



## **Evaluación estadística con series de tiempo para casos de mortalidad materna en Colombia.**

*ANGIE NATALY CRUZ GIL \**

*LAURA DANIELA DIAZ TORRES\**

*CLARA MERCERDES SUAREZ\**

*EDNA CAROLINA MORENO LOPEZ\*\**

### **Resumen**

El presente artículo evaluó estadísticamente la capacidad de los modelos de series de tiempo para pronosticar la mortalidad materna en Colombia. Se evaluaron tres modelos SARIMA y un modelo bivariado VAR con la variable endógena (Porcentaje del PIB nacional destinado a salud). El procesamiento de los datos se realizó mediante los softwares RStudio (librería Forecast) y Gretl. Se estableció que el análisis por series de tiempo univariada subestima los pronósticos por dentro y por fuera de la muestra de entrenamiento de la serie de casos de mortalidad materna en Colombia. En cuanto al modelo VAR, al incluir la variable, esta no generó un impacto significativo en los pronósticos de los casos de mortalidad. Por tanto, se sugiere explorar con variables endógenas y/o exógenas demográficas y/o económicas, que permitan predecir de una forma efectiva los casos de mortalidad materna.

### **Palabras clave**

Series de tiempo, mortalidad materna, modelo SARIMA, modelo VAR.

### **Abstract**

This article was a statistical assessment of the capacity of time series models to estimate maternal mortality in Colombia. Three models SARIMA were evaluated and one bivariate model VAR with endogenous variable (%GDP). Data were processed with RStudio and Gretl software. Outcomes: Univariate Time series underestimate the forecast in and out of the training sample of maternal mortality in Colombia. VAR

\*Estudiantes Especialización Estadística Aplicada Fundación Universitaria Los Libertadores

\*\*Docente Series de Tiempo Especialización Estadística Aplicada Fundación Universitaria Los Libertadores



model with another variable did not generate a significant impact in the forecast of mortality, therefore it suggests to research with other endogenous and exogenous demographic and economic variables that allow effective forecast the maternal mortality.

## **Keywords**

Time series, maternal mortality, SARIMA model, VAR model.

## **Introducción**

Se define como mortalidad materna, la muerte de la mujer mientras está embarazada dentro de los 42 días siguientes a la terminación del embarazo. Este indicador evalúa la salud de la mujer y el desempeño del sistema de salud, siendo un indicador trazador en el desarrollo de una sociedad.

La mortalidad materna se considera un problema de salud pública complejo, determinado no sólo por las condiciones individuales de la mujer, sino también por la calidad de los servicios médicos y los contextos culturales y sociales donde éstos se prestan. La mortalidad materna en Colombia, ha tenido un comportamiento transversal, en los últimos 40 años con promedios anuales que varían entre 579 y 774 casos y que han tenido como causas asociadas entre otras las hemorragias postparto y la hipertensión gestacional, concentradas en los países con mayores tasas de fecundidad, mayor pobreza y menor acceso a servicios de salud de alta calidad.

En los Objetivos de Desarrollo Sostenible se estableció la meta de reducir la tasa de mortalidad materna mundial por debajo de 70 por cada 100.000 nacidos vivos para el 2030. Colombia como país perteneciente a la OCDE, según informe de 2019 ocupó el primer lugar, en la mayor tasa de mortalidad materna, por lo anterior es necesario realizar un vistazo profundo a lo largo de los últimos años a fin de aportar a identificar el comportamiento de dicho fenómeno, con la información disponible, que permite así mismo evaluar el uso de las series de tiempo disponibles para comprender esta situación.



Las series de tiempo o series temporales es una secuencia  $N$  observaciones ordenadas y equidistantes cronológicamente sobre una o varias características de una unidad observable en diferentes momentos (1). Donde los datos usualmente son dependientes entre sí. La serie de datos es útil en análisis económicos, demográficos, medioambientales, permitiendo describir, prever y contrastar un periodo y evento de corte muestral.

La mortalidad materna en Colombia hace parte de los eventos trazadores para la toma de decisiones en todos los niveles de la administración, se encuentra incluida en la agenda política y las condiciones de su incidencia son relativamente homogéneas en el territorio nacional. El uso de una serie temporal permite establecer más allá de la incidencia del evento, su tendencia, estacionalidad o aleatoriedad, aquellos factores asociados desencadenantes del mismo, lo cuales en ausencia de intervención continúan generando el mismo resultado.

Las series de tiempo son útiles para las predicciones basadas en lo ocurrido en periodos anteriores, sin embargo, tiene mayor desarrollo en lo relacionado con enfermedades transmisibles y epidemias, es posible su uso en evaluaciones de impacto, sus componentes principales son tendencia, ciclo, estacionalidad, movimientos irregulares o aleatorios, en esos términos el uso en mortalidad materna sería objeto de estudio ya que es un evento permanente con tendencia creciente o decreciente pero no estacional.

Este estudio tuvo por objeto evaluar el uso de series de tiempo para el pronóstico de la mortalidad materna en Colombia, para lo cual se tomaron los casos ocurridos en el período 1980 a 2020.

Este estudio presenta los resultados en términos de pronóstico de la mortalidad materna a partir del uso de la serie de datos disponible, sugiriendo la posibilidad de emplear métodos novedosos en un contexto demográficos determinado delinear



políticas públicas, dado que los intervalos proveen información frente al grado de incertidumbre dado.<sup>1</sup>

## **Materiales y Métodos**

A raíz de que el objetivo del estudio es evaluar la capacidad de los modelos de series de tiempo para pronosticar los casos de muertes maternas en Colombia con relación a su propio pasado y al porcentaje del PIB nacional destinado a salud, se realizó un análisis exploratorio de la información.

El estudio de la variable de salud pública en mención se realizó analizando el periodo comprendido entre 1980 a 2020, bajo el enfoque de series de tiempo univariado y multivariada, siguiendo la metodología Box – Jenkins la cual evalúa cada etapa de selección de modelos SARIMA a partir de la i. Identificación, ii. Estimación, iii. Evaluación y iv. Capacidad de pronósticos, comparado con datos reales observados. En la parte multivariada se agregó el porcentaje del PIB destinado a salud, para así evaluar la influencia de dicha variable en el comportamiento de los casos de mortalidad materna a lo largo del tiempo. El procesamiento de la base de datos se ejecutó en el software RStudio y Gretl.

### a) Descripción de los datos

La variable de casos de mortalidad en mujeres gestantes en Colombia fue tomada de estadísticas del Ministerio de Salud y Protección Social, se presenta de forma mensual desde el año 1980 hasta el 2020, contiene 492 registros con un total de 22.047 casos registrados a lo largo de los 41 años, para el análisis univariado se toma una muestra de entrenamiento y una muestra de testeo. A nivel multivariado se presenta la serie de forma anual debido a la periodicidad del porcentaje del PIB

---

<sup>1</sup> Andreozzi Lucia; Propuestas para el análisis de la mortalidad y de la Esperanza de Vida al Nacer de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Población de Buenos Aires, vol. 13, núm. 24, pp. 29-50, 2016.



destinado a gasto en salud, variable tomada del DANE, que condiciona a estudiar la primera variable también de forma anual.

#### b) Procesamiento de datos

El presente estudio, como ya se especificó con antelación, contiene una parte de series de tiempo univariada que analiza Modelos SARIMA  $(p,d,q),(P,D,Q)[s]$  para evaluar si la serie puede predecir resultados confiables por sí misma o si es necesario incluir otra variable socioeconómica que ayude a generar predicciones lo suficientemente consistentes con horizontes de proyección realistas a través de un modelo VAR.

Para el Análisis Univariado, se dividió la serie en una muestra de entrenamiento desde enero de 1980 hasta diciembre de 2018 y una muestra de testeo desde enero de 2019 hasta diciembre de 2020 para comparar los pronósticos del modelo propuesto. Lo anterior se realizó con el fin de explorar todas las herramientas que permitieran la formulación y evaluación del mejor modelo de pronóstico univariado para la serie a partir de la metodología Box – Jenkins realizando el análisis de criterios de información, planteamiento de modelos, evaluación de residuales y pronósticos. Los criterios de diferenciación son tres 1). Análisis de la desviación estándar. 2). Exploración del decaimiento de la función de autocorrelación FAC y 3). Pruebas de raíz unitaria, se utilizan para definir si la serie es estacionaria o no y con base en esto tomar las transformaciones necesarias.

Una vez se convirtió la serie en estacionaria a partir del análisis de decaimiento de la FAC y de la FAC Parcial para la parte ordinaria y para la parte estacional, se propusieron siete modelos de tipo SARIMA, para analizar cuáles podrían ser los mejores modelos según su capacidad de pronóstico.

A continuación, se evaluó el modelo mediante la verificación de los residuales. Un residuo es un valor que proporciona información en cuanto a la diferencia entre un dato observado y un dato estimado o pronosticado por el modelo, cuanto mayor es la diferencia de estas dos medidas mayor será el valor del residuo. Se deben



verificar los residuos de los modelos en varios aspectos como el cumplimiento de la no correlación bajo el supuesto de ruido blanco y la normalidad de su distribución.

Para dicha verificación se analizan criterios de bondad de ajuste, medidas de exactitud y pruebas de hipótesis. El criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio Bayesiano de Schwarz (BIC) son medidas de bondad de ajuste que permiten la selección de un modelo dentro de un conjunto, estos generan un medio para su comparación, menores valores de AIC y BIC indican que un modelo puede ser mejor que otro en términos de su bondad de ajuste a los datos. También se presentan las medidas de precisión y exactitud como la Raíz del error cuadrático medio (RMSE) que es la desviación estándar de los residuos y el Error absoluto medio porcentual (MAPE) que indica el promedio de los errores absolutos porcentuales entre el valor pronosticado y el valor real. Se realizaron además tres pruebas de hipótesis para verificar autocorrelación y normalidad: Box – Pierce, Ljung-Box y Shapiro Wilk. El análisis de los residuos y las pruebas de hipótesis realizadas permitieron decidir cual modelo seleccionar.

Se estimaron los valores de los 24 meses de los años 2019 y 2020 (muestra de testeo), para compararlos con los valores reales medidos a cierre de cada mes hasta diciembre de 2020 y evaluar que tan bien los modelos están pronosticando los casos de mortalidad en madres gestantes en Colombia.

Lo ideal es que la diferencia entre los pronósticos y el valor observado sin importar su signo sea lo más pequeña posible, lo anterior indica que el modelo pronostica los valores muy cercanos a la realidad y por ende es confiable para tomar decisiones de políticas públicas en salud, asistencia a madres gestantes de acuerdo con su condición socioeconómica, mayor calidad de los servicios de salud prestados, presencia de entidades de salud y personal calificado en departamentos del país históricamente alejados por su geografía, conflicto interno, tamaño poblacional, cantidad de ingreso por producción local, entre otras variables.



### **Análisis Multivariado:**

Para el análisis multivariado de la serie se utilizó la variable del porcentaje del PIB para gasto público en salud de forma anual, hecho que obligó a convertir la serie estudiada de casos de mortalidad materna de mensual a anual. Se exploraron los modelos VAR y VEC, eligiendo un modelo VAR, por último, se evaluó el cumplimiento de los supuestos de los residuales y sus pronósticos.

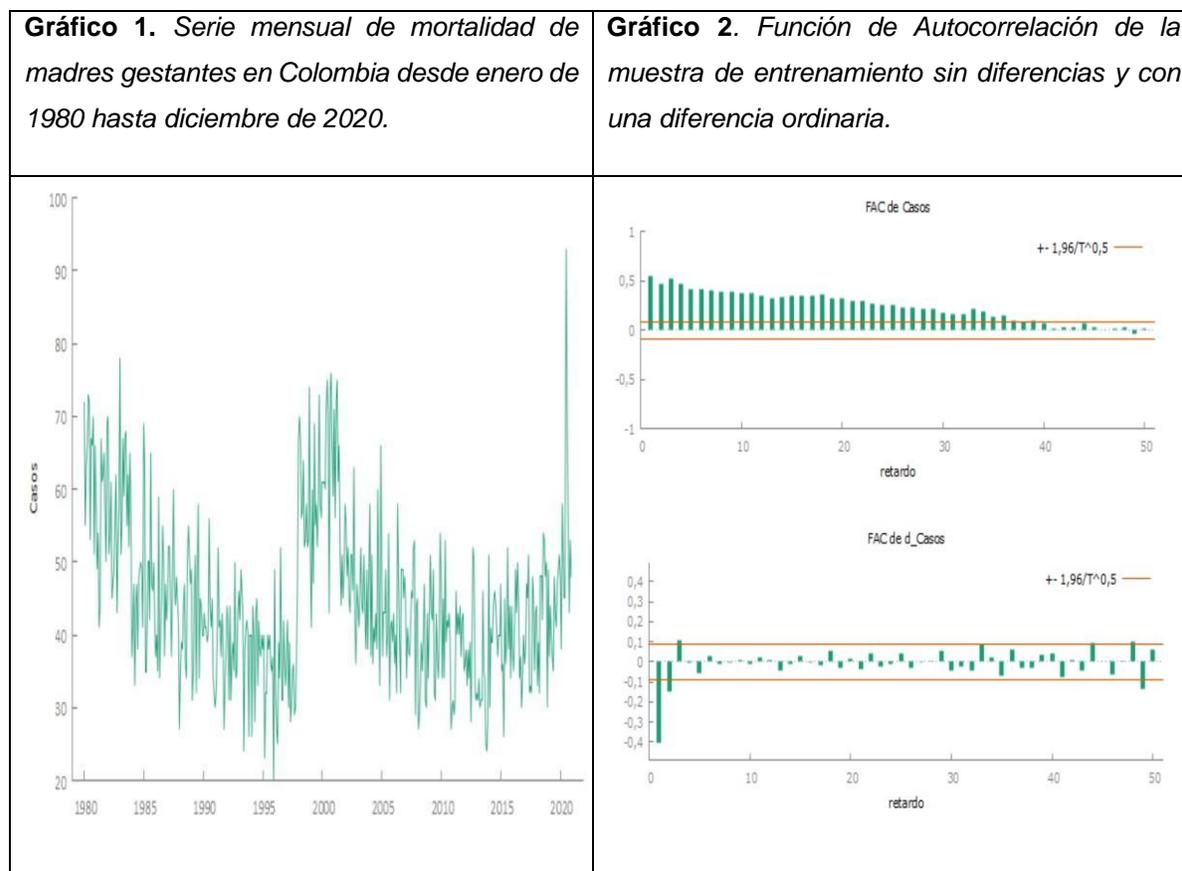
### **Resultados**

La serie mensual de casos de mortalidad materna en Colombia desde enero de 1980 hasta diciembre de 2020, como se observa en el gráfico 1, tuvo un componente estacional dentro de cada año, por otra parte, se observa que entre los años 1995 al 2000 hubo un aumento importante en el número de casos, hecho que se puede asociar a la implementación de la reforma a la salud con la puesta en marcha de la Ley 100 de 1993 y el cambio en la nomenclatura de la novena a la décima Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE 9 a CIE 10). En adición, en el año 2020 se observa comportamiento atípico de los casos de muertes maternas, consistente con los niveles de mortalidad ocasionados por la pandemia del COVID-19.



## Análisis Univariado.

Metodología Box Jenkins:



Para determinar si la serie es o no estacionaria se aplicaron las pruebas de raíz unitaria y sus resultados se contrastaron con los criterios exploratorios del análisis de la desviación estándar y el decaimiento de la FAC, que se presentan a continuación.

### a) Identificación del modelo

**Criterio 1.** El Análisis de la desviación estándar, propuesto por Víctor Guerrero<sup>2</sup> sugiere que se deben calcular las desviaciones estándar de la serie sin diferenciar y con una o dos diferencias para explorar cual tiene menor valor de dicho

<sup>2</sup> PRONÓSTICOS RESTRINGIDOS CON MODELOS DE SERIES DE TIEMPO MÚLTIPLES Y SU APLICACIÓN PARA EVALUAR METAS DE POLÍTICA MACROECONÓMICA EN MÉXICO\* Víctor M. Guerrero



estadístico, los resultados de la diferenciación por este criterio se presentan en la Tabla 1, donde se observó que la serie se debe diferenciar una vez de manera ordinaria y no se debe diferenciar de manera estacional.

**Tabla 1.** *Desviación estándar de diferencias ordinarias y estacionales.*

No. Diferencias	D.E. Ordinaria	D.E. Estacional
<b>0</b>	11.1	<b>11.1</b>
<b>1</b>	<b>10.2</b>	12.1
<b>2</b>	17.1	20.4

**Criterio 2:** Análisis gráfico del decaimiento de la Función de Autocorrelación (FAC). A partir del análisis de la función de autocorrelación de la muestra de entrenamiento, se observó que su decaimiento se produce lentamente, llegando incluso a entrar a la banda de confianza después del rezago 30, lo que indicó que la serie no es estacionaria en media.

El análisis de decaimiento de la FAC, indica que se debe diferenciar una vez en la parte ordinaria, esto debido a que en el correlograma con una diferencia se logra observar que la FAC decae rápidamente hacia cero y que desde el tercer rezago ya está completamente incluida en la banda, resultado coherente con el obtenido por el análisis de la desviación estándar.

**Criterio 3:** Pruebas de raíz unitaria.

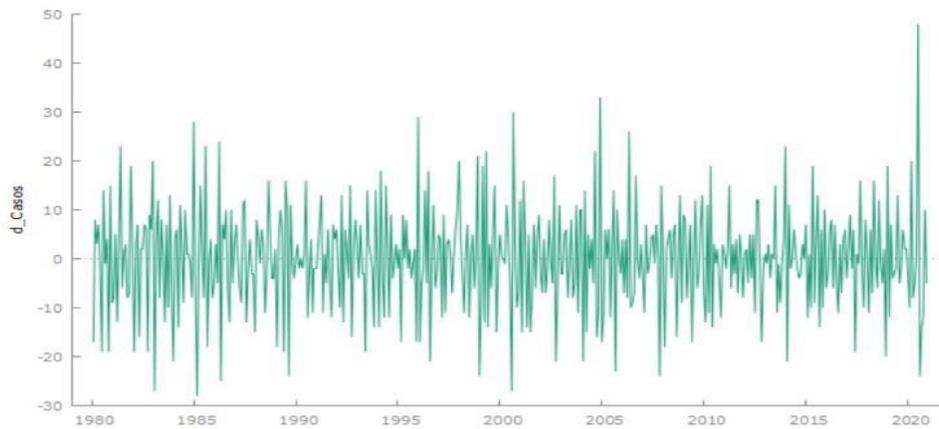
Se ejecutaron las pruebas de Dickey-Fuller y Phillips-Perron para evaluar la estacionariedad en media de la serie de tiempo, la hipótesis nula de estas pruebas es que existe raíz unitaria. Al realizar la prueba de Dickey-Fuller Aumentada se rechaza la hipótesis nula de que la serie no es estacionaria marginalmente al 1%, pero se acepta al 5%, en la serie sin diferenciar. En cuanto a la prueba de Phillips-Perron se rechaza la hipótesis nula a cualquier nivel de significancia para la serie sin diferenciar e indica que la serie original es estacionaria.

Lo anterior contradice la exploración realizada a la desviación estándar y el decaimiento de la FAC de los dos primeros criterios, se concluye que se debe usar

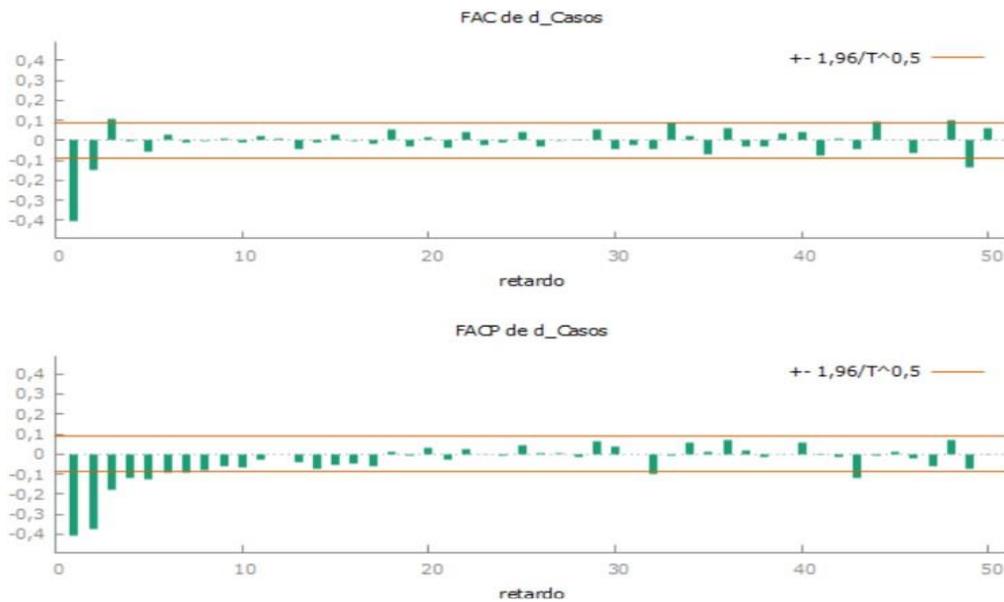


una diferencia ordinaria para los modelos a plantear debido a que dos criterios confirmaron que la serie es estacionaria con una diferencia ordinaria. (Ver gráfico 3)

**Gráfico 3.** Serie de mortalidad materna en Colombia con una diferencia ordinaria.



**Gráfico 4.** FAC y FAC PARCIAL muestra de entrenamiento con una diferencia ordinaria.





b) Estimación de modelos para serie estacionaria

Al realizar el análisis de la función de autocorrelación (FAC) y la función de autocorrelación parcial (FACP) tanto en la parte ordinaria como estacional se propusieron siete modelos de tipo SARIMA que se observan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Modelos SARIMA propuestos para la muestra de entrenamiento.

Modelo	Modelo SARIMA
1	(1,1,1) (1,1,1) [12]
2	(5,1,1) (1,0,0) [12]
3	(1,1,2) (2,1,1) [12]
4	(2,1,2) (2,0,0) [12]
5	(5,1,2) (2,1,0) [12]
6	(5,1,2) (2,1,1) [12]
7	(1,1,2) (2,0,0) [12]

El modelo 1, se planteó porque es un modelo sencillo el cual tiene diferencias tanto ordinarias como estacionales, parte autorregresiva y parte de medias móviles que se puede utilizar para comparar con modelos más complejos. Del segundo al sexto modelo, se analiza el decaimiento de la FAC y la FACP y se plantean aquellos que podrían satisfacer de mejor forma los pronósticos en términos de análisis de sus residuales. El séptimo es el modelo automático del paquete “Forecast” de RStudio.

c) Evaluación del modelo a partir de la Verificación de los Residuales:

Para el caso de la serie estudiada, como se observa en la Tabla 3, el Modelo 1 tiene un menor valor de AIC y de BIC, seguido por el Modelo 3 y el Modelo 6, por lo que el estudio de pronósticos podría estar determinado por alguno de estos modelos. Al analizar las medidas de precisión y exactitud como el RMSE y el MAPE de los residuos de los modelos propuestos, se ratifican los modelos escogidos por AIC y BIC, sin embargo, las mejores medidas de bondad de ajuste y de exactitud la tienen el Modelo 1 y el Modelo 3. Se deben realizar pruebas de hipótesis de media cero en los residuales, normalidad y no correlación para verificar cuál de los 3 modelos es el adecuado en cuanto al cumplimiento de los supuestos para la serie en estudio.



**Tabla 3.** AIC y BIC modelos SARIMA propuestos para la muestra de entrenamiento.

Modelo	Modelo SARIMA	AIC	BIC	RMSE	MAPE
1	(1,1,1)(1,1,1)[12]	<b>3254</b>	<b>3274</b>	<b>8,01</b>	<b>14,40</b>
2	5,1,1)(1,0,0) [12]	3306	3339	8,17	15,04
3	(1,1,2)(2,1,1)[12]	<b>3252</b>	<b>3281</b>	<b>8,07</b>	<b>14,50</b>
4	(2,1,2)(2,0,0)[12]	3307	3337	8,20	15,16
5	(5,1,2)(2,1,0)[12]	3354	3395	9,22	17,05
6	(5,1,2)(2,1,1)[12]	<b>3257</b>	<b>3303</b>	<b>8,04</b>	15,37
7	(1,1,2)(2,0,0)[12]	3306	3330	8,20	15,17

Al realizar las pruebas de Box – Pierce y Ljung-Box se obtiene que los modelos 1,3 y 6, capturan bien las primeras 13 autocorrelaciones ( $h_0$ ) ya que tienen p-valores superiores a 0.63, los cuales son mayores al nivel de significancia por lo que no se rechaza la hipótesis nula de la prueba y hay más evidencia que los residuos son ruido blanco.

En cuanto a la prueba de normalidad de Shapiro Wilk el p-valor menor a 0,02 en todos los modelos, rechaza la hipótesis nula de la prueba, dado que el supuesto de normalidad en la distribución de los residuos no se cumple, esto no implica que se desestimen los modelos debido a que la máxima verosimilitud<sup>3</sup> es robusta, sin embargo, se sugiere precaución con las interpretaciones de los p-valor y los intervalos de confianza

Al analizar la totalidad de los criterios de bondad de ajuste, medidas de precisión y exactitud, y pruebas de hipótesis de los residuales para los modelos se determina que se van a explorar gráficamente los residuos de los modelos (1,3,6)

En el Gráfico 5 se observa la correlación serial de los residuales de los modelos 1,3 y 6, su comportamiento de ruido blanco y el incumplimiento del supuesto de normalidad en la distribución como lo arrojó la prueba de Shapiro Wilk. En cuanto a la FAC es evidente que el rezago 3 del Modelo 1 es significativo puesto que sobresale de la banda de confianza, mientras que en los tres modelos sucede lo

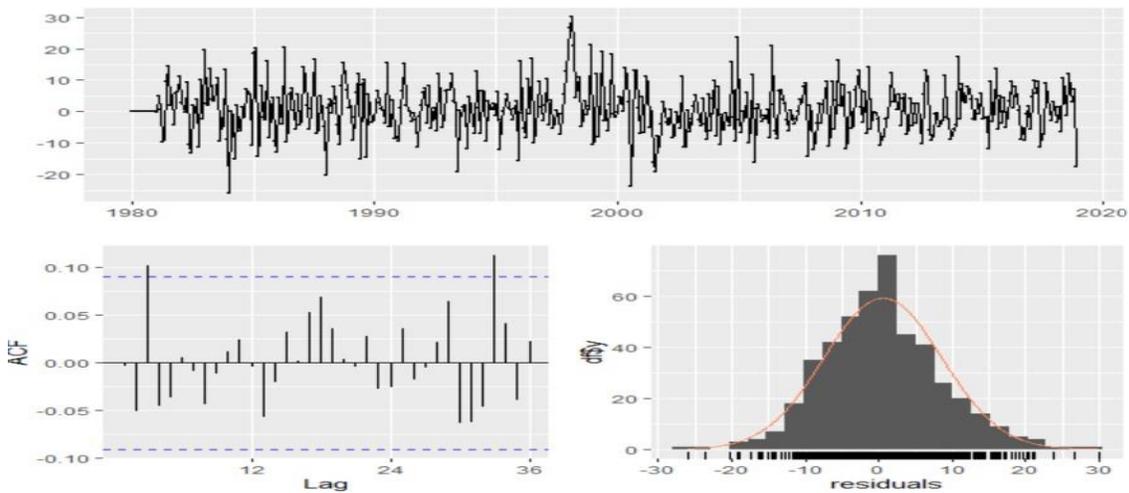
<sup>3</sup> Método de máxima verosimilitud- Curso de Estadística TAE,2005 J.J. Gómez Cadenas



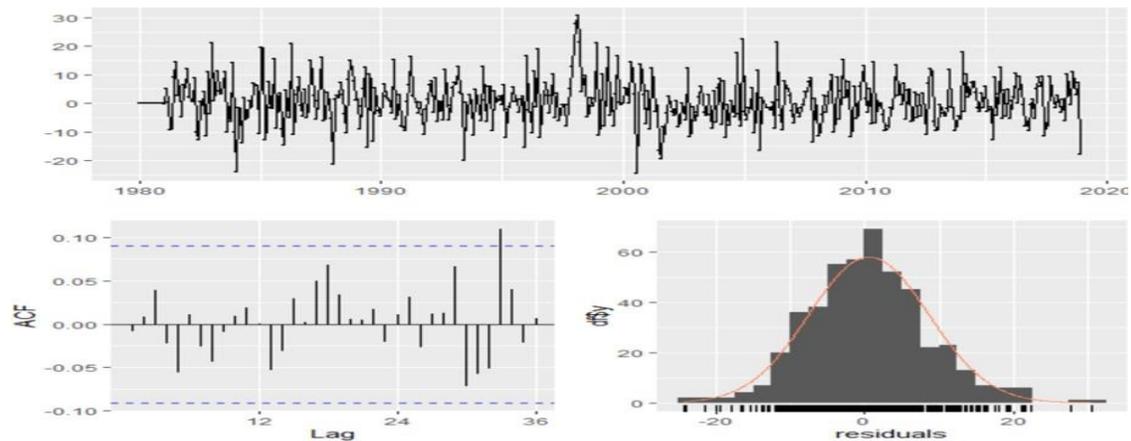
mismo con el rezago 33, sin embargo, aunque este último es significativo, es un rezago muy lejano para considerar que el modelo no capturó bien la mayor parte de la correlación presente en los datos.

**Gráfico 5.** Residuales de los Modelos seleccionados (1,3,6).

*Residuales del Modelo 1.*

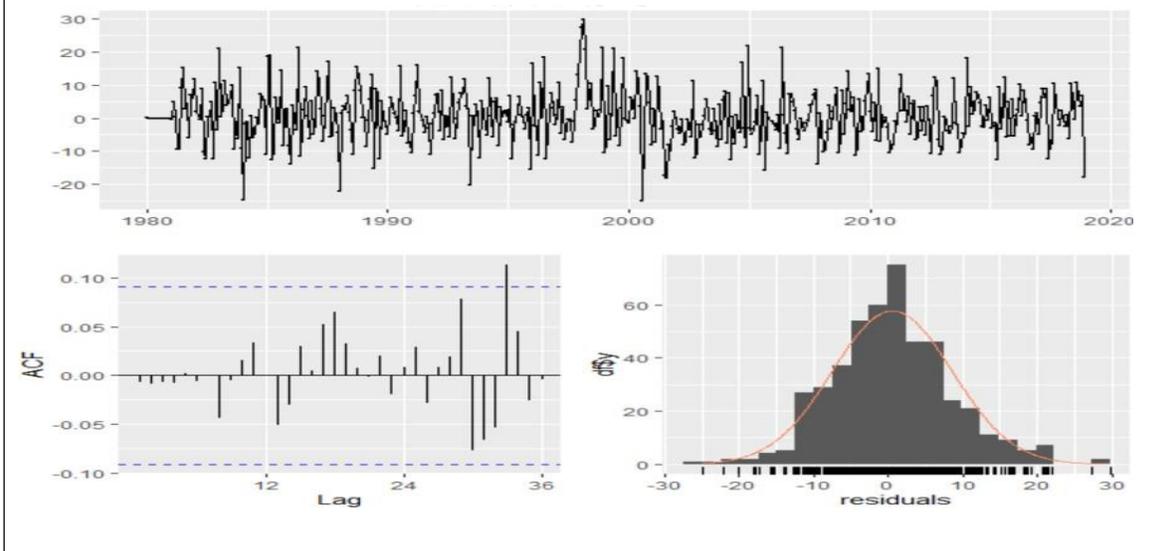


*Residuales del Modelo 3.*





### Residuales del Modelo 6.



De acuerdo con el análisis de los residuales se seleccionó el Modelo 1 para pronósticos con la muestra de entrenamiento bajo el principio de parsimonia, este modelo arroja resultados similares en pronósticos al modelo 3 y 6, sin embargo, presenta mejores niveles de AIC, BIC, RMSE y MAPE.

### Modelo 1: SARIMA (1,1,1) (1,1,1) [12]

$$(1 + 0.060B^{12})(1 + 0.115B)(1 - B)(1 - B^{12})X_t = (1 - 0.998B^{12})(1 + 0.834B) a_t$$

$$a_t \sim \text{ruido blanco } N(0, 66.6)$$

#### d) Pronósticos univariados:

Los casos de mortalidad materna pronosticados por el modelo 1 para los meses de la muestra de testeo se presentan en la Tabla 4. En términos generales se observa que en la mayoría de los valores el modelo subestima los pronósticos, de los 24 meses proyectados solo en 6 datos el modelo pronostica valores por encima de los datos observados y un mes coincide con el dato real (agosto 2019). En el 2020, los niveles de mortalidad que hubo en el mundo por la pandemia del COVID-19 generaron un alto número de muertes maternas impactando de manera significativa la capacidad de pronóstico del modelo en dicho periodo.

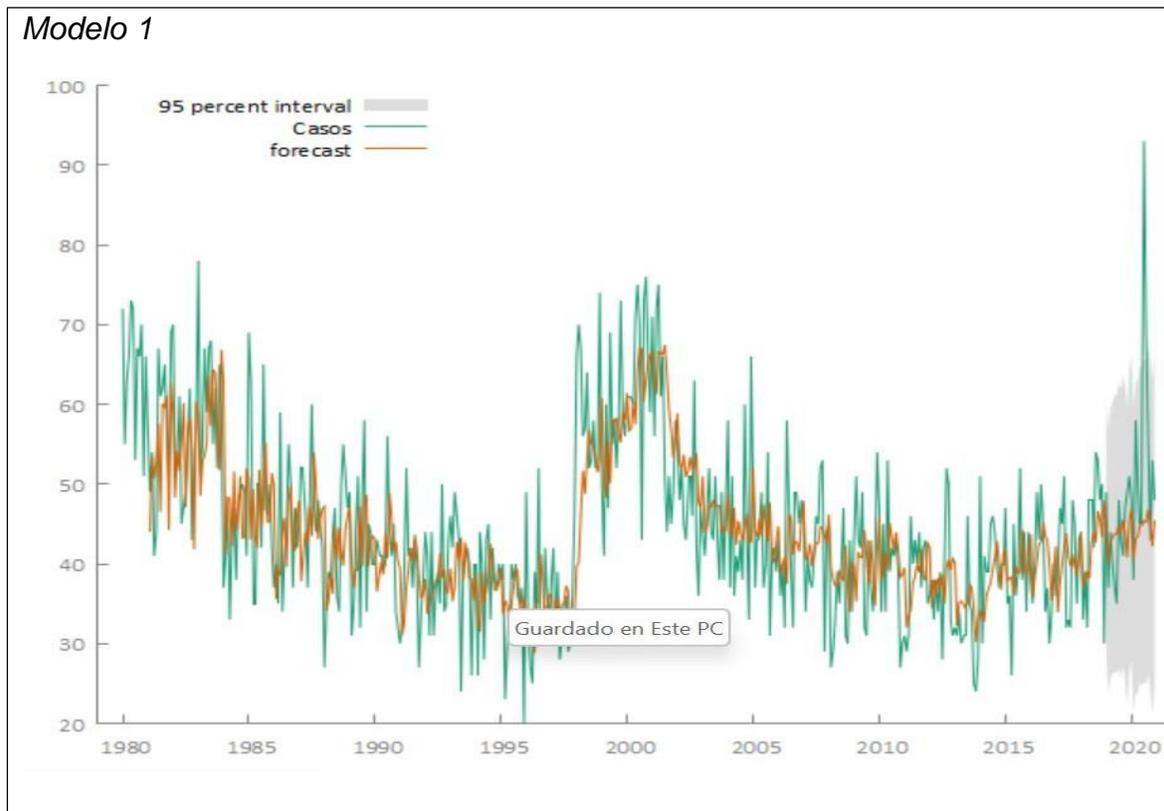


**Tabla 4.** Comparación Pronósticos con valores reales observados.

Año	Mes	Casos Observados	Pronóstico Modelo 1	Diferencia Modelo 1
<b>2019</b>	Ene	49	44	-5
	Feb	37	<b>39</b>	<b>2</b>
	Mar	44	<b>42</b>	<b>-2</b>
	Abr	40	<b>42</b>	<b>2</b>
	May	37	<b>43</b>	<b>6</b>
	Jun	35	43	<b>8</b>
	Jul	48	44	<b>-4</b>
	Ago	43	43	<b>0</b>
	Sept	41	44	<b>3</b>
	Oct	47	42	<b>-5</b>
	Nov	49	<b>39</b>	<b>-10</b>
	Dic	51	43	<b>-8</b>
<b>2020</b>	Ene	48	45	<b>-3</b>
	Feb	38	39	<b>1</b>
	Mar	58	41	<b>-17</b>
	Abr	50	41	<b>-9</b>
	May	45	43	<b>-2</b>
	Jun	45	42	<b>-3</b>
	Jul	93	43	<b>-50</b>
	Ago	69	43	<b>-26</b>
	Sept	55	44	<b>-11</b>
	Oct	43	42	<b>-1</b>
	Nov	53	39	<b>-14</b>
	Dic	48	42	<b>-6</b>

En la gráfica 6 se presenta la serie con las comparaciones entre el valor pronosticado y el valor real observado, por dentro y por fuera de la muestra de entrenamiento, utilizando el modelo 1,

**Gráfico 6.** Valores reales vs valores pronosticados por el Modelo 1.



De la gráfica anterior se puede analizar que el modelo subestima las proyecciones a lo largo de toda la serie, se observa que los horizontes de pronósticos del modelo son demasiado amplios incluso pocos periodos adelante, lo que permite concluir que el modelo 1 tiene problemas para explicar la serie en términos de su propio pasado y generar pronósticos confiables incluso en el muy corto plazo, lo anterior indica que este tipo de mortalidad debe estudiarse a través de otras variables que ayuden a explicar su comportamiento a lo largo del tiempo.

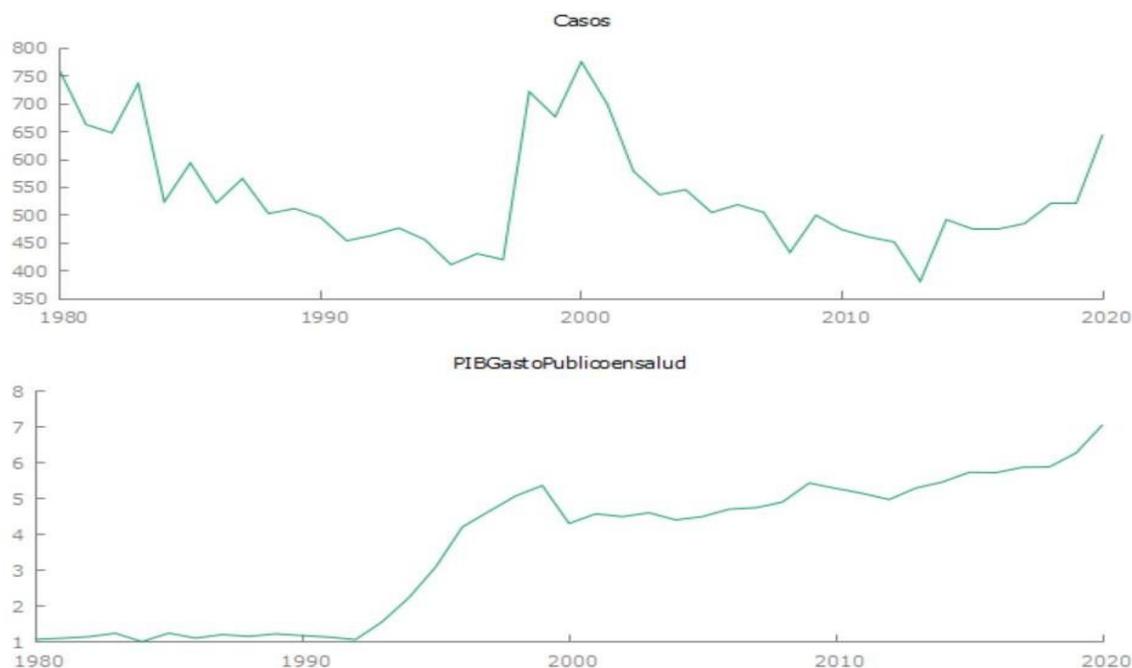
### **Análisis Multivariado:**

Para realizar el análisis multivariado se seleccionó una muestra de entrenamiento de 36 años comprendidos desde 1980 hasta 2015, dejando una muestra de testeo de 5 años desde el 2016 hasta el 2020. Se observa que la variable %PIB en gasto en salud es creciente en el tiempo, es decir, no es estacionaria puesto que presenta un salto importante después de 1990 (Ver gráfico 7). En cuanto a los casos de



mortalidad, la serie refleja un aumento después del año 1995, como también se evidenció de forma mensual, el cual puede estar asociado a la implementación de la Ley 100, como se nombró con antelación.

**Gráfico 7.** Series anuales casos de mortalidad en mujeres gestantes, %PIB de gasto público en salud.



Debido a que gráficamente las series parecen no estacionarias en media, se aplicaron las pruebas de raíz unitaria para verificar si las series eran o no estacionarias. Al realizar la prueba de Dickey- Fuller Aumentada para la serie de casos se obtuvo un p-valor de 0.125 y para la serie %PIB un p-valor de 0.201, lo cual indicó que no se rechazaba la hipótesis nula de la prueba, es decir las dos series sin diferencias no eran estacionarias. A raíz de lo anterior se tomó una diferencia con transformación logarítmica, se aplicó nuevamente la prueba de Dickey Fuller Aumentada la cual que arrojó p-valores menores al nivel de significancia, rechazando la hipótesis nula.

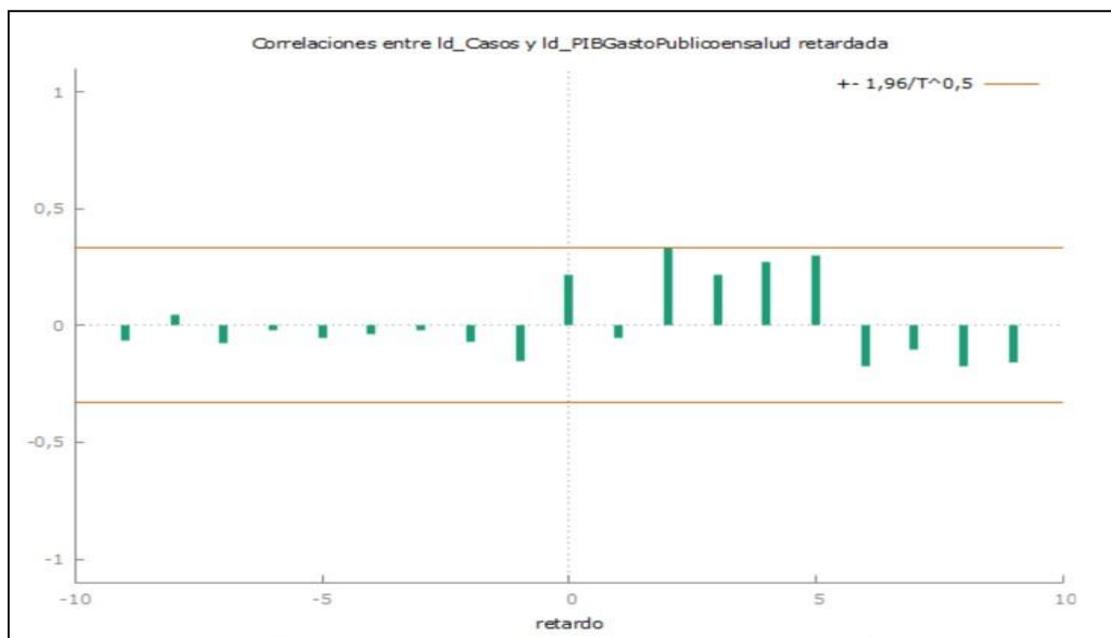
Se realizó la prueba de cointegración de Johansen para las series con diferencia logarítmica y así verificar que tipo de relaciones existen entre las variables para elegir el mejor modelo multivariado. Como resultado se obtienen p-valores mayores



al nivel de confianza por lo que hay evidencia para no rechazar la hipótesis nula de la prueba (**Ho: Rango de cointegración  $\leq p$ , para un  $p=0$** ) lo cual significa que no hay una o más relaciones cointegradas y por ende no se utiliza un modelo de Corrección de Error Vectorial (*Vector Error Corection* - VEC), se debe evaluar el uso del modelo Vectorial Autoregresivo (VAR).

En el grafico 8 se observó que las bandas de confianza fueron amplias debido a que la muestra de entrenamiento seleccionada es relativamente pequeña, bajo este escenario el rezago 2 fue marginalmente significativo, por ende, se planteó un modelo autorregresivo vectorial (VAR).

**Gráfico 8.** *Correlograma Cruzado*



Se analizaron los retardos de las series para elegir el orden del modelo VAR como se observa en la Tabla 5.



**Tabla 5. Criterios de información multivariados.**

Retardos	p-Valor	AIC	BIC	HQC
1		12,32	12,60*	12,41*
2	0,4229	12,45	12,91	12,60
3	0,0050	12,23*	12,88	12,44
4	0,1789	12,29	13,12	12,56
5	0,5581	12,45	13,46	12,78

El rezago 3 rechaza con contundencia la hipótesis nula de que la tercera matriz es igual a cero, con un p-valor de 0.005, también este rezago tiene el menor criterio de AIC por lo cual se seleccionó un modelo VAR(3).

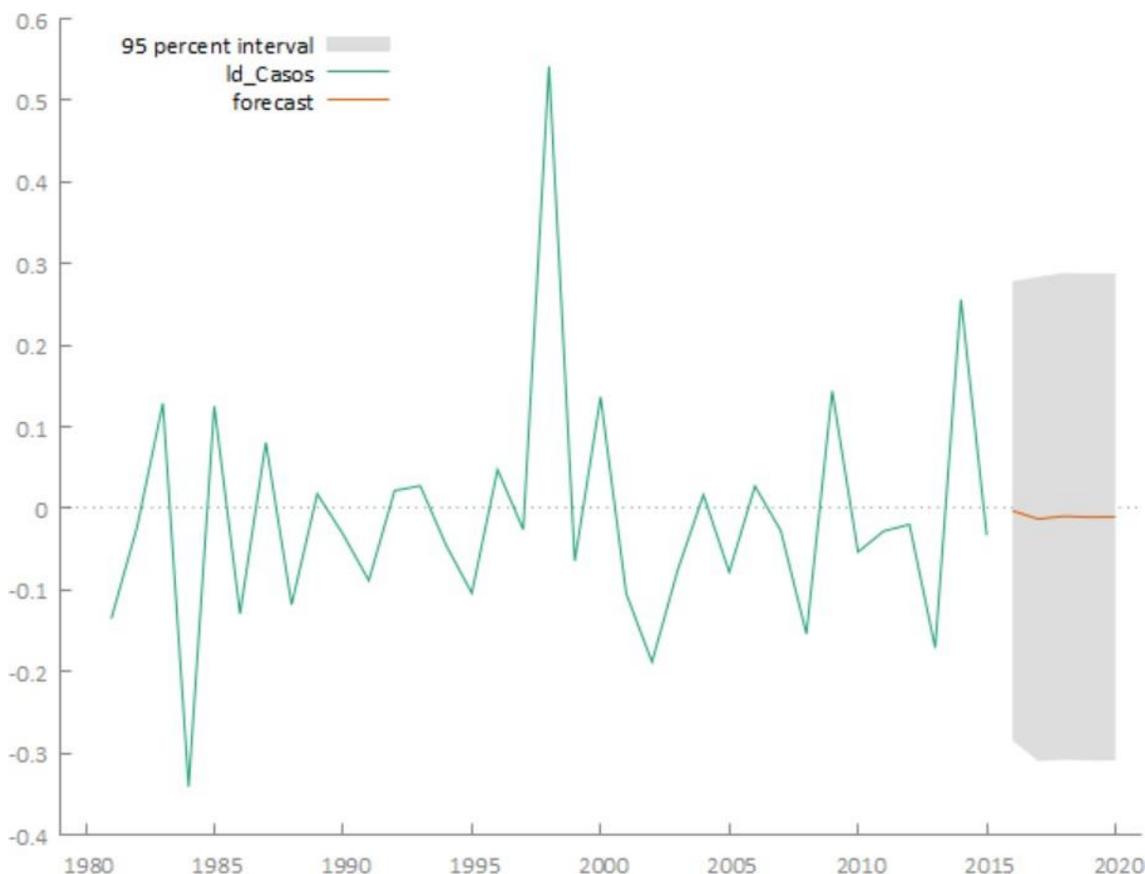
Se realizó un análisis y evaluación de los residuales del modelo VAR(3) y se verificó si era un modelo óptimo de predicción evaluando la normalidad de la distribución de los residuos a través del Contraste de Doornik-Hansen el cual se basa en la asimetría y curtosis de datos multivariados. Para las series de tiempo analizadas el p-valor de 0.011 rechaza el supuesto de normalidad multivariada de los residuos, lo cual es un punto negativo para el modelo.

Una vez se estimó el modelo VAR(3) se realizó el análisis del correlograma cruzado de sus residuales y se encontró que existe una correlación significativa en el quinto rezago. Al realizar el análisis de la heterocedasticidad hasta 10 retardos se puede concluir que hay evidencia estadística de no heterocedasticidad condicional ya que los p-valores se mantuvieron por encima del nivel de confianza.

### **Pronósticos Multivariados:**

La evaluación de la serie multivariada mostró que los pronósticos permanecen subestimados (ver gráfico 9) con la variable del porcentaje del PIB para gasto público en salud, por lo que deben analizarse otras variables que capturen de forma más eficiente los movimientos de la serie a lo largo del tiempo, incluso se observa que el pronóstico es cercano a una línea horizontal.

**Gráfico 9. Pronósticos Multivariados.**



## DISCUSIÓN

Las series de tiempo aplicadas al estudio de la mortalidad materna han sido constantes, en varios estudios tanto a nivel nacional e internacional (Herrera et al, 2014, Souza D, 2021) sin embargo, el énfasis de dichos estudios se ha centrado en el análisis desde diferentes variables y/o intervenciones para identificar dinámicas y relaciones que describen o explican dicha mortalidad. Por lo tanto, las consideraciones en cuanto al uso de las series de tiempo son escasas o nulas, puesto que el énfasis está dado en los resultados y no en lo metodológico. En el presente estudio se evidencian picos sustanciales para los meses del año 2020 los cuales se podrían explicar por el incremento atípico en la mortalidad que ocasionó la pandemia por COVID-19. Esta exploración inicial de ambos modelos en el presente estudio deja como recomendación la búsqueda de nuevas variables que



permitan explicar las razones por las cuales la mortalidad materna no ha tenido la reducción esperada en el tiempo estudiado.

## CONCLUSIONES

- Aunque los criterios de diferenciación indicaron que no se debía diferenciar estacionalmente los mejores modelos univariados en términos de criterios de bondad de ajuste y de exactitud fueron aquellos que tomaron en cuenta dicha diferencia.
- Aun cuando el modelo 1 es pequeño en términos de número de coeficientes, este pronostica de una forma cercana a los otros dos modelos planteados, por lo que podría elegirse por encima de estos, basados en el principio de parsimonia, adicional a que cuenta con mejores valores en los criterios de bondad de ajuste de precisión y exactitud.
- De acuerdo con la información recolectada en el análisis univariado se logró observar que sin importar el tamaño del modelo se subestiman los pronósticos a lo largo de toda la serie.
- El modelo univariado seleccionado subestima las proyecciones a lo largo de toda la serie, lo que lleva a pensar que utilizar sus pronósticos para decisiones de políticas públicas en salud a futuro es arriesgado.
- Esta evaluación permitió establecer que el análisis por series de tiempo univariada subestima los pronósticos por dentro y por fuera de la muestra de entrenamiento de la serie de casos de mortalidad materna en Colombia, lo que indica que este tipo de mortalidad debe estudiarse a través de otras variables que ayuden a explicar el comportamiento de la serie a lo largo del tiempo.
- Al incluir la variable del porcentaje del PIB destinado a gasto público en salud se observa que esta no genera un impacto significativo en los pronósticos de los casos de mortalidad, no se observaron correlaciones cruzadas significativas entre los valores rezagados del gasto público en salud y los casos observados de mortalidad.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mortalidad materna en Colombia: reflexiones en torno a la situación y la política pública durante la última década [\[Internet\]](#) Available from: 2007
2. Control prenatal y su impacto en la mortalidad materna. Análisis de una tendencia, 1994-2004. Cali, Colombia [\[Internet\]](#) Available from: 2007
3. Evaluación del Impacto en Costo-equidad del Sistema de Salud en Colombia 1998-2005 [\[Internet\]](#) Available from: 2008
4. Revisando las políticas y discursos en salud en América Latina [\[Internet\]](#) Available from: 2010
5. Mortalidad materna: un reto que persiste para la salud pública en Colombia [\[Internet\]](#) Available from: 2010
6. Vigilancia de la morbilidad materna externa [\[Internet\]](#) Available from: 2010
7. La efectividad de las intervenciones de derivación obstétrica de emergencia en entornos de países en desarrollo: una revisión sistemática [\[Internet\]](#) Available from: 2012
8. Inequidades en mortalidad materna por departamentos en Colombia para los años (2000-2001), (2005-2006) y (2008-2009) [\[Internet\]](#) Available from: 2012
9. Características de la atención hospitalaria y su relación con la morbilidad materna extrema en Medellín, Colombia [\[Internet\]](#) Available from: 2013
10. Mortalidad materna evitable: Meta del milenio como propósito nacional [\[Internet\]](#) Available from: 2014
11. Evolución y tendencias de la salud pública Colombia 1993-2013. [\[Internet\]](#) Available from: 2015
12. Propuesta de intervención educativa y de orientación, para la prevención de la mortalidad materna en el Departamento del Chocó. [\[Internet\]](#) Available from: 2015
13. Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, D. C. Asociación Bogotana de Obstetricia y Ginecología (Asbog) [\[Internet\]](#)
14. De la naturaleza jurídica del derecho a la salud en Colombia [\[Internet\]](#)
15. Método de máxima verosimilitud- Curso de Estadística [\[Internet\]](#)