2024

Introducción

Este estudio se enmarca en la línea de investigación de la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes ecuatorianos con hipertensión arterial mediante modelos de series temporales. Su campo de acción se centra en la aplicación de modelos de series temporales para analizar y prever la incidencia de enfermedades cardiovasculares en una población específica de pacientes con hipertensión arterial en Ecuador.

La situación problemática abordada en este estudio es la necesidad de anticipar y comprender la ocurrencia de estas enfermedades en los referidos pacientes con, lo cual implica un riesgo significativo para la salud. En este ámbito, la pregunta de investigación que se busca responder es: ¿Cómo se puede prever la aparición de enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial mediante un modelo de series temporales en un hospital de Ecuador? De esta forma se cumple con uno de los roles de la investigación científica, al intentar resolver problemas locales y territoriales

Este estudio se justifica porque proporciona información valiosa sobre la capacidad predictiva de modelos de series temporales en el contexto de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial. La anticipación de estas enfermedades puede permitir intervenciones tempranas y mejorar la gestión de la salud cardiovascular en la población estudiada.

Según el marco conceptual utilizado, los modelos de series temporales son herramientas matemáticas y estadísticas que se emplean para analizar y prever

datos que experimentan cambios a lo largo del tiempo. Estos modelos utilizan patrones y tendencias que se observan en datos históricos con el fin de estimar y pronosticar valores futuros dentro de la serie temporal.

En cuanto a las enfermedades cardiovasculares, también llamadas enfermedades del corazón, constituyen un conjunto de trastornos que afectan a este órgano y a los vasos sanguíneos, incluyendo arterias y venas. Estas afecciones pueden tener un impacto significativo en la salud y la calidad de vida de una persona, y en algunos casos, pueden ser potencialmente mortales.

Según los antecedentes investigativos que se consultan, las enfermedades cardiovasculares comunes abarcan la enfermedad coronaria, también llamada enfermedad arterial coronaria o cardiopatía coronaria. Esta condición surge por la acumulación de placa en las arterias coronarias, disminuyendo así el flujo sanguíneo al corazón y potencialmente desencadenando angina (dolor en el pecho) o un ataque cardíaco.⁽¹⁾

La hipertensión arterial, caracterizada por una presión sanguínea crónicamente elevada en las arterias, puede conllevar a un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y otras complicaciones de salud si no se controla adecuadamente. Un estudio de 2021 revela que aproximadamente la quinta parte de la población peruana sufre de hipertensión, con alrededor de cuatro nuevos casos por cada 100 personas anualmente. Es relevante señalar que solo la mitad de quienes padecen hipertensión reciben un diagnóstico previo.⁽²⁾

En este ámbito de estudio, el objetivo del estudio es prever enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un hospital de Ecuador, mediante modelo de series temporales.

Métodos

Este estudio se clasifica como una investigación cuantitativa correspondiente al nivel predictivo. Pertenece al campo de la epidemiología y utiliza un enfoque de análisis de series temporales para prever la incidencia de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial. Se basó en datos reales recopilados durante el período 2016-2022 y aplicaron modelos estadísticos para realizar predicciones a futuro (2024).

Fue un estudio predictivo dado que los predictores ya se conocían, porque fueron demostrados en investigaciones previas y solo requirió de datos que provenían de mediciones controladas para crear el modelo predictivo.

Fue un centrado en la predicción de casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial en un período determinado y de tipo analítico (implicó la aplicación de análisis estadísticos multivariados para examinar relaciones entre variables), observacional (los investigadores observaron y recopilaron datos sin intervenir directamente), transversal (la recopilación de datos se realizó en un solo punto en el tiempo) y retrospectivo (los datos se recopilaron de eventos pasados).

Población de estudio

La población objeto de análisis consistió en pacientes con diagnóstico de hipertensión arterial que recibían atención en un hospital de Ecuador. Los datos de casos de estos pacientes fueron registrados trimestralmente entre 2016 y 2022. Los criterios de inclusión abarcaban a aquellos con diagnóstico confirmado de hipertensión, que hubieran sido atendidos en el citado hospital, cuyos datos estuvieran registrados trimestralmente durante el periodo de estudio y que no presentaran registros incompletos en los trimestres evaluados.

En contraste, se excluyeron pacientes que no hubieran otorgado su consentimiento informado para participar en la investigación. Este criterio ético fue considerado de acuerdo con las directrices de la Conferencia de Helsinki y sus actualizaciones en cuanto a la investigación con seres humanos.

Variables de estudio

- **Casos de enfermedades cardiovasculares:** esta variable reflejó la cantidad de casos de enfermedades cardiovasculares diagnosticados en pacientes con hipertensión arterial durante el período comprendido entre 2016 y 2022. Esta variable, de naturaleza endógena, fue el enfoque principal del estudio para su predicción.
- **Tiempo:** representó la dimensión temporal de la serie de datos y se desglosó en trimestres. Este desglose permitió examinar cómo varió la incidencia de enfermedades cardiovasculares a lo largo de los años.
- **Variables del modelo** (variables exógenas vinculadas al tiempo y parámetros del modelo de series temporales):
 - ❖ **Alfa (Nivel):** este parámetro de suavizado exponencial ajustó el componente de nivel en el modelo y reguló la influencia de las observaciones pasadas en el nivel actual.
 - ❖ **Gamma (Tendencia):** gestionó la tasa de suavizado para el componente de tendencia, solo si resultaba relevante en el modelo.
 - ❖ **Delta (Estacionalidad):** reguló la tasa de suavizado para el componente de estacionalidad, en caso de ser pertinente en el modelo.

Procedimiento de estudio

El estudio siguió un procedimiento sistemático que se puede resumir en varios pasos. En primer lugar, se llevó a cabo la recopilación de datos históricos, abarcando casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con

hipertensión arterial, desglosados trimestralmente desde el año 2016 hasta el 2022. Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio de datos para comprender la distribución y patrones, identificar valores atípicos, y evaluar tendencias y estacionalidades.

La elección del modelo de series temporales fue otro componente clave del estudio. En este caso, se optó por el suavizado exponencial, utilizando el método aditivo de Winters. La determinación de los parámetros del modelo, como alfa, gamma y delta, se llevó a cabo mediante pruebas y ajustes. La serie temporal también fue descompuesta en componentes de nivel, tendencia y estacionalidad, si se consideraban relevantes. Se empleó el software SPSS (versión 26).

La validación del modelo fue esencial para evaluar su calidad y la independencia de los residuos. Posteriormente, se utilizó el modelo entrenado para generar predicciones trimestrales de casos de enfermedades cardiovasculares para el año 2024. Estas predicciones se compararon con datos reales, calculando medidas de error como RMSE, MAPE y MAE para evaluar la precisión del modelo.

El análisis e interpretación de resultados se centraron en comprender la evolución esperada de la variable en el futuro y determinar si el modelo era adecuado para la predicción. Finalmente, los hallazgos se comunicaron a través de textos, figuras y tablas, presentando de manera clara y completa los resultados del estudio.

Resultados

La Tabla 1 muestra los estadísticos de ajuste del modelo de series temporales utilizado para predecir enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial. Se presentan medidas como R cuadrado, error cuadrático medio (RMSE), error porcentual absoluto medio (MAPE), error absoluto medio (MAE) y criterio de información bayesiano (BIC).

Tabla 1- Estadísticos de ajuste del modelo de series temporales para la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial

Ajuste del modelo											
Estadístico de ajuste	Media	SE	Mínimo	Máximo	Percentil						
					5	10	25	50	75	90	95
R cuadrado estacionaria	0,699	.	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699
R cuadrado	0,897	.	0,897	0,897	0,897	0,897	0,897	0,897	0,897	0,897	0,897
RMSE	2,226	.	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226	2,226
MAPE	22,143	.	22,143	22,143	22,143	22,143	22,143	22,143	22,143	22,143	22,143
MaxAPE	84,243	.	84,243	84,243	84,243	84,243	84,243	84,243	84,243	84,243	84,243
MAE	1,739	.	1,739	1,739	1,739	1,739	1,739	1,739	1,739	1,739	1,739
MaxAE	4,212	.	4,212	4,212	4,212	4,212	4,212	4,212	4,212	4,212	4,212
BIC normalizado	1,957	.	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957

Los valores de R cuadrado estacionaria y R cuadrado indican un buen ajuste del modelo, explicando alrededor del 70 % y 90 % de la variabilidad en los datos respectivamente. El RMSE y MAE fueron relativamente bajos, lo que implica errores pequeños en la predicción. El MAPE del 22 % fue aceptable para series temporales en ciencias de la salud.

En conjunto, estos resultados sugieren que el modelo de series temporales propuesto tuvo un ajuste adecuado y podría ser útil para realizar predicciones razonablemente precisas de enfermedades cardiovasculares en la población de estudio. Se requeriría validación con datos nuevos para confirmar su capacidad predictiva. La Tabla 2 presenta estadísticos relacionados con el ajuste y diagnóstico del modelo de series temporales propuesto.

Tabla 2- Estadísticos del modelo de series temporales para la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial

Estadísticos del modelo							
Modelo	Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R cuadrado estacionaria	RM SE	Estadísticos	DF	Sig.	
Casos- Modelo 1	0	0,699	2,226	20,426	15	0,156	0

En la Tabla 2, se observa que el modelo no contiene predictores externos, solo la serie temporal original. Presenta un R cuadrado estacionario de 0,699 y un error RMSE de 2,226, consistentes con los valores de la Tabla 1.

La prueba Ljung-Box indicó ausencia de autocorrelación residual en los errores del modelo, lo que fue deseable. El valor p superior a 0,05 sugirió que los residuos eran independientes. No se identificaron valores atípicos influyentes.

En conjunto, estos resultados brindaron evidencia de que el modelo tuvo un buen ajuste y los residuos cumplieron con los supuestos necesarios para utilizar series temporales. El modelo podría ser adecuado para realizar predicciones de enfermedades cardiovasculares en la población en estudio.

La Tabla 3 muestra los parámetros estimados en el modelo de suavizado exponencial ajustado a los datos. Incluye el coeficiente alfa que representa el nivel, gamma que indica la tendencia y delta que modela la estacionalidad.

Tabla 3- Parámetros del modelo de suavizado exponencial para la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial

Parámetros del modelo de suavizado exponencial						
Modelo			Estimación	SE	t	Sig.
Casos-Modelo 1	Ninguna transformación	Alfa (nivel)	0,803	0,201	3,987	0,001
		Gamma (tendencia)	1,153E-6	0,052	2,213E-5	1,000
		Delta (estacionalidad)	0,001	0,703	0,001	0,999

En concordancia con la Tabla 3, el parámetro alfa fue significativo con un valor de 0,803, lo que implicó que los datos exhibieron un nivel estacionario. Gamma y delta no fueron significativos, sugiriendo ausencia de tendencia y estacionalidad en la serie.

En conjunto, estos resultados indicaron que el modelo de suavizado exponencial estimado se basó principalmente en el nivel, capturando adecuadamente la naturaleza estacionaria de los datos. Los parámetros del modelo fueron consistentes con un proceso estacionario apropiado para modelar la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares en la población de estudio.

La representación visual de los casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial entre 2016 y 2022, desglosados

trimestralmente, se presenta en la Figura 1. En el eje horizontal se muestra la línea temporal, mientras que en el eje vertical se indica la cantidad de casos.

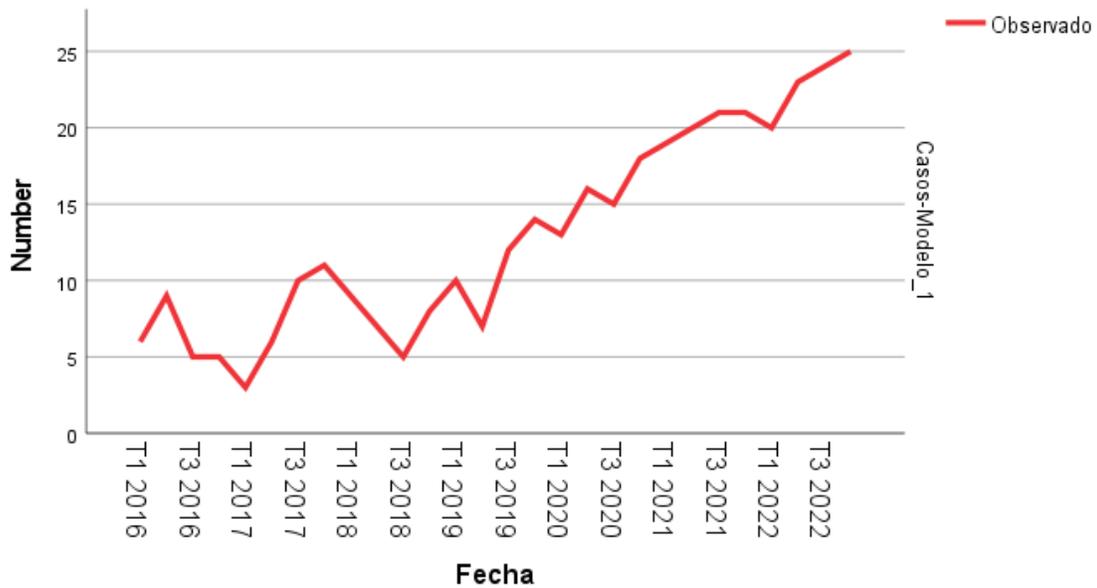


Fig. 1- Distribución temporal de casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial (2016-2022).

La Figura 1 ofrece una representación visual de la evolución temporal de los casos de enfermedades cardiovasculares en los pacientes. Se destaca la tendencia observada en la incidencia de estas enfermedades a lo largo del periodo de estudio, revelando un aumento progresivo con notables picos en los últimos meses.

Por otro lado, la Figura 2 presenta dos líneas distintas: una que refleja los datos reales de casos desde 2016 hasta 2024 y otra que exhibe las predicciones para el periodo 2023-2024 después de descomponer la serie temporal. Esta figura se emplea para analizar y comparar el comportamiento de los datos reales con las proyecciones futuras.

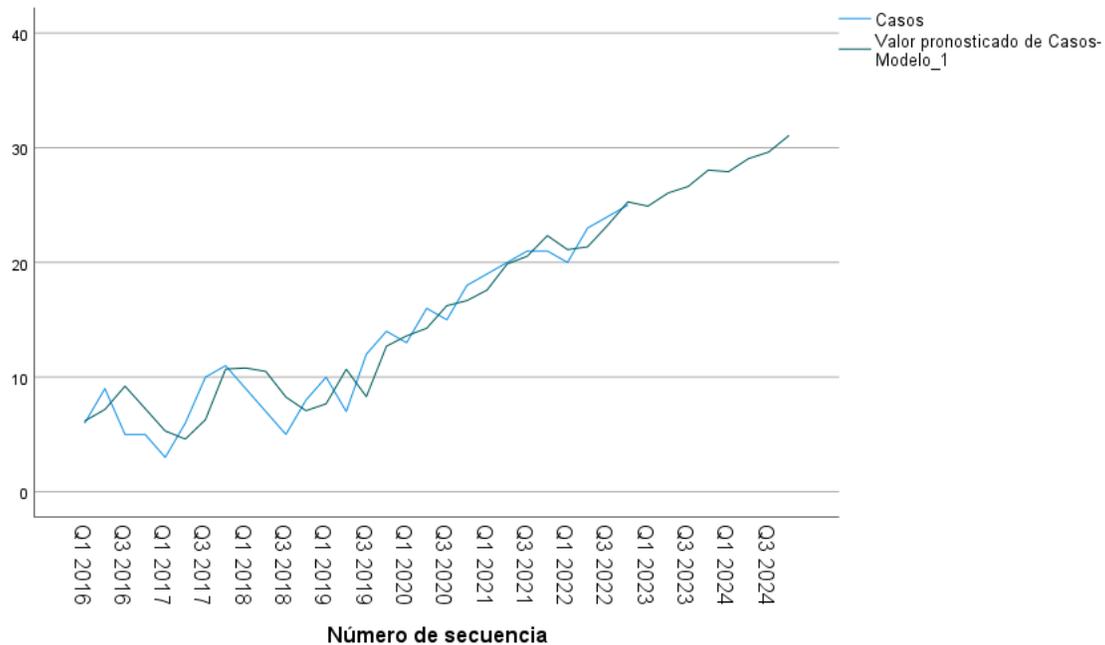


Fig. 2- Comparación de datos reales y pronósticos de casos de enfermedades cardiovasculares para 2024 en pacientes con hipertensión arterial.

La Figura 2 se erige como una herramienta instrumental para la evaluación de la exactitud de las proyecciones generadas por el modelo de series temporales. Este recurso posibilitó una comparación visual entre los datos reales, representados por los casos observados, y las predicciones para el periodo 2023-2024, facilitando así la evaluación de la calidad de las anticipaciones formuladas por el modelo.

La confrontación entre ambas líneas evidenció la capacidad del modelo para capturar de manera adecuada la tendencia de la variable a lo largo del periodo estudiado, y pronosticar con precisión dicha tendencia para el periodo 2023-2024. Según la perspectiva de los autores, no se observaron discrepancias significativas entre los datos reales y las predicciones, indicando la ausencia de desviaciones del modelo o la presencia de factores imprevistos que pudieran impactar la variable en el periodo en cuestión.

La Figura 2 corrobora la afirmación de los autores sobre la utilidad de los modelos de series temporales en la predicción de eventos futuros, específicamente en este contexto, la evolución de la variable en 2024. Este recurso se posiciona como un instrumento esencial para evaluar la eficacia de las predicciones formuladas por el modelo de series temporales, ofreciendo información valiosa sobre la proyección esperada de la variable en el futuro, especialmente en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial.

Discusión

La justificación de este estudio radica en la imperiosa necesidad de abordar de manera efectiva y proactiva el desafío de prevenir y gestionar las enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en la población de Ecuador. La elección de utilizar series temporales se destaca por su capacidad de realizar predicciones a futuro, en contraposición a simplemente predecir valores actuales. En comparación con otros métodos estadísticos, las series temporales destacan por su enfoque en la proyección a largo plazo.

En el marco de esta investigación, es esencial clarificar algunos conceptos fundamentales relacionados con las afecciones cardíacas abordadas. La insuficiencia cardíaca se manifiesta cuando el corazón no puede bombear suficiente sangre para satisfacer las demandas del cuerpo, y se desencadena por diversas condiciones, como enfermedad coronaria, hipertensión y patologías del músculo cardíaco. Un artículo que se publica en 2023 destaca que la salud digital se presenta como un recurso valioso para mejorar la atención de enfermería en pacientes con insuficiencia cardíaca.⁽³⁾

Por otra parte, las arritmias cardíacas se refieren a alteraciones en el ritmo cardíaco normal, manifestándose en latidos irregulares, demasiado rápidos o lentos.

Algunas arritmias pueden ser benignas, pero el síndrome de Brugada y el síndrome de QT largo pueden ser responsables de al menos un tercio de las muertes cardíacas súbitas inexplicadas.⁽⁴⁾

Asimismo, las valvulopatías afectan las válvulas cardíacas, pudiendo conducir a insuficiencia o estenosis valvular. Es relevante subrayar que, a pesar del alto riesgo quirúrgico, apenas se ha documentado el reemplazo transcatéter de la válvula aórtica como una opción viable en receptores de trasplante de corazón con enfermedad de la válvula aórtica.⁽⁵⁾

La enfermedad vascular periférica implica la obstrucción de las arterias fuera del corazón, particularmente en las piernas, y se asocia con dolor, calambres y dificultad para caminar. Su identificación temprana y tratamiento son temas de creciente interés debido al aumento en la tasa de mortalidad vinculada a esta afección.⁽⁶⁾

En cuanto a las enfermedades del miocardio, que afectan directamente al músculo cardíaco, un estudio reciente destaca que la lesión en el miocardio es un hallazgo frecuente en pacientes con COVID-19, prediciendo de manera consistente complicaciones graves como la mortalidad y la necesidad de ventilación mecánica. Además, el NT-proBNP mejora la precisión de la predicción en comparación con biomarcadores convencionales.⁽⁷⁾

Finalmente, aunque el accidente cerebrovascular (ACV) no es una enfermedad cardíaca en sí, está estrechamente relacionado con problemas vasculares que afectan al cerebro. Un estudio de 2023 señala que la evaluación del riesgo de ACV en pacientes con enfermedades inflamatorias intestinales genera debate y no alcanza consenso.⁽⁸⁾

En una investigación reciente sobre la misma temática, que se desarrolla en un Centro de Salud de Tungurahua, Ecuador, se encuentra que el RMSE tiene un valor

de 2,802, y el Ljung-Box Q alcanza 11,541.⁽⁹⁾ Estos resultados indican que el modelo que se utiliza en ese estudio no presenta una falta significativa de independencia en los residuos. Comparando con los resultados del estudio actual en Ecuador, se observa que el RMSE que aquí se obtiene es de 2,226, lo que sugiere una menor magnitud de error en las predicciones en comparación con el estudio que se cita.

A pesar de los avances significativos en el ámbito de la medicación, enfrentar la hipertensión sigue siendo un desafío, y la calidad de la atención primaria presenta variaciones. Las tecnologías digitales y otras intervenciones no farmacológicas emergen como posibles soluciones a este problema, generando expectativas prometedoras. En consecuencia, se propone realizar una revisión detallada de estas medidas.⁽¹⁰⁾

La hipertensión arterial se posiciona como uno de los desafíos médicos más significativos en la actualidad, influenciada por una variedad de factores de riesgo.⁽¹¹⁾ Con la necesidad imperante de reducir la incertidumbre en sus resultados, los autores de este estudio proponen la consideración de la incorporación en futuras investigaciones de elementos relacionados con la borrosidad y la relación de la filosofía y la lógica centrada en la idea de la neutralidad, siguiendo la sugerencia de diversos estudios recientes.^(12,13,14)

Esta inclusión se plantea con el objetivo de elevar la precisión de las predicciones y análisis en el contexto de la hipertensión arterial. Argumentan que la aplicación de estos enfoques innovadores podría aportar una dimensión más completa y precisa a la comprensión de esta compleja condición médica, mejorando así la capacidad predictiva y analítica en investigaciones futuras.

El modelo que se presenta en este estudio tiene un buen ajuste y puede explicar una gran parte de la variabilidad de los datos. Es un buen indicador que los valores de R cuadrado, RMSE, MAE y MAPE sugieran que el modelo está funcionando bien

y haciendo predicciones razonablemente precisas. Es interesante ver que el modelo no incluye predictores externos, solo las series temporales originales. El hecho de que los valores de R cuadrado y RMSE sean consistentes con sugiere que el modelo es estable y funciona como se espera.

Los resultados de la prueba de Ljung-Box también son alentadores, ya que indican una falta de autocorrelación residual en los errores del modelo. Esta independencia de los residuos es importante para garantizar la validez de las predicciones del modelo. En general, el análisis del ajuste del modelo, los residuos y la falta de valores atípicos influyentes sugiere que el modelo podría ser adecuado para predecir enfermedades cardiovasculares en la población del estudio. Los autores establecen las conexiones entre los valores de los parámetros específicos y el comportamiento general del modelo.

Se observa que el parámetro alfa es significativo, lo que indica un nivel estacionario en los datos, mientras que los parámetros gamma y delta no son significativos. Esto sugiere que el modelo se centra en la tendencia general en lugar de centrarse en los patrones estacionales, lo que tiene sentido en función de la descripción de los datos. El modelo de series temporales para estos datos es razonable y se explica su razonamiento con claridad. La posibilidad de comparar visualmente los datos que se observan con las predicciones es una forma útil de evaluar el rendimiento del modelo y determinar la fiabilidad probable de sus predicciones para el período futuro.

El modelo parece haber capturado bien la tendencia de la variable durante el período de estudio, y se espera que esta tendencia continúe en el período 2023-2024, por lo que se considera que las predicciones están razonablemente alineadas con los datos observados, lo que proporciona cierta confianza para hacer predicciones precisas.

Resulta significativa la interpretación de las tendencias similares entre los datos observados y las predicciones como evidencia de la validez del modelo y la ausencia de factores inesperados significativos que afecten a la variable es razonable. Sin embargo, vale la pena ser cauteloso a la hora de sobreinterpretar los resultados o asumir que el modelo siempre funcionará así de bien en las predicciones futuras.

Los autores, en la continuidad de esta línea de investigación, consideran supervisar el rendimiento del modelo a lo largo del tiempo para asegurarse de que sigue proporcionando predicciones precisas. Esto podría incluir la evaluación periódica de las predicciones del modelo con respecto a los nuevos datos y el ajuste del modelo según sea necesario. Además, se considerará la posibilidad de ampliar el estudio para incluir fuentes de datos o variables adicionales que puedan ayudar a mejorar la precisión de las predicciones. Esto podría incluir factores socioeconómicos, ambientales o de otro tipo que podrían influir en la incidencia de enfermedades cardiovasculares en la población.

Igualmente se pretende investigar posibles intervenciones o estrategias para abordar la creciente incidencia de enfermedades cardiovasculares en la población, con base en los conocimientos que se obtienen de este estudio. Esto podría incluir campañas de salud pública, cambios en las políticas o prácticas de atención médica u otras intervenciones que podrían ayudar a reducir la carga de estas enfermedades en la población.

Finalmente, se considerará la posibilidad de replicar el estudio en otras poblaciones o contextos para explorar la generalización de los hallazgos y obtener información adicional sobre los factores que influyen en la incidencia de las enfermedades cardiovasculares.

Limitaciones del estudio

Los autores consideran como una limitación del presente estudio que no se utilizan variables Dummy, como la estacionalidad, lo que podría haber permitido incorporar patrones estacionales en los datos que se analizan. Esta omisión podría afectar la capacidad del modelo para captar variaciones estacionales en la incidencia de enfermedades cardiovasculares, sugiriendo así la necesidad de considerar este factor en investigaciones futuras para lograr una mayor precisión en las predicciones.

Conclusiones

Las conclusiones extraídas de este estudio revelan que la hipertensión arterial, considerada un factor de riesgo clave en las afecciones cardiovasculares, fue abordada mediante un enfoque predictivo utilizando modelos de series temporales. El objetivo principal era prever la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un hospital de Ecuador.

El proceso metodológico incluyó el estudio de individuos diagnosticados con hipertensión arterial, centrándose en la predicción de casos de enfermedades cardiovasculares. El modelo de series temporales desarrollado utilizó variables relacionadas con el tiempo y parámetros específicos, como alfa (nivel), gamma (tendencia) y delta (estacionalidad). La validación del modelo se llevó a cabo mediante el método de suavizado exponencial y el método aditivo de Winters.

Los resultados revelaron un ajuste satisfactorio del modelo, indicado por los altos porcentajes de R cuadrado estacionaria y R cuadrado, en relación a la variabilidad en los datos. Es importante destacar que el modelo prescindió de predictores externos, basándose únicamente en la serie temporal original.

En términos de parámetros específicos, el análisis demostró que el parámetro alfa fue significativo, sugiriendo un nivel estacionario en los datos. Por otro lado, gamma y delta no mostraron significancia, lo que apuntó a la ausencia de tendencia y estacionalidad en la serie temporal.

En conclusión, los resultados indicaron que los parámetros del modelo se alinearon de manera consistente con un proceso estacionario, confirmando que dicho modelo era apropiado para modelar la ocurrencia de enfermedades cardiovasculares en la población estudiada. Este enfoque predictivo aportó una perspectiva valiosa para comprender y anticipar la evolución de estas afecciones en pacientes con hipertensión arterial en el contexto clínico de Ecuador.

Referencias bibliográficas

1. Alfonso F, de la Torre Hernández JM, Ibáñez B, Sabaté M, Pan M, Gulati R, et al. Rationale and design of the BA-SCAD (Beta-blockers and Antiplatelet agents in patients with Spontaneous Coronary Artery Dissection) randomized clinical trial. *Rev Esp Cardiol (Engels Ed)*. 2022 Jun;75(6):515-522. <https://10.1016/j.rec.2021.08.003>.
2. Ruiz-Alejos A, Carrillo-Larco RM, Bernabé-Ortiz A. Prevalence and incidence of arterial hypertension in Peru: a systematic review and meta-analysis. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2021 Oct-Dec;38(4):521-529. <https://10.17843/rpmesp.2021.384.8502>.
3. Camino Ortega E, Baroja Gil de Gómez A, González Gamarra A, Cuevas-Budhart MA, García Klepzig JL, Gómez Del Pulgar García-Madrid M. Educación terapéutica en insuficiencia cardiaca mediante e-Salud: revisión sistemática. *Aten Primaria*. 2023 Aug 26;55(11):102734. <https://10.1016/j.aprim.2023.102734>.

4. Oliveira ACG, Neves ILI, Sacilotto L, Olivetti NQS, Santos-Paul MAD, Montano TCP, et al. Is It Feasible for Patients With Cardiac Channelopathies to Undergo Routine Dental Care? Experience From a Single-Center Study. *J Am Heart Assoc.* 2019 Aug 6;8(15):e012361. <https://10.1161/JAHA.119.012361>.
5. Shoar S, Chaudhary A, Bansro V, Asadi MS. Transcatheter aortic valve replacement among heart transplant recipients with donor aortic valve diseases: a systematic review of the literature. *Am J Cardiovasc Dis.* 2023 Aug 15;13(4):235-246.
6. Rojas ÁG, Martínez AV, Benítez PR, Estébanez SA, Moreno EV, Barrios AA, et al. Peripheral arterial disease in hemodialysis patients 10 years later. *Nefrología (Engl Ed).* 2023 May-Jun;43(3):302-308. <https://10.1016/j.nefro.2022.01.014>.
7. Calvo-Fernández A, Izquierdo A, Subirana I, Farré N, Vila J, Durán X, et al. Markers of myocardial injury in the prediction of short-term COVID-19 prognosis. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed).* 2021 Jul;74(7):576-583. <https://10.1016/j.rec.2020.09.011>.
8. Wan J, Wang X, Zhang Y, Yin Y, Wang Z, Che X, et al. Incidence and Disease-Related Risk Factors for Cerebrovascular Accidents in Patients with Inflammatory Bowel Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dig Dis.* 2023 Oct 5. <https://10.1111/1751-2980.13232>.
9. Balarezo-García M, Miranda-Solis E, Espinoza-Neri L, Betancourt-Rubio E. Previsión de enfermedades cardiovasculares mediante modelo de series temporales en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas [Internet].* 2023 [citado 18 Ene 2024]; 42 (2) Disponible en: <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/3048>
10. Althuwaikh S, Albassam I, Alrashed A, Alhaji F, Al-Adawi A, Sindi MA, et al. Optimizing Antihypertensive Management for Hypertensive Patients With Secondary Complications: A Systematic Review and Meta-Analysis in Primary Care Settings. *Cureus.* 2023 Sep 23;15(9):e45834. <https://10.7759/cureus.45834>.

11. Martínez-Cabrera M, Gort-Hernandez M. Factores de riesgo en pacientes hipertensos. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río [revista en Internet]*. 2015 [citado 2024 Ene 18]; 19(5):[aprox. 9 p.]. Disponible en: <https://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/2360>
12. Jaramillo MN, Chuga ZN, Hernández CP, Lits RT. Análisis multicriterio en el ámbito sanitario: selección del sistema de triaje más adecuado para las unidades de atención de urgencias en Ecuador. *Rev Investig Oper*. 2022;43(3):316-324.
13. González Chico MG, Hernández Bandera N, Blacksmith Loop S, Laica Sailema N. Evaluación de la Relevancia de la Atención Médica Intercultural. Muestreo Neutrosófico. *Neutrosophic Sets and Systems*. 2021;44(1):46. Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol44/iss1/46
14. Smarandache F, Estupiñán Ricardo J, González Caballero E, Leyva Vázquez MY, Batista Hernández N. Delphi method for evaluating scientific research proposals in a neutrosophic environment. *Neutrosophic Sets and Systems*. 2020;34(1). Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol34/iss1/26