
**Estudio para el Pronóstico de Recaudo Vehicular en el
Proyecto Vial BOGOTÁ– GIRARDOT**

Presentado Por:

LUDWING SANTIAGO ANZOLA SANTOS
Ingeniero Industrial



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2019

Estudio para el Pronóstico de Recaudo Vehicular en el Proyecto Vial BOGOTÁ – GIRARDOT

Presentado por

LUDWING SANTIAGO ANZOLA SANTOS

En cumplimiento parcial de los requerimientos para obtener el título

de

Especialista en Estadística Aplicada

Dirigida por

Prof. Sébastien Lozano Posada



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Especialización en Estadística Aplicada

Bogotá D.C, Colombia

2019

Bogotá D.C, julio de 2019

Notas de aceptación



Firma del presidente del jurado

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del jurado

Firma del jurado

Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia dar gracias a Dios por dar la oportunidad de crecer intelectual y profesionalmente. A mi familia por su apoyo y paciencia. Al profesor Sébastien Lozano por su guía y enseñanzas y a todos los docentes de la especialización por su dedicación.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Índice general

| | | |
|--------------------|-------------------------------------|----|
| 1. | Introducción | 13 |
| 1.1 | Objetivos | 14 |
| 1.1.1 | Objetivo General | 14 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 14 |
| 1.1.3 | Justificación | 14 |
| 2. | Marco Teórico | 16 |
| 2.1. | Recaudo Vehicular | 16 |
| 2.2. | Peaje | 16 |
| 2.3. | Modo Carretero..... | 16 |
| 2.4. | Autofinanciación de Proyectos..... | 17 |
| 2.5. | Series de tiempo Univariadas | 18 |
| 2.5.1. | Metodología Box-Jenkis | 19 |
| 2.5.2. | Autocorrelación | 20 |
| 2.5.3. | Prueba de Ljung-Box..... | 21 |
| 2.5.4. | Modelo ARIMA | 22 |
| 2.5.5. | Modelo SARIMA | 23 |
| 2.5.6. | Modelo SARIMAX | 24 |
| 2.5.7. | Transformación Box-Cox | 24 |
| 3. | Marco Metodológico..... | 25 |
| 4. | Análisis y Resultados | 26 |
| 4.1. | Modelo SARIMAX | 26 |
| 5. | ConclusiónES y RecomendaciónES..... | 31 |
| 6. | Bibliografía | 33 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| figura 2.5.1 metolodgia box-jenkins..... | 20 |
| Figura 4.1 Variación de los datos en el tiempo | 27 |
| Figura 4.2. ACF Y PACF de la serie con datos in-sample..... | 27 |
| Figura 4.3. Datos in-sample diferenciados | 28 |
| Figura 4.4. Modelo SARIMAX(12,1,0)..... | 28 |
| Figura 4.5 Datos transformados. ACF Y PACF de los residuos transformados..... | 29 |
| Figura 4.6 Pronostico fuera de la muestra datos transformados | 30 |
| Figura 5.1 Comparativo valor contrato vs proyección de recaudo | 32 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las carreteras en Colombia ha sido fundamental en el crecimiento económico y social del país; desde la época colonial, en Colombia se han comercializado productos entre diversas culturas. Los caminos eran angostos y agrestes, pero con la llegada de los españoles que trajeron animales de carga y ya implementada la rueda, se fueron creando caminos más anchos y de mayor tráfico. El proceso de independencia permitió que Colombia se apropiara del crecimiento de su infraestructura.

Años después el gobierno nacional comenzó a destinar presupuesto para la creación y mantenimiento de más y mejores vías, los recursos necesarios para este tipo de proyectos de gran envergadura, no solo necesitan del apoyo económico de los usuarios de las carreteras para poder construir la infraestructura vial en las regiones, sino que también el gobierno ha recurrido a préstamos de bancos internacionales que permitan financiar estos proyectos. Entre los años 1994 y 1999 se empiezan las vías de primera y segunda generación, mientras que desde el año 2004 se generan las vías de tercera y cuarta generación, las cuales son realizadas por concesión (APP) ya sea por iniciativa pública o privada.

Este trabajo se enfoca en la proyección de recaudo vehicular en las casetas de peaje del proyecto vial Bogotá- Girardot, basados en las series históricas de tráfico y recaudo realizadas por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), entidad encargada de planear, coordinar, estructurar, contratar, ejecutar, administrar y evaluar proyectos de concesiones y otras formas de Asociación Público Privada - APP, para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, administración y/o explotación de la infraestructura pública de transporte en todos sus modos en el territorio Colombiano.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Generar un modelo de proyección del recaudo vehicular en el corredor vial Bogotá -Girardot que permita estimar los recursos económicos necesarios para la autofinanciación de proyectos de modo carretero por medio de series de tiempo

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las variables asociadas al recaudo vehicular en los años comprendidos entre 2014 y 2018 en el corredor vial Bogotá – Girardot.
- Aplicar un modelo estadístico de series de tiempo a las variables asociadas al recaudo vehicular en los años 2014- 2018 en el corredor vial Bogotá – Girardot.
- Realizar la proyección de la captación de dineros en los peajes del corredor vial Bogotá - Girardot para la autofinanciación de proyectos en modo carretero.

1.1.3 JUSTIFICACIÓN

El gobierno nacional puso en todos los proyectos viales (modo carretero), casetas de peajes, en donde se recaudan dineros de vehículos de más de dos ruedas, como un impuesto por hacer uso de esa infraestructura, dineros que son utilizados para financiar los costos iniciales y los costos de mantenimiento de la vía. Situación que genera gran inconformidad entre los ciudadanos, que aseguran pagar peajes muy altos para que en algunas vías no se vean los resultados esperados.

El gobierno nacional en los proyectos APP, en una de sus políticas, demanda que las empresas privadas que son encargadas de ejecutar los proyectos viales, tengan suficiente músculo financiero para poder ejecutar las obras. Los estudios financieros, de diseño y todos los necesarios para la aprobación de este tipo de propuestas están a cargo de la Agencia Nacional de Infraestructura ANI, entidad que proyecta el recaudo de dineros por medio de casetas de peaje, necesarias para la financiación, basadas generalmente en el tráfico que

circula en la ruta en construcción. En algunos casos, las proyecciones de este recaudo no son óptimas, haciendo que el gobierno tenga que buscar otros medios de financiación para poder cumplir los pactos contractuales realizados con los concesionarios, como lo es subir el impuesto al combustible, haciendo que el ciudadano se vea afectado.

Es por esto que se quiso realizar un estudio de series de tiempo en el recaudo de los peajes Chusacá y Chinauta del corredor vial Bogotá – Girardot, el cual ha tenido dos proyectos, - Bosa – Granada – Girardot y IPP tercer carril Bogotá- Girardot, haciendo un estudio de proyección como modelo para futuros proyectos de infraestructura vial en su modo carretero.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. RECAUDO VEHICULAR

El recaudo vehicular es un sistema de captación de dineros para la infraestructura del tránsito y el transporte de vehículos de todo tipo en vías concesionadas.

2.2. PEAJE

El peaje es un sistema funcional para recaudar dineros por medio de tarifas en una infraestructura vial, la cual es administrada por un operador privado en contraprestación por el uso de esta. Para las vías concesionadas, el peaje es la base del ingreso económico o autofinanciación sobre el cual se realizan los análisis financieros para las vías del Estado; es un tributo económico por el uso de la infraestructura que se utiliza para las actividades de construcción y mantenimiento de la vía.

2.3. MODO CARRETERO

Para empezar a entender el tema de investigación es necesario saber que:

La Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, es una Agencia Nacional Estatal de Naturaleza Especial, del sector descentralizado de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, financiera y técnica, adscrita al Ministerio de Transporte, la cual es la encargada de planear, coordinar, estructurar, contratar, ejecutar, administrar y evaluar proyectos de concesiones y otras formas de Asociación

Pública Privada - APP, para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, administración y/o explotación de la infraestructura pública de transporte en todos sus modos. *Agencia Nacional de Infraestructura. Quienes somos. Recuperado de <https://www.ani.gov.co/informacion-de-la-ani/quienes-somos>*

Existen 4 modos de infraestructura vial en Colombia:

- Carretero
- Aeropuerto
- Puertos
- Férreo

La infraestructura pública de transporte que analizaremos será la –modo carretero- en el proyecto vial Bogotá – Girardot.

2.4. AUTOFINANCIACIÓN DE PROYECTOS

Actualmente este tipo de proyectos de alto costo son realizados por medio de APP (Asociación Público Privadas), y según el DNP en su publicación *Abecé Asociaciones Público Privadas* afirma lo siguiente:

Las Asociaciones Público Privadas, son un mecanismo que permite vincular al sector privado para proveer bienes y servicios públicos asociados a una infraestructura. La Asociación Público Privada involucra, dentro del contrato de largo plazo, la retención y transferencia de riesgos entre las partes y la definición de los mecanismos de pago, relacionados con la disponibilidad y el nivel de servicio del bien provisto. Hay dos tipos de APP: iniciativa pública e iniciativa privada. (Pag. 4).

Los proyectos de vías 4G son realizados principalmente por iniciativa pública, en donde la idea conceptual del proyecto es realizado por la entidad pública y la fuente de pago se realiza por medio de recursos públicos, explotación de APP o de la combinación de estos.

La Agencia Nacional de Infraestructura se encarga de realizar las proyecciones de recaudos de dinero en las casetas de peaje por las vías concesionadas, basándose en el flujo vehicular que pasa por las vías a intervenir y así poder hacer un estimado de ingresos monetarios para la autofinanciación del proyecto, por medio de la contribución de los usuarios viales.

2.5. SERIES DE TIEMPO UNIVARIADAS

El análisis de series temporales es el estudio estadístico de muestras de variables recogidas secuencialmente a lo largo del tiempo.

Un concepto básico a tener en cuenta al introducirse en el Análisis de series temporales es que se trata de muestras con valores dependientes, no independientes. Generalmente cuando se tiene una muestra hay n valores independientes obtenidos en una población. Ahora lo que se tiene es un tipo de muestra distinto. Una muestra donde cada valor sucesivo depende de valores anteriores.

Componentes de una serie temporal

- Tendencia.
- Estacionalidad.
- Aleatoriedad.

$$X_t = T_t + E_t + A_t$$

Se puede decir de hecho, que el valor de variable a estudiar a lo largo del tiempo es una función de estos tres elementos.

- **Tendencia:** Son movimientos seculares o variaciones que se observan en largos periodos de tiempo; la gráfica de tendencia suele ser una curva suave y aun una línea recta que muestra la tendencia de las variaciones. Por ejemplo, la variación del precio de los artículos a lo largo de los años ofrece una clara tendencia al alza. El rendimiento físico en los deportes muestra para todas las personas una tendencia a aumentar hasta

cierta edad, que depende del deporte que se practique, para luego mostrar una tendencia a disminuir a medida que aumenta la edad del deportista. (Portus, 1995).

- **Estacionalidad:** Estas variaciones se producen en forma similar cada año, en correlación con los meses o con las estaciones del año y aun con determinadas fechas. Se deben a sucesos recurrentes que se repiten anualmente. Algunos ejemplos de movimientos estacionales son la variación de precios de los productos agrícolas, los incrementos en las ventas en el mes de diciembre. Como es obvio, estos movimientos estacionales no aparecen en las series cronológicas que contiene información de cifras anuales. (Portus, 1995).
- **Aleatoriedad:** Son aquellas variaciones que suelen presentarse en las series cronológicas y que son producidas por sucesos de ocurrencia imprevisible o accidental, por ejemplo los terremotos, las inundaciones, las huelgas; estas variaciones irregulares son de corta duración y de magnitud muy variable. (Portus, 1995).

2.5.1. METODOLOGÍA BOX-JENKIS

La metodología Box-Jenkins se refiere a una serie de procedimientos para identificar, ajustar y verificar los modelos de promedio móvil autorregresivo (ARIMA) con los datos de series de tiempo. Los pronósticos proceden directamente de la forma del modelo ajustado, y es distinta de la mayoría de los métodos debido a que no supone un patrón particular en los datos históricos de las series que han de pronosticarse. Urbina Majano, Gloria (Sep.2013) Metodología Box-Jenkins. Recuperado de <https://prezi.com/qilwyg5ezlpe/metodologia-de-box-jenkins/>

A continuación de muestra un flujograma de los pasos de la metodología Box-Jenkins

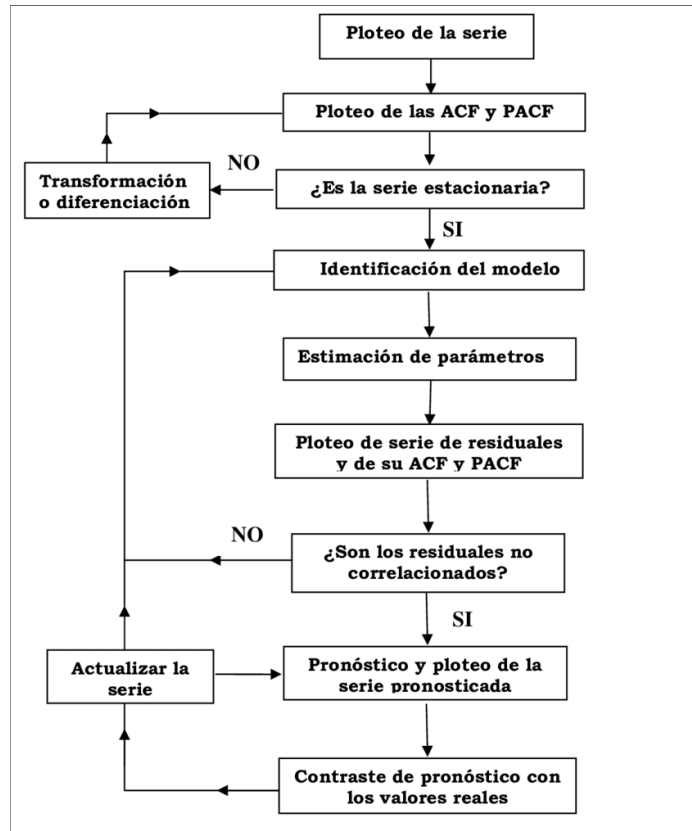


FIGURA 2.5.1 METODOLOGIA BOX-JENKINS

Esta metodología consiste en ser iterativa para identificar un modelo posible de una clase general de modelos. Un modelo correcto es aquel en donde los residuales son pequeños, están distribuidos aleatoriamente. Si el modelo encontrado no satisface, el proceso de repite hasta encontrar un modelo que se ajuste y sea satisfactorio.

2.5.2. AUTOCORRELACIÓN

En ocasiones en una serie de tiempo acontece, que los valores que toma una variable en el tiempo no son independientes entre sí, sino que un valor determinado depende de los valores anteriores, existen dos formas de medir esta dependencia de las variables.

2.5.2.1. FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN (ACF)

La autocorrelación mide la correlación entre dos variables separadas por k periodos.

$$P_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k}) = \frac{\text{cov}(X_j, X_{j-k})}{\sqrt{V(X_j)}\sqrt{V(X_{j-k})}}$$

La función de autocorrelación simple tiene las siguientes propiedades:

- P_0
- $-1 \leq P_j \leq 1$
- *simetria* $P_j = P_{-j}$

2.5.2.2. FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN PARCIAL (PACF)

La autocorrelación parcial mide la correlación entre dos variables separadas por k periodos cuando no se considera la dependencia creada por los retardos intermedios existentes entre ambas.

$$\pi_j = \text{corr}(X_j, X_{j-k} / X_{j-1} X_{j-2} \dots X_{j-k+1})$$

2.5.3. PRUEBA DE LJUNG-BOX

Esta prueba permite probar en forma conjunta de que todos los coeficientes de autocorrelación son simultáneamente iguales a cero, esto es que son independientes, está definida como:

$$LB = n(n+2) \sum_{k=1}^m \left(\frac{P^2 k}{n-k} \right) \sim X^2 m$$

Donde n tamaño de la muestra, m longitud del rezago.

H₀: Las autocorrelaciones son independientes.

H_a: Las autocorrelaciones no son independientes.

En una aplicación, si el Q calculada excede el valor Q crítico de la tabla J_i cuadrada al nivel de significancia seleccionado, no se acepta la hipótesis nula de que todos los coeficientes de autocorrelación son iguales a cero; por lo menos algunos de ellos deben ser diferentes de cero.

2.5.4. MODELO ARIMA

La estacionariedad se puede definir como la constancia en, varianza, media y covarianza en una serie de tiempo y es, lo que primero se debe verificar modelos de este tipo.

Si por algún motivo la estacionariedad no se cumple, se debe incluir en el modelo el operador diferencia.

Sea γ_t una serie de tiempo se puede definir los operadores de diferencia y desfase como:

Operador diferencia: la n-ésima diferencia

$$\Delta^n \gamma_t = \Delta^{n-1} \gamma_t - \Delta^{n-1} \gamma_{t-1} = \sum_{r=0}^n (-1)^r \binom{n}{r} \gamma_{t-r}$$

Operador desfase: operador desfase B

$$B\gamma_t = \gamma_{t-1}$$

Si la serie no es estacionaria, el proceso puede ser integrado de orden d , es decir un modelo ARIMA (p,d,q), donde p se define como un polinomio auto-regresivo y q se define como un polinomio de medias móviles.

Muchas veces en una serie de tiempo dada no se puede transformar la variable y así quitar o minimizar la estacionalidad periódica, siendo así se debe considerar el uso del modelo ARIMA pero con un componente estacional SARIMA.

2.5.5. MODELO SARIMA

A menudo las series temporales poseen un componente estacional que se repite en todas las observaciones, para las observaciones mensuales $s=12$ (12 en 1 año), para las observaciones trimestrales $s=4$ (4 en 1 año). Para hacer frente a la estacionalidad, los procesos ARIMA han sido generalizados, estableciendo los modelos SARIMA (modelo estacional autorregresivo integrado de medias móviles).

Sea y_t la serie de tiempo con periodo de estacionalidad s y con operador autorregresivo estacional de orden P , se define como:

$$\phi(B^s) = 1 - \phi_1 B^s - \dots - \phi_p B^{sp}$$

El operador de medias móviles estacional de orden Q , se define como

$$\theta(B^s) = 1 - \theta_1 B^s - \dots - \theta_Q B^{sQ}$$

Invertible y $\Delta_s^D = (1 - B^s)^D$, donde D es el número de diferencias estacionales. La clase de modelos estacionales multiplicativos $(p,d,q)x(P,D,Q)$ está dada de forma simplificada por:

$$\phi(B)\phi(B^s)(1 - B)^d(1 - B^s)^d y_t = 1 - \theta(B)\theta(B^s)\epsilon_t$$

2.5.6. MODELO SARIMAX

Los modelo SARIMAX (auto regresivos integrados de medias móviles estacionales con variables explicativas) es una estructura de modelamiento que contiene todas las bondades de un modelo SARIMA y adicionalmente puede capturar información sobre variables exógenas (variables independientes) que puedan ayudar a entender y pronosticar la variable de interés. El modelo que describe la relación de y en un tiempo t en términos de τ observaciones anteriores de x dando un modelo final que estaría dado por:

$$(B)\phi(B^s)(1 - B)^d(1 - B^s)^d y_t = 1 - \theta(B)\Theta(B^s)\epsilon_t + \sum_{j=1}^{\tau} \beta_j x_{t-j}\varphi$$

2.5.7. TRANSFORMACIÓN BOX-COX

Cuando se obtiene un data set con variables que no tienen una distribución normal y se quiere obtener una información más precisa de ellas, se usa la transformación de Box-cox. Esta transformación busca un valor “lambda” para poder elevar la variables hasta lograr desviaciones estándar lo más cercanas a cero, así se obtendrá una variable más “normal”.

Esta transformación se puede representar como:

$$x'_\lambda = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda}.$$

Al hacer esta transformación con su pronóstico es necesario realizar un Back- transformation, para que el pronóstico este en la misma escala de medida de las variables originales.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

Según el objetivo de este trabajo, la metodología más acertada para lograr una proyección de los recaudos vehiculares, es hacer uso de los modelos SARIMAX (Auto Regresivo Integrado de Medias Móviles Estacional con Variables Exógenas), ya que este modelo reúne variables estacionales a través del tiempo y puede darnos una proyección más acertada sobre nuestra variable de interés, que es el recaudo vehicular en las dos estaciones de peaje del corredor BOGOTA – GIRARDOT , unido, claro, con las variables exógenas que nos ayudarían a comprender mejor este comportamiento a través del tiempo y que para esta investigación se tomó el flujo vehicular en consideración.

El primer paso para poder genera este estudio, es la obtención de los datos de la variable de interés que como se dijo anteriormente, los suministra la ANI. Estos datos fueron filtrados por proyecto ya que, el corredor vial BOGOTA- GIRARDOT, a lo largo de estos últimos 5 años ha tenido dos contratos, el primero fue llamado, “corredor vial Bogotá – Girardot” y el segundo “ IPP tercer carril “ .

El segundo paso es hacer uso de la metodología de Box Jenkins, la cual, para este estudio, nos invitó a generar una transformación de los datos (Box-Cox) para poder generar un pronóstico mucho más acertado. Es de vital importancia dejar en claro que al generar los pronósticos del modelo con los datos transformados, es necesario deshacer la transformación para que los datos queden a una misma escala que los datos originales y así generar un modelo moderadamente acertado.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Acá se quiere presentar los resultados de los modelos de series de tiempo que se obtuvieron a partir de los datos obtenidos, como se mencionó, datos dados por la ANI, que se pueden encontrar en su página web; <https://www.ani.gov.co/>

Para poder dar buena fé del estudio presentado en esta investigación, se hizo uso del esquema de la prueba por fuera de la muestra, esto quiere decir que los datos se dividieron en dos partes; la primera parte corresponden a los primeros datos de recaudo vehicular (in-sample), los cuales abarcan desde enero de 2014 hasta diciembre de 2017 y la segunda parte, a los datos comprendidos desde enero de 2018 a diciembre de este mismo año (out-sample). Este estudio se realizó haciendo uso de los primeros datos (in-sample), para después hacer una comparativa con los datos out-sample. La idea general del uso de este esquema es que si el modelo resulta ser bueno, el pronóstico generado debe ser moderadamente parecido a los datos reales presentados en el out-sample.

4.1. MODELO SARIMAX

Para poder comenzar hacer un análisis de los datos, es necesario generar un gráfico que nos muestre el comportamiento a través del tiempo. En la figura 4.1 con los datos in-sample se puede ver que la serie muestra una notoria tendencia al aumento al recaudo de los peajes, ya que, como es lógico, las tarifas aumentan a través del tiempo, como también se observa que los datos no son estacionarios, esto quiere decir que no tienen la misma media ni la misma varianza.

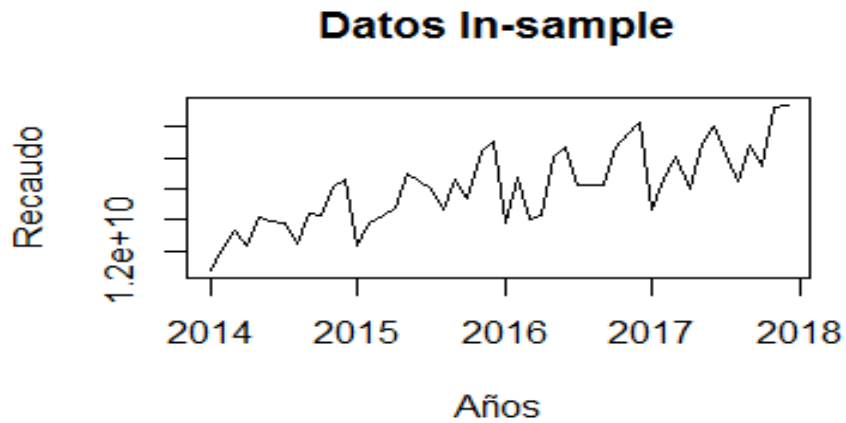


FIGURA 4.1 VARIACIÓN DE LOS DATOS EN EL TIEMPO

Según la metodología Box-Jenkins en su etapa de identificación, es necesario revisar el autocorrelograma y el autocorrelograma parcial. La figura 4.2 muestra los datos en sus componentes estacionales y no estacionales.

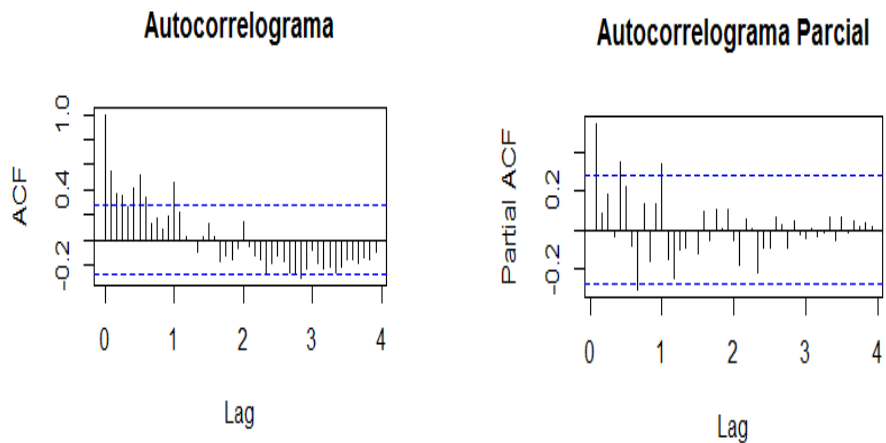


FIGURA 4.2. ACF Y PACF DE LA SERIE CON DATOS IN-SAMPLE

Al proceder hacer una diferenciación de los datos, en la figura 4.3 podemos observar que la media y la variancia se ajustan un poco más, por lo que se empieza ajustar a un $(d=1, D=1)$.

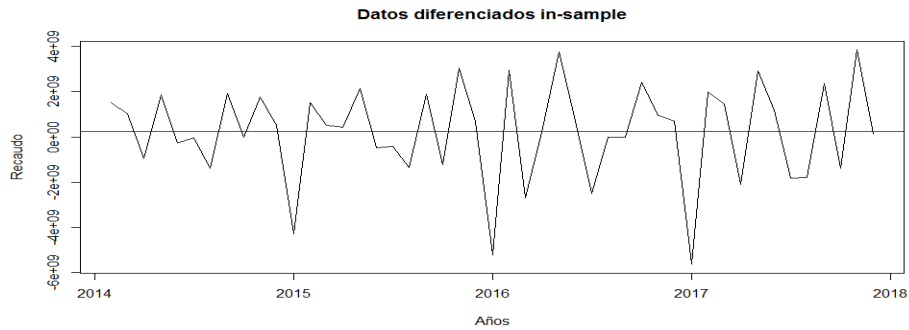


FIGURA 4.3. DATOS IN-SAMPLE DIFERENCIADOS

Al hacer un arduo estudio del modelo diferenciado y haciendo validaciones de autocorrelaciones seriales, normalidad de los residuos y su comportamiento visual, se concluyó que el modelo SARIMAX (12,1,0), tomando en consideración un periodo de rezago (variable exógena “flujo vehicular”) hace un buen pronóstico de los recaudos de las estaciones de peaje del corredor vial BOGOTA - GIRARDOT. A continuación se muestran los valores de los parámetros.

| Parámetro | t-valor | Error estándar |
|-------------|---------|----------------|
| ϕ_1 | -2.8564 | 0.070 |
| ϕ_{12} | 6.9699 | 0.094 |
| x | 2.051 | 0.6574 |

FIGURA 4.4. MODELO SARIMAX(12,1,0)

A este modelo se le procede a ejecutar la transformación de BoxCox, la cual, como se menciona en el ítem 2.5.7. se determina un “lambda” para poder elevar la variable y hacer que tenga una desviación más normal, adicionalmente las gráficas ACF Y PACF de los residuos, aseguran que no existen problemas de autocorrelación serial. En la figura 4.4 se muestran los datos originales vs los valores ajustados ya transformados, así como sus diferencias en sus componentes estacionales y no estacionales.

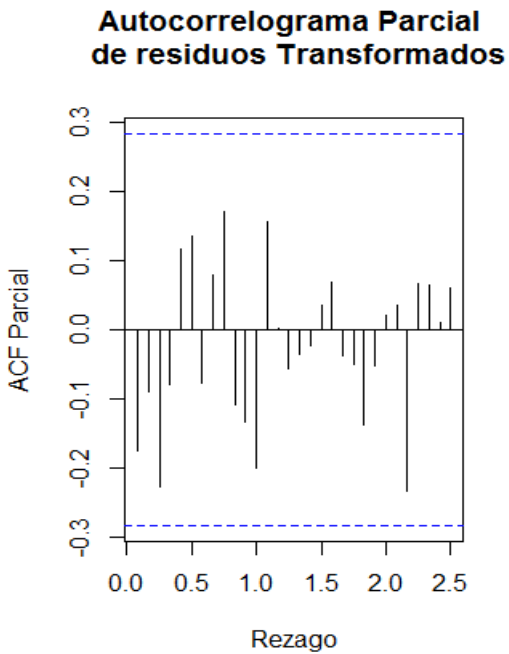
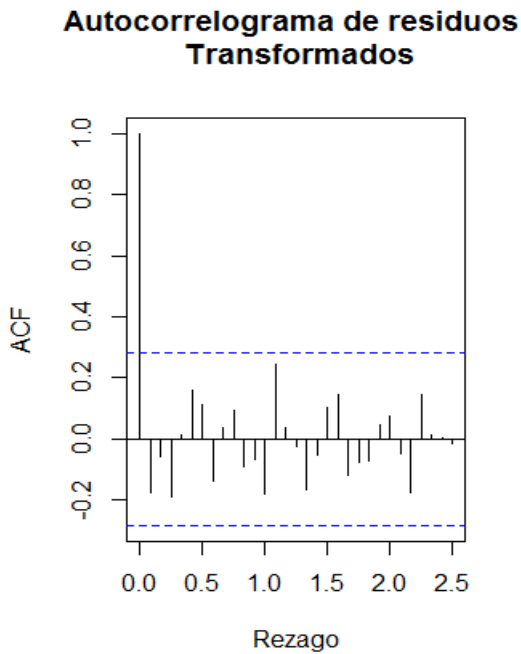
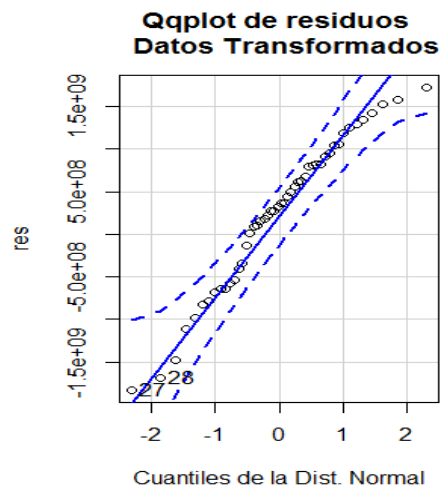
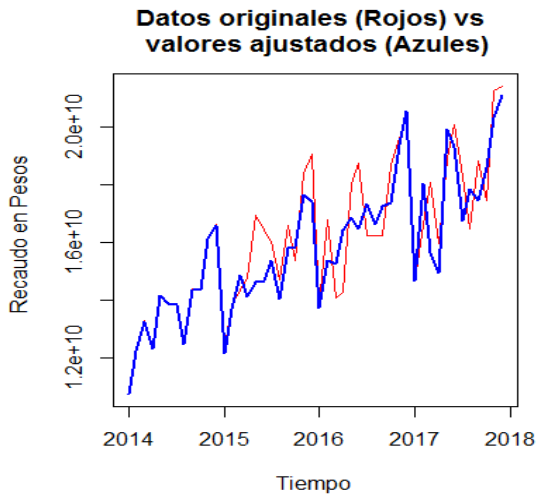


FIGURA 4.5 DATOS TRANSFORMADOS. ACF Y PACF DE LOS RESIDUOS TRANSFORMADOS

Se generaron las pruebas de Ljung-Box y Jarque-Bera para verificar la independencia y normalidad de los datos respectivamente, arrojando un *p-valor* para la prueba de independencia de 0.3949, sugiriendo que con un 5% de significancia los datos son independientes y para la prueba de normalidad se generó un *p-valor* de 0.8229 confirmando que los datos son normales. Hecha esta parte del estudio, se hace la validación de los pronósticos cotejándolos con la

muestra out-sample, revisando que sean medianamente cercanos. En la figura 4.6 se muestra el pronóstico por fuera de la muestra con los datos ya transformados. Recordemos que los datos proyectados se muestran en color azul y los datos originales o out-sample en color rojo.

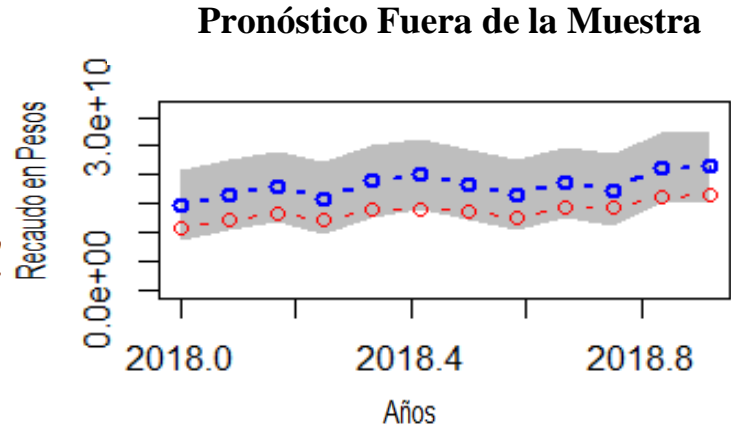


FIGURA 4.6 PRONOSTICO FUERA DE LA MUESTRA DATOS TRANSFORMADOS

De esta manera, queda confirmado que el modelo propuesto sirve para pronosticar el recaudo vehicular de las estaciones de peaje del corredor vial Bogotá - Girardot y así saber si es una buena estimación de recursos económicos para la autofinanciación de proyectos modo carretero.

Estos tipos de proyectos que ya se encuentran concesionados, tienen en sus cláusulas de contratos el tiempo de ejecución que generalmente es a 20 años en todas sus etapas; ejecución y mantenimiento, entre otras. Siendo este modelo para futuros proyectos desde su etapa de estudio, haciendo así que como una de tantas medidas, que el ciudadano no se vea afectado por las malas proyecciones en los recaudos vehiculares en estaciones de peaje.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo propuesto para el pronóstico de los recaudos vehiculares, según los resultados de las autocorrelaciones de los residuos y el valor de los parámetros ajustados, es acorde al objeto de estudio, aun sabiendo que se tengan que realizar transformaciones de normalidad, puesto que estos datos son demasiado fluctuantes en el tiempo, esto se debe a que el flujo vehicular (variable exógena), depende desde fechas ligadas a temporadas de vacaciones altas o bajas, hasta la cantidad de residentes cercanos al tramo objeto de estudio. Cabe aclarar que el estudio se hizo con los precios de peaje ya estipulados, puesto que los precios de estos, derivan de una gran cantidad de variables que van desde el costo de los predios, hasta, y sin limitarse, al tipo de cultivos que se dan en las áreas del proyecto.

- Se realizó un modelo de series de tiempo univariadas SARIMAX, haciendo uso de la variable exógena - flujo vehicular-.
- Se hizo la validación del modelo bajo el esquema in-sample y out-sample, arrojando datos acordes al objetivo de estudio.
- Se encontró que para poder generar un bueno pronóstico del recaudo vehicular es necesario poner en consideración, el valor de rezago del cuarto (4) mes inmediatamente anterior.

Al hacer una proyección de los recaudos en las dos estaciones de peaje hasta el año 2046 se encontró que los recursos económicos no son suficientes para cubrir con los acuerdos contractuales pactados con el concesionario.

| Valor del Contrato | Valor Proyectado de Recaudo | Diferencia VC - VPR |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| \$ 4,197,839,609,774 | \$ 3,517,166,882,355 | -\$ 680,672,727,419 |

FIGURA 5.1 COMPARATIVO VALOR CONTRATO VS PROYECCIÓN DE RECAUDO

En consecuencia se evidencia que hay un déficit de aproximadamente \$680,672,727,419 , valor que el estado Colombiano deberá asumir, y por ende, el ciudadano.

Es recomendable recordar y aclarar que el estudio acá planteado solo toma los datos oficiales de los recaudos y flujos vehiculares de las estaciones de peaje, más no se profundiza en la obtención de las tarifas, puesto que ese estudio es más netamente económico y abarca una gran cantidad de variables a consideración.

Se recomienda como un trabajo futuro, ampliar esta investigación haciendo uso de las más de 20 variables que puedan resultar de la proyección de las tarifas, puesto que para cada tramo o proyecto de infraestructura vial, se ponen a consideración las de todo tipo (especiales, por ejes..), basadas en estudios socio-económicos realizados por el ministerio de transporte.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia Nacional de Infraestructura ANI <https://www.ani.gov.co/informacion-de-la-ani/quienes-somos>
- [2] Departamento Nacional de Planeación. DNP. *Abecé Asociaciones Público Privadas*
- [3] Urbina Majano, Gloria (Sep.2013) Metodología Box-Jenkins. Recuperado de <https://prezi.com/qilwyg5e2lpe/metodologia-de-box-jenkins/>
- [4] Lozano Sébastien. (2018) *Propuesta de un índice SIPSA para el pronóstico de la inflación de Alimentos. Evidencia empírica*
- [5] Portus, L. (1995) *Introducción a la Estadística. McGrw-Hill*
- [6] Dlgorretea. (Abril,2015) *Construyendo un modelo ARMA para series de tiempo*. Recuperado de: <https://dlegorretea.wordpress.com/tag/ljung-box/>
- [7] Santana. E. (Marzo, 2016) *Transformar variables usando BoxCox*. Recuperado de <https://apuntes-r.blogspot.com/2016/03/transformar-variables-usando-box-cox.html>