

Artículo original

## **Previsión de enfermedades cardiovasculares mediante modelo de series temporales en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial**

Forecasting of cardiovascular disease using time series modeling in patients diagnosed with hypertension

María Gabriela Balarezo García<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2049-4306>

Edwin Miranda Solis<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1625-0138>

Lina Espinoza Neri<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6498-473X>

Evelyn Betancourt Rubio<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0004-6767-6168>

<sup>1</sup> Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES Ambato). Ecuador

<sup>2</sup> Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES) . Ecuador

<sup>3</sup>Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES Santo Domingo). Ecuador

utor para la correspondencia: [ua.mariabalarezo@uniandes.edu.ec](mailto:ua.mariabalarezo@uniandes.edu.ec)

### **RESUMEN**

**Introducción:** Los modelos de series temporales utilizan patrones y tendencias observados en los datos históricos para estimar y predecir valores futuros.

**Objetivo:** Prever enfermedades cardiovasculares mediante modelo de series temporales en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador.

**Métodos:** La población de estudio estuvo conformada por pacientes diagnosticados con hipertensión arterial de un Centro de Salud de Tungurahua, Ecuador. La variable endógena fue los casos de enfermedades cardiovasculares y las variables exógenas relacionadas con el tiempo y los parámetros del modelo de series temporales (alfa, gamma y delta) influyeron en las predicciones. Se creó un modelo de series temporales, cuya validación utilizó la prueba Ljung-Box y otras pruebas de bondad de ajuste para evaluar la calidad del modelo y la independencia de los residuos.

**Resultados:** El *Root Mean Square Error* (RMSE) tuvo un valor de 2,802 y el *Ljung-Box Q* de 11,541 lo cual demostró que el modelo no presentó una falta significativa de independencia en los residuos. Un valor *t* de 2,998 y un P-valor de 0,007 para el parámetro alfa indicaron que era estadísticamente significativo, lo que significó que el componente de nivel fue relevante en el modelo.

**Conclusiones:** Mediante el uso de modelos de series temporales, fue posible realizar predicciones precisas de la incidencia de enfermedades cardiovasculares en los pacientes diagnosticados con hipertensión arterial, las cuales ofrecieron valiosa información para la planificación de intervenciones preventivas y el manejo clínico de esta población.

**Palabras clave:** modelos de series temporales; enfermedades cardiovasculares; hipertensión arterial; prueba Ljung-Box; Root Mean Square Error.

## ABSTRACT

**Introduction:** Time series models use patterns and trends observed in historical data to estimate and predict future values.

**Objective:** To predict cardiovascular disease using a time series model in patients diagnosed with arterial hypertension in a health center in the province of Tungurahua, Ecuador.

**Methods:** The study population consisted of patients diagnosed with arterial hypertension at a health center in Tungurahua, Ecuador. The endogenous variable was the cases of cardiovascular disease and the exogenous variables related to time and the parameters of the time series model (alpha, gamma and delta) influenced the predictions. A time series model was created and its validation used the Ljung-Box test and other goodness-of-fit tests to assess the quality of the model and the independence of the residuals.

**Results:** The Root Mean Square Error (RMSE) had a value of 2.802 and the Ljung-Box Q of 11.541 which showed that the model did not present a significant lack of independence in the residuals. A t-value of 2.998 and a P-value of 0.007 for the alpha parameter indicated that it was statistically significant, which meant that the level component was relevant in the model.

**Conclusions:** By using time series models, it was possible to make accurate predictions of the incidence of cardiovascular disease in patients diagnosed with arterial hypertension, which provided valuable information for the planning of preventive interventions and the clinical management of this population.

**Keywords:** time series models; cardiovascular disease; arterial hypertension; Ljung-Box test; Root Mean Square Error.

Recibido: 02/09/2023

Aceptado: 09/10/2023

## Introducción

La línea de investigación de este estudio se encuentra en el campo de la epidemiología y la salud pública, específicamente en la prevención y predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial. El estudio utiliza datos reales de casos recopilados trimestralmente durante un período de tiempo específico (de 2017 a 2022) y se basa en modelos de series temporales para prever los casos que podrían ocurrir en cada trimestre del año 2023.

El campo de acción abarca la atención médica y la toma de decisiones en la gestión de la salud de un Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador, con el propósito de mejorar la prevención y el tratamiento de enfermedades cardiovasculares en pacientes hipertensos.

La situación problemática en este estudio es la alta prevalencia de enfermedades cardiovasculares en pacientes que están diagnosticados con hipertensión arterial, que es un factor de riesgo significativo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, como ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. Por lo tanto, es crucial comprender y prever cómo estas enfermedades evolucionarán en esta población específica.

La pregunta de investigación que se busca responder es la siguiente: ¿Es posible prever con precisión la incidencia de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial utilizando modelos de series temporales? Esta pregunta de investigación aborda directamente la preocupación de prever las enfermedades cardiovasculares en la población de interés y establece el enfoque del estudio en

la utilización de modelos de series temporales y datos históricos para lograr esta predicción.

De acuerdo con el marco conceptual que se emplea, los modelos de series temporales son herramientas estadísticas y matemáticas que se utilizan para analizar y pronosticar datos que varían con el tiempo, y emplean patrones y tendencias observados en los datos históricos para estimar y predecir valores futuros en la serie temporal.

Por su parte, las enfermedades cardiovasculares, también conocidas como enfermedades del corazón, son un grupo de trastornos que afectan al corazón y los vasos sanguíneos, incluyendo las arterias y las venas. Estas enfermedades 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, un artículo que se publica en el año 2023 sostiene que enfocarse en la gestión del peso, dejar de fumar y aplicar un tratamiento intensivo para controlar los niveles de lípidos en adultos jóvenes puede disminuir la probabilidad de desarrollar enfermedades coronarias prematuras.<sup>(1)</sup>

A pesar de los notables progresos en la medicación, la gestión de la hipertensión continúa siendo un reto, y la calidad de la atención médica primaria es variable. Las tecnologías digitales y otras intervenciones que no involucran medicamentos ofrecen esperanzas en la solución de este problema. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo una revisión exhaustiva de estas medidas.<sup>(2)</sup>

En el ámbito de las enfermedades cardiovasculares, investigaciones previas enfatizan que la Fibrilación Auricular (FA) es objeto de un estudio profundo durante el último siglo, lo que aporta valiosas conclusiones. La prevalencia de la FA muestra variaciones, desde un 2 % en la población general hasta un 10-12 % en

personas de 80 años o más, lo que la convierte en la arritmia más frecuente entre los seres humanos, y su incidencia aumenta con la edad, según los datos de la Carga Global de Enfermedad.<sup>(3)</sup> Las estimaciones proyectan que el número de individuos afectados por la FA alcanzará los 14 millones en Europa para el año 2060 y los 16 millones en los Estados Unidos para el año 2050.<sup>(4)</sup>

Precisamente, la FA y la hipertensión arterial son dos condiciones cardiovasculares de gran relevancia, y la relación entre ambas es conocida. La FA puede ser una complicación de la hipertensión arterial, y su detección temprana es fundamental para la prevención de eventos cardiovasculares graves. Por lo tanto, al emplear modelos de series temporales para prever enfermedades cardiovasculares en pacientes hipertensos, como se hace en este estudio contribuye a la comprensión y la prevención de condiciones como la FA, que son parte de la carga global de enfermedades cardiovasculares.

En este contexto, el objetivo del estudio es prever enfermedades cardiovasculares mediante modelo de series temporales en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador.

## 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 2017-2022 y aplicó modelos estadísticos para realizar predicciones a futuro (2023). La investigación se enfocó en un entorno de atención médica con un propósito práctico de mejora en la toma de decisiones clínicas y la gestión de la salud cardiovascular de la población estudiada.

## Población de estudio

La población de estudio estuvo conformada por pacientes diagnosticados con hipertensión arterial que eran atendidos en un Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador, y cuyos datos de casos fueron registrados trimestralmente durante el período de 2017 a 2022.

Los criterios que determinaron quiénes eran elegibles para formar parte de la población de estudio incluyeron:

- Pacientes con diagnóstico confirmado de hipertensión arterial.
- Pacientes que habían recibido atención médica en el Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador.
- Pacientes cuyos datos de casos de hipertensión arterial estaban registrados trimestralmente en el período de estudio (2017-2022).
- Pacientes cuyos datos estaban completos, o sea, que no tenían registros faltantes en los trimestres evaluados.

No fueron elegibles para formar parte de la población de estudio los pacientes que no dieron su consentimiento informado para participar en la investigación, lo cual fue un criterio ético considerado, conjuntamente con otros que emanan de la conferencia de Helsinki y sus posteriores actualizaciones respecto a las investigaciones con seres humanos, tal como se indica en otros estudios médicos (5).

## Variables de estudio

- **Casos de enfermedades cardiovasculares:** esta variable representó el número de casos de enfermedades cardiovasculares diagnosticados en pacientes con hipertensión arterial en el período 2017-2022. Fue la variable que se buscó prever en el estudio.

- **Tiempo:** representó la dimensión temporal de la serie de datos. Se desglosó en trimestres, lo que permitió observar cómo varió la incidencia de enfermedades cardiovasculares a lo largo de los años.
- **Variables de Modelo:**
  - ✓ **Alfa (Nivel):** este parámetro de suavizado exponencial ajustó el componente de nivel en el modelo y controló la influencia de las observaciones pasadas en el nivel actual.
  - ✓ **Gamma (Tendencia):** controló la tasa de suavizado para el componente de tendencia, si era relevante en el modelo.
  - ✓ **Delta (Estacionalidad):** controla la tasa de suavizado para el componente de estacionalidad, si era relevante en el modelo.

Los autores no emplearon variables Dummy, como por ejemplo la estacionalidad, la cual se podría utilizar en otros estudios para modelar patrones estacionales en los datos.

En resumen, las variables en este estudio se dividieron en la variable endógena (casos de enfermedades cardiovasculares) que se buscó prever, y las variables exógenas relacionadas con el tiempo y los parámetros del modelo de series temporales (alfa, gamma y delta) que influyeron en las predicciones.

### **Procedimiento de estudio**

El procedimiento empleado en este estudio, puede resumirse en los pasos siguientes:

1. **Recopilación de datos:** obtención de datos históricos de casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial, desglosados trimestralmente, desde el año 2017 hasta el 2022.
2. **Análisis exploratorio de datos:** realización de un análisis exploratorio para comprender la distribución y patrones de los datos, identificar valores

atípicos, y evaluar tendencias y estacionalidades.

3. **Selección del Modelo de Series Temporales:** elección de un modelo de series temporales apropiado para la predicción, en este caso el suavizado exponencial (método aditivo de Winters), y la determinación de los parámetros del modelo (alfa, gamma, delta) a través de pruebas y ajustes.
4. **Descomposición de la Serie Temporal:** descomposición de la serie temporal en componentes de nivel, tendencia y estacionalidad, si se considera relevante.
5. **Entrenamiento del Modelo:** utilización de los datos históricos (en este caso 2017-2022) para entrenar el modelo de series temporales, ajustando los parámetros del modelo y estimando las tasas de suavizado.
6. **Validación del Modelo:** validación del modelo utilizando técnicas como la prueba Ljung-Box y otras pruebas de bondad de ajuste para evaluar la calidad del modelo y la independencia de los residuos.
7. **Generación de predicciones:** utilización del modelo entrenado para realizar predicciones trimestrales de casos de enfermedades cardiovasculares para el año 2023.
8. **Evaluación de la precisión de las predicciones:** comparación de las predicciones del modelo para el año 2023 con los datos reales, calculando medidas de error como el RMSE, MAPE y MAE para evaluar la precisión del modelo.
9. **Análisis e interpretación de resultados:** interpretación de los resultados para comprender cómo se espera que evolucione la variable en el futuro y si el modelo es adecuado para la predicción.
10. **Presentación de resultados:** comunicación de los hallazgos a través de textos, figuras y tablas.

## Resultados

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis de ajuste del modelo de series temporales realizado utilizando el software SPSS (versión 27). Este análisis tiene como objetivo evaluar la calidad y precisión del modelo en términos de su capacidad para prever las enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en un Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador. Los estadísticos de ajuste proporcionados en la tabla ofrecen una visión detallada de qué tan bien se ajusta el modelo a los datos observados y cuán confiables son las predicciones realizadas.

De acuerdo con la Tabla 1, sus principales hallazgos fueron los siguientes:

- **R cuadrado estacionaria:** este estadístico midió la proporción de la variabilidad en los datos que es explicada por el modelo de series temporales. Un valor de 0,713 indicó que el modelo fue capaz de explicar aproximadamente el 71,3 % de la variabilidad en los datos observados.
- **R cuadrado:** similar al R cuadrado estacionaria, este valor representó la proporción de la variabilidad en los datos explicada por el modelo, pero sin tener en cuenta la estacionalidad. El valor de 0,782 indicó que el modelo explicó aproximadamente el 78,2 % de la variabilidad total. RMSE sirve para comparar la capacidad predictiva de dos modelos, independientemente del método que se haya utilizado y mientras más pequeño sea es mejor.
- **RMSE (*Root Mean Square Error*):** el RMSE es una medida de la precisión del modelo, representando la diferencia promedio entre las predicciones del modelo y los valores observados. Un valor de 2,802 sugirió que, en promedio, las predicciones del modelo se desviaron en aproximadamente 2,802 unidades de las observaciones reales.
- **MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*):** el MAPE es otra medida de precisión, expresada como un porcentaje. En este caso, un MAPE de 32,627

% indicó que, en promedio, las predicciones del modelo tuvieron un error absoluto promedio del 32,627 % en comparación con los valores reales.

- **MaxAPE (*Maximum Absolute Percentage Error*):** este estadístico representó el error porcentual máximo entre las predicciones del modelo y los valores observados. Un valor de 245,196 % indicó que el peor error absoluto en las predicciones fue del 245,196 %.

**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	0,713	.	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713
R cuadrado	0,782	.	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782	0,782
RMSE	2,802	.	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802
MAPE	32,627	.	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627	32,627
MaxAPE	245,196	.	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196	245,196
MAE	2,089	.	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089	2,089
MaxAE	5,623	.	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623	5,623
BIC normalizado	2,458	.	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458	2,458

- **MAE (Mean Absolute Error):** el MAE midió la magnitud promedio de los errores en las predicciones del modelo en términos absolutos. Un valor de 2,089 indicó que, en promedio, las predicciones se desviaron en 2,089 unidades de las observaciones reales.
- **MaxAE (Maximum Absolute Error):** este estadístico representó el error absoluto máximo entre las predicciones del modelo y los valores observados. Un valor de 5,623 indicó que el mayor error absoluto en las predicciones fue de 5,623 unidades.
- **BIC normalizado:** el BIC (Criterio de Información Bayesiana) normalizado es una medida de la calidad del modelo, donde un valor menor sugiere un mejor

ajuste. Un valor de 2,458 indicó el valor del BIC normalizado obtenido en este análisis.

Estos estadísticos proporcionaron una evaluación completa del desempeño del modelo de series temporales en la predicción de enfermedades cardiovasculares en los pacientes estudiados con hipertensión arterial. Un valor más alto en los estadísticos R cuadrado indica un mejor ajuste, mientras que un RMSE y MAPE más bajos indican una mayor precisión en las predicciones del modelo. Es importante considerar estos resultados en la interpretación de la capacidad predictiva del modelo.

Por su parte, la Tabla 2 presenta estadísticas relacionadas con el modelo utilizado en el estudio y proporciona información sobre el modelo específico denominado "Casos", incluyendo el número de predictores utilizados en el modelo, estadísticos de ajuste del modelo y pruebas de bondad de ajuste.

**Tabla 2-** Estadísticos del modelo de predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial (Modelo "Casos")

Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
	R cuadrado estacionaria	RMSE	Estadísticos	DF	Sig.	
0	0,713	2,802	11,541	15	0,713	0

De acuerdo con la Tabla 2, sus principales hallazgos fueron los siguientes:

- **Número de predictores:** en este modelo, se utilizaron 0 predictores. Esto significó que el modelo se basó únicamente en la información histórica de las enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial, sin incluir ninguna variable predictora adicional.

- **R cuadrado estacionaria:** el R cuadrado estacionaria indicó la proporción de la variabilidad en los datos que fue explicada por el modelo en términos de estacionalidad. Un valor de 0,713 indicó que el modelo explicó aproximadamente el 71,3 % de la variabilidad estacional en los datos.
- **RMSE:** un valor de 2,802 indicó que, en promedio, las predicciones del modelo se desviaron en aproximadamente 2,802 unidades de las observaciones reales.
- **Estadísticos de ajuste:** se evidenció el valor del estadístico *Ljung-Box Q* con 18 grados de libertad. El *Ljung-Box Q* es una prueba de independencia residual que evaluó si los residuos del modelo eran independientes en el tiempo. Un valor de 11,541 y 15 grados de libertad demostró que el modelo no presentó una falta significativa de independencia en los residuos, lo que es deseable en los modelos de series temporales.
- **Número de valores atípicos:** en este modelo, se reportó que no hubo valores atípicos significativos, ya que su valor fue 0.

En resumen, la Tabla 2 proporciona información específica sobre el modelo "Casos", incluyendo sus características, capacidad de ajuste, independencia de los residuos y la presencia de valores atípicos. Estos resultados fueron cruciales para evaluar la idoneidad del modelo en la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial.

La Tabla 3 presenta los parámetros del modelo de suavizado exponencial aplicado en el estudio. Estos parámetros fueron esenciales para comprender cómo se realiza la suavización y la predicción en el modelo "Casos".

**Tabla 3-** Parámetros del modelo de suavizado exponencial para la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial (Modelo "Casos")

Parámetros del modelo de suavizado exponencial					
Modelo		Estimación	SE	t	Sig.
Ninguna transformación	Alfa (nivel)	0,604	0,201	2,998	0,007
	Gamma (tendencia)	6,250E-9	0,040	1,569E-7	1,000
	Delta (estacionalidad)	1,058E-6	0,269	3,930E-6	1,000

De acuerdo con la Tabla 3, sus principales hallazgos fueron los siguientes:

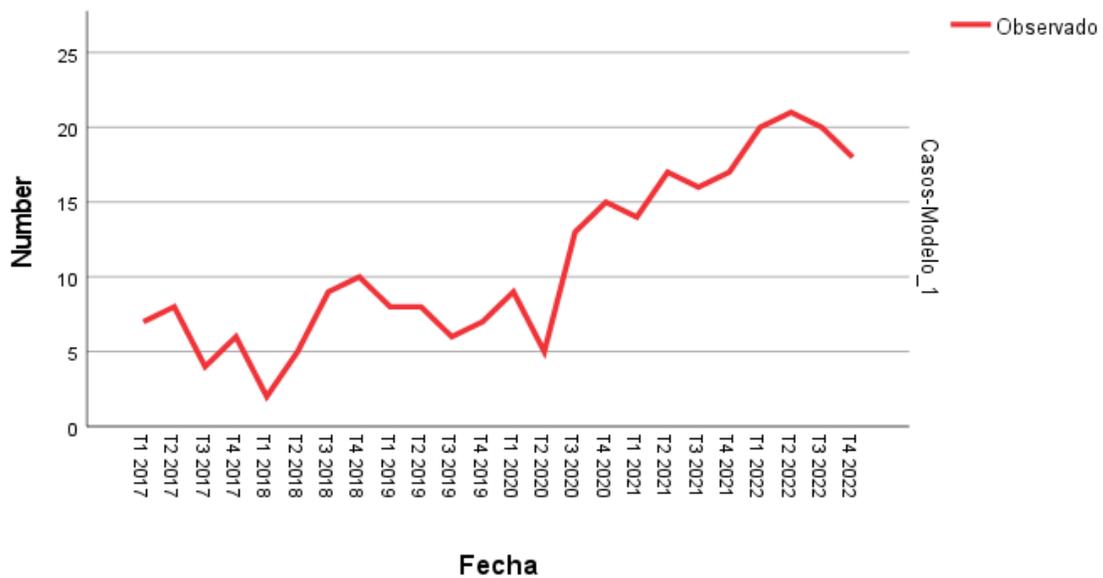
- **Estimación:** los resultados se presentan para tres componentes del modelo de suavizado exponencial: alfa (nivel), gamma (tendencia) y delta (estacionalidad).
  - ✓ **Alfa (nivel):** el parámetro alfa se refiere a la tasa de suavizado para el componente de nivel en el modelo. Un valor de 0,604 indicó que este componente del modelo utilizó una tasa de suavizado de alrededor del 60,4%.
  - ✓ **Gamma (tendencia):** el parámetro gamma se refirió a la tasa de suavizado para el componente de tendencia en el modelo. En este caso, el valor fue extremadamente pequeño (6,250E-9), lo que sugirió que la tendencia en los datos no estaba siendo modelada de manera significativa en este modelo de suavizado exponencial.
  - ✓ **Delta (estacionalidad):** el parámetro delta se refirió a la tasa de suavizado para el componente de estacionalidad en el modelo. Al igual que con el parámetro gamma, el valor de delta (1,058E-6) fue muy pequeño, lo que

indicó que la estacionalidad no estaba siendo modelada de manera significativa en este modelo.

- **SE (Error Estándar):** el error estándar proporcionó una medida de la variabilidad de las estimaciones de los parámetros. Cuanto menor sea el error estándar, mayor será la precisión de la estimación. En este caso, se proporcionaron los errores estándar para cada uno de los parámetros.
- **t:** el valor t fue una estadística que se utilizó para evaluar la significancia estadística de los parámetros. Valores t mayores indican una mayor significancia. Un valor t de 2,998 y un valor de p (Sig.) de 0,007 para el parámetro alfa indicaron que era estadísticamente significativo, lo que significó que el componente de nivel fue relevante en el modelo.

En resumen, la Tabla 3 presenta los parámetros del modelo de suavizado exponencial utilizado en el análisis, mostrando cómo se ajusta el modelo a los datos y cómo se aplican las tasas de suavizado para los componentes clave del modelo. La interpretación de estos parámetros fue esencial para comprender cómo se realizó la predicción en el contexto del estudio.

La Figura 1 muestra una representación gráfica de los datos de casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial durante el período de 2017 a 2022, desglosados por trimestres. En el eje Y, se refleja el número de casos, y en el eje X, se representa el tiempo.



**Fig. 1-** Distribución temporal de casos de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial (2017-2022).

La Figura 1 proporciona una representación visual de la evolución de los casos de enfermedades cardiovasculares a lo largo del tiempo en los pacientes. Muestra la tendencia temporal observable en la incidencia de enfermedades cardiovasculares en esta población durante el período de estudio, en este caso se observa que los casos aumentaron con el tiempo, reflejando picos notables en los últimos meses. La Figura 2 muestra dos líneas, una que representa los datos reales (casos) para el período de 2017 a 2022 y otra que muestra los pronósticos para el año 2023 después de haber descompuesto la serie temporal. Esta figura se utiliza para observar y comparar cómo se comportan los datos reales y las predicciones para el futuro.



**Fig. 2-** Comparación de datos reales y pronósticos de casos de enfermedades cardiovasculares para 2023 en pacientes con hipertensión arterial.

La Figura 2 es una herramienta valiosa para evaluar la precisión de las predicciones realizadas por el modelo de series temporales, pues permite comparar visualmente los datos reales (casos observados) con las predicciones para el año 2023. Esto ayudó a determinar qué tan precisas son las previsiones del modelo.

La comparación entre las dos líneas reveló que el modelo había capturado adecuadamente la tendencia de la variable en el período de estudio y que esa tendencia se mantendrá en 2023. A criterio de los autores, no se aprecian diferencias significativas entre los datos reales y las predicciones, por lo que no se evidenció desviaciones del modelo o factores inesperados que afecten la variable en 2023.

La Figura 2 respalda la afirmación de los autores sobre la utilidad de las series temporales en la previsión de eventos futuros, en este caso, el comportamiento de la variable en 2023 y se consideró una herramienta importante para evaluar la calidad de las predicciones realizadas por el modelo de series temporales y

proporcionar información valiosa sobre cómo se espera que evolucione la variable en el futuro en los pacientes con hipertensión arterial.

## Discusión

Los autores consideran que algunas de las enfermedades cardiovasculares más comunes incluyen:

- **Enfermedad coronaria:** también conocida como enfermedad arterial coronaria o cardiopatía coronaria, que es causada por la acumulación de placa en las arterias coronarias, lo que reduce el flujo sanguíneo al corazón. Esto puede llevar a angina (dolor en el pecho) o un ataque cardíaco. Se puede agregar que la disección coronaria espontánea (DCE) es una causa poco común de síndrome coronario agudo. La mayoría de los pacientes se tratan de manera empírica con medicamentos betabloqueantes y agentes antiagregantes plaquetarios.<sup>(6)</sup>
- **Hipertensión arterial:** es una condición en la que la presión arterial en las arterias es crónicamente alta. La hipertensión no controlada puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y otros problemas de salud. En este contexto, es importante destacar que un estudio del año 2021 señala que aproximadamente el 20 % de la población peruana padece de hipertensión, y se registran alrededor de cuatro nuevos casos por cada 100 personas al año. Además, es relevante destacar que únicamente la mitad de las personas con hipertensión han sido diagnosticadas previamente.<sup>(7)</sup>
- **Insuficiencia cardíaca:** se produce cuando el corazón no puede bombear suficiente sangre para satisfacer las necesidades del cuerpo. Puede ser causada por diversas afecciones, como enfermedad coronaria, hipertensión,

enfermedades del músculo cardíaco, entre otras. En relación a esto, un artículo publicado en 2023 señala que la salud digital representa un recurso valioso para ampliar y mejorar la atención de enfermería en pacientes que padecen insuficiencia cardíaca.<sup>(8)</sup>

- **Arritmias cardíacas:** son alteraciones en el ritmo cardíaco normal. Pueden manifestarse como latidos irregulares, demasiado rápidos o demasiado lentos. Algunas arritmias pueden ser benignas, pero otras pueden ser peligrosas y requerir tratamiento. Es importante destacar que el síndrome de Brugada (SB) y el síndrome de QT largo (SQTL) pueden ser responsables de al menos el 33 % de las muertes cardíacas súbitas cuya causa no se puede explicar.<sup>(9)</sup>
- **Valvulopatías:** estas son enfermedades de las válvulas cardíacas que pueden llevar a una insuficiencia valvular o una estenosis valvular. Las válvulas cardíacas son responsables de garantizar el flujo sanguíneo adecuado dentro y fuera del corazón. Es relevante agregar que investigaciones recientes demuestran que, a pesar de que los receptores de trasplante de corazón (THx) que desarrollan enfermedades de la válvula aórtica (AVD) enfrentan un alto riesgo quirúrgico, apenas se ha documentado el reemplazo transcaténeo de la válvula aórtica (TAVR) como una opción viable en esta población de pacientes.<sup>(10)</sup>
- **Enfermedad Vascul Periférica:** implica la obstrucción de las arterias fuera del corazón, generalmente en las piernas. Puede causar dolor, calambres y dificultad para caminar, y aumenta el riesgo de problemas cardiovasculares más graves. La enfermedad arterial periférica (EAP) está vinculada a un aumento en la tasa de mortalidad, y se observa un creciente interés en la identificación temprana y el tratamiento de esta afección.<sup>(11)</sup>
- **Enfermedades del miocardio:** estas son enfermedades que afectan el

músculo cardíaco en sí, como la miocardiopatía, que debilita el corazón, o la cardiomiopatía hipertrófica, que causa un engrosamiento del músculo cardíaco. Un estudio que se publica en 2021 señala que la lesión en el miocardio que se detecta al momento del ingreso es un hallazgo frecuente en pacientes con COVID-19. Esta lesión predice de manera consistente tanto la mortalidad como la necesidad de ventilación mecánica, que son las complicaciones más graves asociadas a la enfermedad. Además, el NT-proBNP (Péptido natriurético tipo B N-terminal, una proteína utilizada para evaluar la función cardíaca y la insuficiencia cardíaca) mejora la exactitud de la predicción en comparación con la TnT-us o Troponina T ultrasensible, que es una proteína que se utiliza como biomarcador de lesión cardíaca.<sup>(12)</sup>

- **Accidente Cerebrovascular (ACV):** aunque no es una enfermedad del corazón en sí, los ACV son a menudo relacionados con enfermedades cardiovasculares porque implican problemas en los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro. Pueden tener como causas coágulos sanguíneos o rupturas de vasos sanguíneos en el cerebro. En este contexto, una investigación que se publica en 2023 señala que la evaluación del riesgo de ACV en pacientes con enfermedades inflamatorias intestinales, como la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn, genera debate y no llega a un consenso.<sup>(13)</sup>

La prevención y el manejo de las enfermedades cardiovasculares suelen implicar cambios en el estilo de vida, como una dieta saludable, ejercicio regular, control de la presión arterial y el colesterol, evitar el tabaco y el alcohol en exceso, y, en algunos casos, medicamentos o procedimientos médicos. La detección temprana y el tratamiento adecuado son fundamentales para reducir el riesgo de complicaciones graves asociadas con estas enfermedades.

Los autores consideran que el presente estudio se justifica por la necesidad de

abordar de manera efectiva y proactiva el desafío de prevenir y gestionar las enfermedades cardiovasculares en pacientes diagnosticados con hipertensión arterial en el Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador. Esta justificación se basa en los fundamentos siguientes:

- **Relevancia de la salud pública:** las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en todo el mundo, y la hipertensión arterial es un factor de riesgo clave para su desarrollo. Dado que la salud pública es una prioridad, es esencial comprender y prever el comportamiento de estas enfermedades.
- **Importancia de la prevención:** la prevención desempeña un papel crucial en la reducción de la carga de enfermedades cardiovasculares. Identificar patrones y tendencias en la incidencia de estas enfermedades permite tomar medidas preventivas anticipadas, como intervenciones médicas, cambios en el estilo de vida y estrategias de atención médica más efectivas.
- **Efectividad de las series temporales:** el uso de modelos de series temporales en la predicción y previsión de eventos de salud demuestra ser eficaz en la toma de decisiones clínicas y la gestión de la atención médica. Los autores consideran que esta metodología es adecuada para el contexto del estudio y puede contribuir significativamente a mejorar la atención y el pronóstico de los pacientes con hipertensión arterial.
- **Contribución a la literatura científica:** este estudio proporcionará datos empíricos y resultados concretos que pueden contribuir a la literatura científica en el campo de la epidemiología cardiovascular y la aplicación de modelos de series temporales en la atención médica. Los hallazgos podrían servir de base para futuras investigaciones y estrategias de salud.

El modelo de series temporales que se emplea en este estudio implica el análisis de datos cronológicos con el propósito de desarrollar modelos predictivos. Las

series temporales consisten en secuencias de datos ordenados temporalmente que se utilizan para anticipar valores futuros. Este tipo de modelo generalmente integra componentes de tendencia, estacionalidad y residuo en un enfoque predictivo. Los coeficientes Alfa, Gama y Delta desempeñan un papel fundamental en la formulación del modelo predictivo. La evaluación de la capacidad predictiva del modelo se basa en el cálculo del error cuadrático medio, un indicador esencial.

Este proceso incluye la generación de valores pronosticados y la comparación con los residuos para evaluar el desempeño del modelo. Lo significativo de utilizar series temporales radica en la capacidad de realizar predicciones a futuro, en contraposición a simplemente predecir valores actuales. En comparación con otros métodos estadísticos, las series temporales se centran en la proyección a largo plazo.

En vista de la necesidad de mitigar la incertidumbre en los resultados, los autores de este estudio sugieren considerar la incorporación de elementos relacionados con la borrosidad y la Neutrosofía en futuras investigaciones, como se sugieren diversos estudios recientes.<sup>(14,15,16)</sup> Esto permitiría mejorar la precisión de las predicciones y análisis que se realicen.

## Conclusiones

Con base en los resultados y análisis de este estudio, se concluye que la aplicación de modelos de series temporales se revela como una herramienta efectiva para prever la incidencia de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial en el Centro de Salud de la provincia de Tungurahua, Ecuador.

La precisión del modelo, indicada por el *Root Mean Square Error* (RMSE) y la prueba *Ljung-Box*, sugiere que las predicciones obtenidas son confiables y se ajustan adecuadamente a los datos observados.

El componente de nivel (alfa) demostró ser estadísticamente significativo en el modelo, lo que resalta la importancia de los factores relacionados con el nivel en la predicción de enfermedades cardiovasculares en esta población.

Estas predicciones ofrecen información valiosa para la planificación de intervenciones preventivas y el manejo clínico de pacientes con hipertensión arterial, lo que contribuye a la mejora de la atención médica y la salud cardiovascular en la región.

En resumen, este estudio subraya la utilidad de los modelos de series temporales como herramienta para la predicción de enfermedades cardiovasculares en pacientes con hipertensión arterial, destacando su aplicabilidad en la toma de decisiones clínicas y en la gestión de la salud de esta población.

## Referencias bibliográficas

1. Khoja A, Andraweera PH, Lassi ZS, Ali A, Zheng M, Pathirana MM, Aldridge E, Wittwer MR, Chaudhuri DD, Tavella R, Arstall MA. Risk Factors for Early Versus Late-Onset Coronary Heart Disease (CHD): Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ.* 2023 Sep 28:S1443-9506(23)04288-9. [https://doi:10.1016/j.hlc.2023.07.010](https://doi.org/10.1016/j.hlc.2023.07.010).
2. Althuwaikh S, Albassam I, Alrashed A, Alhaji F, Al-Adawi A, Sindi MA, Alhibshi A, Al Dehaini A, Alqaysi L. 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://doi:10.7759/cureus.45834](https://doi.org/10.7759/cureus.45834).
3. Global Burden of Disease. GBD Results [Internet]. Institute for Health Metrics and Evaluation. [citado 29 de marzo de 2023]. Disponible en:

<https://vizhub.healthdata.org/gbd-results>

4. Wang S, Cheng Y, Zheng Q, Su X, Deng Y. Evaluating the association between dietary salt intake and the risk of atrial fibrillation using Mendelian randomization. *Front Nutr.* 2023 Apr 6;10:1073626. [https://doi: 10.3389/fnut.2023.1073626](https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1073626). PMID: 37090783; PMCID: PMC10117818.

5. Abril-López PA, Vega-Falcón V, Pimienta-Concepción I, Molina-Gaibor AA, Ochoa-Andrade MJ. Risk of cardiovascular disease according to the Framingham score in patients with high blood pressure from Píllaro, Ecuador. 2017-2018. *Rev. Fac. Med.* 2021;69(3):e83646 (In Press). doi: <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v69n3.83646>

6. Alfonso F, de la Torre Hernández JM, Ibáñez B, Sabaté M, Pan M, Gulati R, Saw J, Angiolillo DJ, Adlam D, Sánchez-Madrid F. 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://doi: 10.1016/j.rec.2021.08.003](https://doi.org/10.1016/j.rec.2021.08.003).

7. 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://doi: 10.17843/rpmesp.2021.384.8502](https://doi.org/10.17843/rpmesp.2021.384.8502).

8. 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 [Education interventions in heart failure using m-Health: Systematic review]. *Aten Primaria.* 2023 Aug 26;55(11):102734. [https://doi: 10.1016/j.aprim.2023.102734](https://doi.org/10.1016/j.aprim.2023.102734).

9. Oliveira ACG, Neves ILI, Sacilotto L, Olivetti NQS, Santos-Paul MAD, Montano TCP, Carvalho CMA, Wu TC, Grupi CJ, Barbosa SA, Pastore CA, Samesima N, Hachul DT,

Scanavacca MI, Neves RS, Darrieux FCC. Is It Safe 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://doi: 10.1161/JAHA.119.012361](https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012361).

10. 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.

11. Rojas ÁG, Martínez AV, Benítez PR, Estébanez SA, Moreno EV, Barrios AA, de Pablo JCL, de Morales AM, Antonova AM, Colombina AB, Ávila CMC, Gómez JR, Ramos ML, Diezhandino MG. Peripheral arterial disease in hemodialysis patients 10 years later. *Nefrología (Engl Ed).* 2023 May-Jun;43(3):302-308. [https://doi: 10.1016/j.nefro.2022.01.014](https://doi.org/10.1016/j.nefro.2022.01.014).

12. Calvo-Fernández A, Izquierdo A, Subirana I, Farré N, Vila J, Durán X, García-Guimaraes M, Valdivielso S, Cabero P, Soler C, García-Ribas C, Rodríguez C, Llagostera M, Mojón D, Vicente M, Solé-González E, Sánchez-Carpintero A, Tevar C, Marrugat J, Vaquerizo B. 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://doi: 10.1016/j.rec.2020.09.011](https://doi.org/10.1016/j.rec.2020.09.011).

13. Wan J, Wang X, Zhang Y, Yin Y, Wang Z, Che X, Chen M, Liang J, Wu K. 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. [https://doi: 10.1111/1751-2980.13232](https://doi.org/10.1111/1751-2980.13232).

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](https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol34/iss1/26)

15. 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](https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol44/iss1/46)

16. 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.