

# PRONÓSTICO DEL HURTO DE BICICLETAS EN BOGOTÁ DURANTE LA CICLOVÍA

## FORECAST OF BICYCLE THEFT IN BOGOTÁ DURING THE CYCLEWAY

**Edwin Mauricio Díaz Pulido**, emdiazp@libertadores.edu.co

**John González Veloza**, jjgonzalezv02@libertadores.edu.co

### RESUMEN

El presente artículo explora el fenómeno de hurto de bicicletas en Bogotá, y se enfoca en el día domingo, en el que la mayoría de ciudadanos usan la bicicleta de forma recreativa, aprovechando el espacio de la Ciclovía, el cual es monitoreado por autoridades policiales y del distrito, donde de alguna forma se intenta transmitir una sensación de seguridad y confianza, sin embargo, los robos continúan presentándose. El estudio genera un pronóstico de los hurtos de bicicleta durante el domingo de 6:00 a.m. a 6:00 p.m., lapso que comprende la Ciclovía recreativa, la cual se efectúa de 7:00 a.m. a 2:00 p.m., y se desarrolló mediante un análisis de series de tiempo con ayuda del modelo SARIMA, mostrando un pronóstico de robos que sucederán en los próximos dos (2) años y que presenta un nivel de error del 53%. La base de datos muestra las denuncias de hurtos de bicicleta mensuales ocurridas entre los años 2012 a 2021 en Bogotá durante el día domingo de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. (fuente Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia). El pronóstico de robos futuros se dirige a contribuir con la literatura teórica sobre robos de bicicletas, patrones del crimen y estrategias para difundir los riesgos y factores que puedan facilitar el hurto de bicicletas, en el transcurso de la Ciclovía y en horas anteriores y posteriores a su realización.

*Palabras clave: Ciclovía, Pronóstico, Series de Tiempo, Modelo SARIMA, Seguridad*

### ABSTRACT

This article explores the phenomenon of bicycle theft in Bogotá, and focuses on Sunday, in which the majority of citizens use the bicycle recreationally, taking advantage of the space of the Cycleway, which is monitored by police authorities and of the district, where in some way they try to convey a sense of security and trust, however, robberies continue to occur. The study generates a forecast of bicycle thefts during Sunday from

6:00 a.m. to 6:00 p.m., a period that includes the recreational Cicloway, which takes place from 7:00 a.m. to 2:00 p.m., and was developed through a time series analysis with the help of the SARIMA model, showing a forecast of robberies that will occur in the next two (2) years and that presents a level of error of 53%. The database shows the reports of monthly bicycle thefts that occurred between the years 2012 and 2021 in Bogotá during the day Sunday from 6:00 a.m. to 6:00 p.m. (source District Secretariat for Security, Coexistence and Justice). The forecast of future thefts is aimed at contributing to the theoretical literature on bicycle thefts, crime patterns and strategies to spread the risks and factors that may facilitate bicycle theft, during the course of the Cicloway and in the hours before and after the event. its realization.

*Keywords: Cicloway, Forecast, Time Series, SARIMA Model, Safety*

## **INTRODUCCIÓN**

En 1995, el programa de Ciclovía pasa de la Secretaría de Tránsito, al Instituto Distrital de Recreación y Deporte, donde la visión fue crear un espacio seguro que contribuyera a mejorar la calidad de vida, mejora de la salud física y mental de los ciudadanos de todas las edades y condiciones socio-económicas. (Instituto Distrital de Recreación y Deporte [IDRD], s.f.)

Teniendo en cuenta estos objetivos, se pasó de un cubrimiento de menos de 20 kilómetros a 121 kilómetros, se incrementó el horario en dos horas, de 7:00 am a 2:00 pm, y fue creado un sistema administrativo incluyendo el establecimiento de Guardianes de la Ciclovía, miles de voluntarios, y la presencia de personal de la Policía Nacional. (IDRD, s.f.)

Desde entonces, la Ciclovía ha incentivado el uso de la Bicicleta y aunque es el medio de transporte que más contribuye al mejoramiento de la movilidad y el medio ambiente, también es uno de los 10 bienes que más hurtan en Bogotá. Cada día, se roban 21 ciclas y en 4 de cada 10 hurtos opera la modalidad de atraco. (Jaimes, 2022).

Paradójicamente, de acuerdo al diario El Espectador (2021) “Bogotá es una de las ciudades del mundo con mayor infraestructura para montar en bicicleta, sin embargo, los hurtos y la inseguridad no permiten que los ciudadanos aprovechen estos servicios de manera tranquila”.

Al efectuar el análisis de esta situación, se evidencia que la Ciclovía puede afectarse por la percepción de inseguridad y así desmotivar a los bici-usuarios de usar este espacio, por lo cual se requieren estrategias para reducir este fenómeno.

Aunque el objetivo principal del estudio, es generar un pronóstico de los hurtos de bicicleta durante el domingo de 6:00 a.m. a 6:00 p.m., lapso que comprende el desarrollo de la Ciclovía recreativa, la cual se efectúa actualmente de 7:00 a.m. a 2:00 p.m., posiblemente también se podrán obtener recomendaciones para la Policía, el IDRD, la Alcaldía, la empresa privada y los bici-usuarios, según sus requerimientos específicos y autónomos.

## **METODOLOGÍA**

El presente estudio se basó en los datos abiertos proporcionados por la Secretaria de Seguridad y Convivencia a través de Datos Abiertos disponibles en el sitio web: (<https://scj.gov.co/es/oficina-oaiee/estadisticas-mapas>). Las fases para realizar el estudio fueron:

Fase 1: Recolección y descripción de la serie de tiempo

Fase 2: Modelación

Fase 3: Pronóstico

### **Fase 1: Recolección y descripción de la serie de tiempo**

Los datos se recopilan tomando datos reales de la cantidad de denuncias de robos de bicicleta del día domingo entre las 6:00 a 12:00 horas y entre las 12:00 a 18:00 horas desde el año 2012 a 2021 (120 meses), y se suman estos valores, para finalmente obtener una serie de tiempo mensual de 120 registros de la cantidad de robos mensuales del día domingo entre las 6:00 a 18:00 horas.

### **Fase 2: Modelación**

La investigación sigue un enfoque cuantitativo, usando series de tiempo y procesos SARIMA (Morales-Oñate, 2022), donde se aplica la metodología Box-Jenkins. Mediante un análisis de la serie de tiempo de hurtos mensuales de Bicicleta ocurridos en los años 2012 a 2021 en Bogotá en la mañana y tarde del día domingo.

La descripción del modelo SARIMA se presenta en la forma:  
SARIMA (p,d,q,P,D,Q)<sub>s</sub> la cual tiene dos (2) partes:  
La parte no estacional (p,d,q) y la parte estacional (P,D,Q)<sub>s</sub>, donde:  
p = orden AR no estacional,  
d = orden de diferencia no estacional,  
q = orden MA no estacional,  
P = orden AR estacional,  
D = orden de diferencia estacional,  
Q = orden MA estacional y  
S = ventana de tiempo del patrón estacional

El análisis de la serie de tiempo, se efectúa mediante gráficos temporales, transformación de la serie, diferenciación (estacional o no estacional), Prueba de no autocorrelación (Ljung-Box) y estacionariedad (Dickey-Fuller) y autocorrelogramas (ACF y PACF).

Con las validaciones realizadas, se genera una simulación de los posibles modelos SARIMA de orden 11, de la forma SARIMA (p,1,q,P,1,Q)<sub>11</sub>, donde  $p=\{0,1\}$  y  $q=\{0,1\}$ , para posteriormente comparar el AIC, donde se elige el modelo con AIC mínimo.

Teniendo en cuenta el principio de parsimonia (Perez, 2017), los diagramas de tiempo, los ACF y PACF de los residuos y las pruebas para los residuos (Ljung-Box, jarque-bera), las cuales son requisitos mínimos para que el modelo sea considerado, se procede a efectuar el pronóstico.

### **Fase 3: Pronóstico**

El pronóstico genera tres nuevas variables, las cuales son **predicción de robos**, los posibles valores **más bajos de robos** y los posibles valores **superiores de robos**, que representan el intervalo de confianza del 95%.

Finalmente, con estos datos se evalúa el Pronóstico dividiendo la serie en ajuste (train) y prueba (test) y midiendo el desempeño del pronóstico en los datos de prueba.

Se incluyen las métricas: RMSE, MAE, MAPE. Las tres fases del análisis se realizaron en Python con el paquete statsmodels.

## RESULTADOS

El total de hurtos de bicicletas el día domingo entre los años 2012 y 2021 fue de 3881, de los cuales, 2359 se efectuaron en la mañana (60.8%) y 1522 en la tarde (39.2%). Para los primeros 5 años del estudio se registraron 942 robos (24.3%) y para los últimos 5 años, 2939 robos (75.7%), lo cual evidencia un incremento de más de 3 veces. (Figura 1).

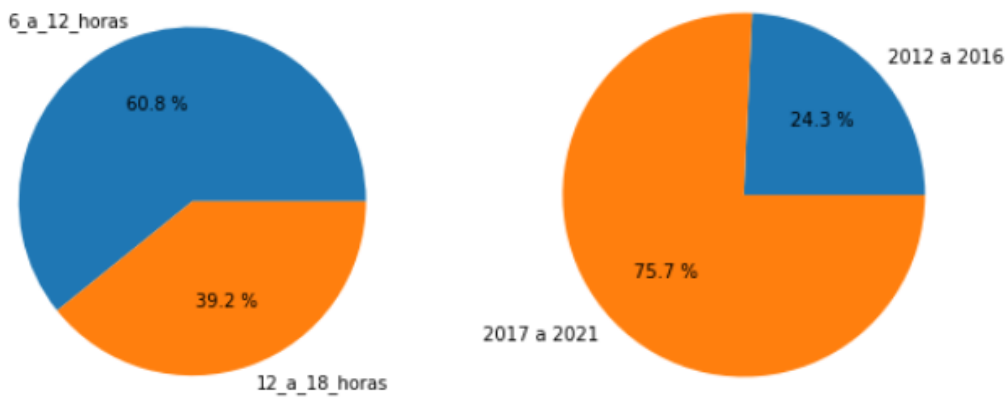


Figura 1. Porcentaje de robos por franja horaria y de robos por quinquenio. Años 2012 a 2021.

Al graficar la serie de tiempo mensual, se puede observar la tendencia ascendente, donde a partir del año 2017 las cifras de hurtos aumentan, debido al mayor uso y comercialización de la bicicleta en estos últimos cinco (5) años (Figura 2).

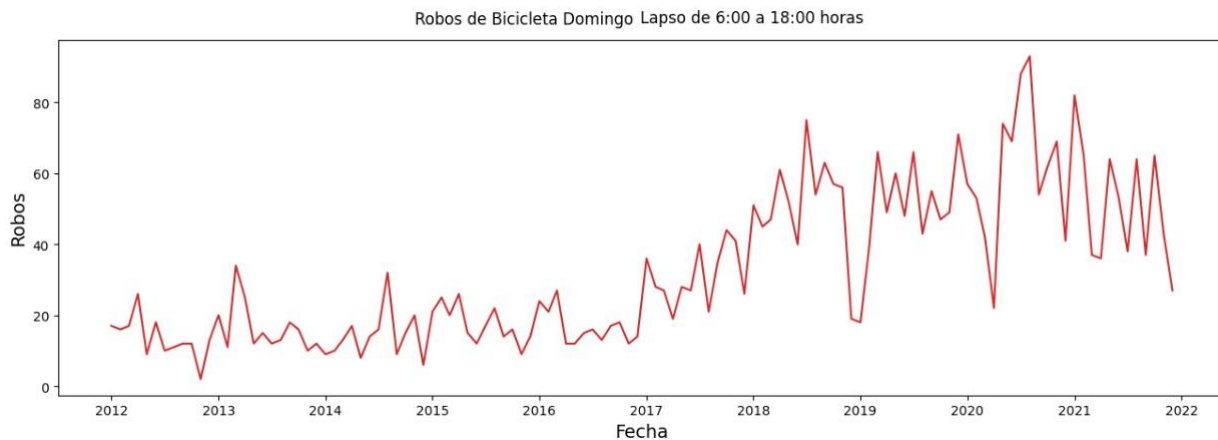
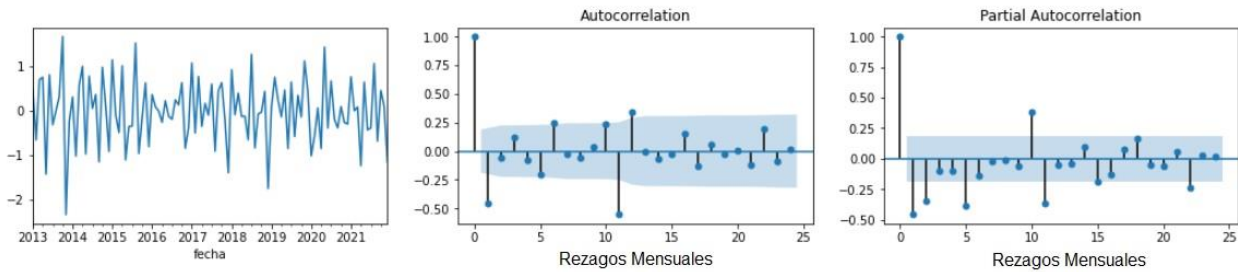


Figura 2. Total mensual de Hurtos de Bicicletas (domingos 6 am a 6 pm), en Bogotá. Años 2012 a 2021.

El modelo base consistió en transformar la serie de tiempo, utilizando logaritmo y una diferencia, donde se encuentra según el autocorrelograma parcial (PACF), una estacionalidad en la serie de cada 11 meses, y con este valor se aplicó nuevamente una diferencia, específicamente en el rezago 11. (Figura 3).



**Figura 3. Serie transformada (logaritmo y diferencia) y diferenciada en el rezago 11, ACF y PACF**

Se prueba la estacionariedad de la serie, mediante la Prueba de Dickey-Fuller, donde se encuentra el valor-p = 0.0002628, y dado a que este coeficiente es menor a 1 y muy próximo a 0, se puede decir, que el proceso estocástico estacionario es estable.

Luego de estos procesos, se realizó la simulación de los modelos SARIMA de orden 11 y se tiene en cuenta el modelo con menor AIC, para realizar el pronóstico (Tabla 1):

**Tabla 1. Simulación de Modelos SARIMA.**

Modelo	AIC	Ljung-box (p-valor)	RMSE
SARIMA (0,1,0)x(0,1,0) <sub>11</sub>	242.33	0	8.49
SARIMA (0,1,0)x(0,1,1) <sub>11</sub>	192.63	0	7.28
SARIMA (0,1,0)x(1,1,1) <sub>11</sub>	185.62	0	7.16
SARIMA (1,1,1)x(0,1,1) <sub>11</sub>	155.67	0.30	6.33
<b>SARIMA (0,1,1)x(0,1,1)<sub>11</sub></b>	<b>155.1</b>	<b>0.45</b>	<b>6.35</b>

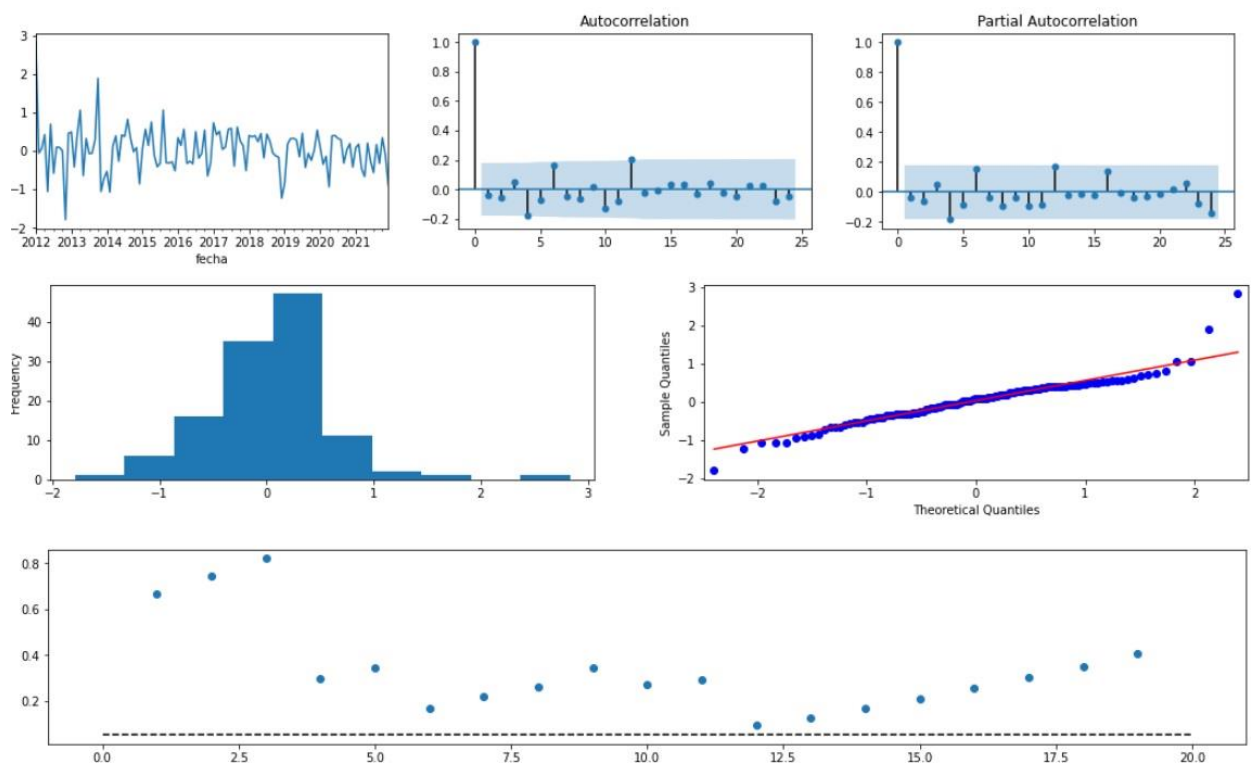
Se encuentra que el modelo con menor AIC, es SARIMA (0,1,1)x(0,1,1)<sub>11</sub>

Veamos el resultado del modelo (los valores detallados se pueden encontrar en Anexos: Figura S1) y los coeficientes generados (Tabla 2):

**Tabla 2. Coeficientes del Modelo seleccionado.**

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
<b>ma.L1</b>	-0.7836	0.079	-9.960	0	-0.938	-0.629
<b>ma.S.L11</b>	-0.8506	0.174	-4.895	0	-1.191	-0.510
<b>sigma2</b>	0.2029	0.043	4.770	0	0.120	0.286

Se puede observar a partir del modelo seleccionado, que la serie de tiempo transformada presenta estacionalidad, los valores de los autocorrelogramas se encuentran dentro del intervalo de confianza del 95%, la mayoría de los residuales están entre 1 y -1 y la variables numéricas presentan una distribución normal (Figura 4).



**Figura 4. Análisis de Residuales del Modelo SARIMA (0,1,1)x(0,1,1)<sub>11</sub>**

Al evaluar el pronóstico se dividió la serie en ajuste (train) y prueba (test) y se midió el desempeño con los datos de prueba (Figura 5).



**Figura 5. Parte Ajuste del 2012-01-01 al 2019-12-31 y Parte Prueba del 2020-01-01 al 2021-12-31. Pronóstico para 2022-01-01 a 2023-12-31 y validación en datos de prueba.**

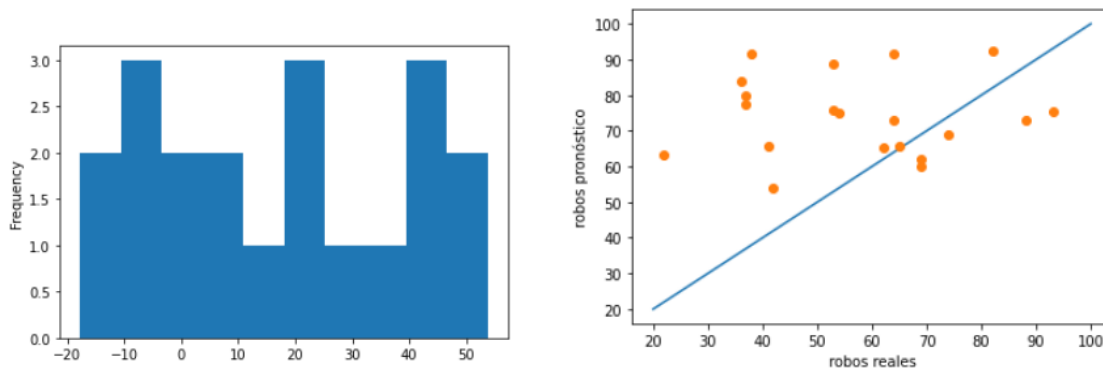
Se calculan las métricas de testeo:

Error cuadrático medio RMSE = 27.38 robos

Error absoluto medio MAE = 22.36 robos

Error porcentual absoluto medio MAPE = 53%

El pronóstico se proyecta para los dos (2) años posteriores a la serie (2022 y 2023), donde según la métrica de MAPE nos indica que en promedio, el 53% de los valores pronosticados presentan error, y donde el error MAE sugiere que el modelo podría pronosticar en promedio 22.36 robos en diferencia a los reales y esto se aprecia al validar los residuales y al compararlo con los datos reales (Figura 6).



**Figura 6. Análisis de residuales en los datos de testeo. Izquierda: Histograma de residuales. Derecha: Dispersión de los robos actuales frente a los robos pronosticados.**



## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De acuerdo a la metodología planteada y los resultados obtenidos, el objetivo se consiguió debido a que se generó un pronóstico de robos mensual de bicicletas en Bogotá durante los domingos entre las 6:00 am y las 6:00 pm, sin embargo, el error porcentual absoluto medio es del 53%.

Al parecer el modelo sigue la tendencia ascendente que se presentaba desde el año 2017 y generó un pronóstico sin tener en cuenta el periodo de confinamiento durante el año 2020, que redujo el robo de bicicletas. Se propone la hipótesis de que los datos obtenidos representan los robos que dejaron de efectuarse por esta causa, y que en los próximos años el patrón de robos tienda a reestablecerse y por ende aumentar las cifras (Ballesteros, 2020), haciendo que este modelo se ajuste en el futuro.

Sin embargo, estas sobreestimaciones que presenta el pronóstico pueden también tener un efecto de advertencia y muestran que la inseguridad puede retomar la tendencia alcista, por lo cual, en este escenario se pueden tomar las medidas para garantizar la confiabilidad de los ciudadanos al transitar con sus bicicletas en los horarios y rutas que comprende la Ciclovía, con campañas en medios masivos para que los ciudadanos registren su bicicleta e incentivando la creación de grupos o comunidades que realicen actividades en torno a la precaución y disminución de los hurtos.

En el escenario contrario, en el que las cifras de denuncias de hurto de bicicletas desciendan, el modelo podría valorar si se está perdiendo la confianza en las autoridades de parte de los ciudadanos o si las cifras concuerdan con la realidad del fenómeno, para dirigir las medidas y estrategias a otros delitos con mayor impacto.

La investigación se apoya en un estudio de caso de robo de bicicletas en Washington DC (Levy et al., 2018), donde se plantean hipótesis sobre la mecánica de cómo se producen los robos y si los sectores con mayor presencia de transeúntes son suficiente factor para disuadir el crimen.

Finalmente, este estudio pretende poner de manifiesto que la protección de la Ciclovía es fundamental para combatir el hurto de bicicletas y es una referencia para determinar si los resultados y conclusiones obtenidos del pronóstico de hurtos de

bicicleta durante la Ciclovía, se pueden ampliar para otros análisis, teniendo en cuenta los días lunes festivos y también si las cifras de denuncias de hurtos cambian radicalmente por alguna situación inesperada.

## **CONCLUSIONES**

En el presente estudio se logra generar un pronóstico de robos mensual de bicicletas en Bogotá durante los domingos entre las 6:00 am y las 6:00 pm, donde inicialmente se identifica una tendencia ascendente de robos desde el año 2017 y con la ayuda de un modelo SARIMA  $(0,1,1) \times (0,1,1)_{11}$  se establece una predicción con un nivel de error del 53%.

Se concluye que el modelo tiene este nivel de error porque sigue la tendencia que se presentaba antes de los sucesos del año 2020 con la pandemia y las medidas de confinamiento, y que esas cifras pudieron ajustarse a la realidad sin esta interrupción en la tendencia, sin embargo, en la medida que el patrón de comportamiento de la ciudadanía se normalice, el robo de bicicletas continuará creciendo en Bogotá, afectando también la Ciclovía.

El presente estudio es un aporte para continuar investigando las implicaciones teóricas y prácticas de patrones de comportamientos delictivos, a través de experimentos, observaciones cualitativas y pronósticos para los días y horarios en que se realicen actividades masivas con bicicletas y también teniendo en cuenta la inclusión de variables exógenas como cantidad de bici-usuarios y análisis de correlación espacial, debido que a mayor cantidad de personas también se espera que se incrementen los hurtos, para que finalmente y según requerimientos específicos, se obtengan recomendaciones y estrategias para la reducción de este fenómeno y el beneficio de todos los grupos de interés.

## **ANEXOS**

Statespace Model Results

```

=====
Dep. Variable:          6_a_18_horas    No. Observations:      120
Model:                 SARIMAX(0, 1, 1)x(0, 1, 1, 11)  Log Likelihood         -74.550
Date:                  Sat, 18 Jun 2022    AIC                    155.100
Time:                  13:33:36           BIC                    163.147
Sample:                01-01-2012         HQIC                   158.363
                    - 12-01-2021

Covariance Type:      opg
=====

```

	coef	std err	z	P> z	[0.025	0.975]
ma.L1	-0.7836	0.079	-9.960	0.000	-0.938	-0.629
ma.S.L11	-0.8506	0.174	-4.895	0.000	-1.191	-0.510
sigma2	0.2029	0.043	4.770	0.000	0.120	0.286

```

=====
Ljung-Box (Q):          33.53    Jarque-Bera (JB):      0.57
Prob(Q):                0.76    Prob(JB):              0.75
Heteroskedasticity (H): 0.60    Skew:                  -0.13
Prob(H) (two-sided):    0.13    Kurtosis:              3.23
=====

```

Figura S1. Coeficientes del Modelo SARIMA (0,1,1)x(0,1,1)<sub>11</sub>

*SARIMA*( $p, d, q, P, D, Q$ )<sub>S</sub>

$$\Phi_p(B^S)\phi_p(B)(1 - B^S)^D(1 - B)^dX_t = \Theta_Q(B^S)\theta_q(B)Z_t$$

*SARIMA*(0, 1, 1) × (0, 1, 1)<sub>11</sub>

$$(1 - \Phi_1 B^{11})(1 - B^{11})(1 - B)Y_t = (1 + \theta_1 B)Z_t$$

$$Y_t = \ln(X_t)$$

$$Z_t \sim \text{Normal}(0, \sigma^2)$$

$$\Phi_1 = -0.85(0.17)$$

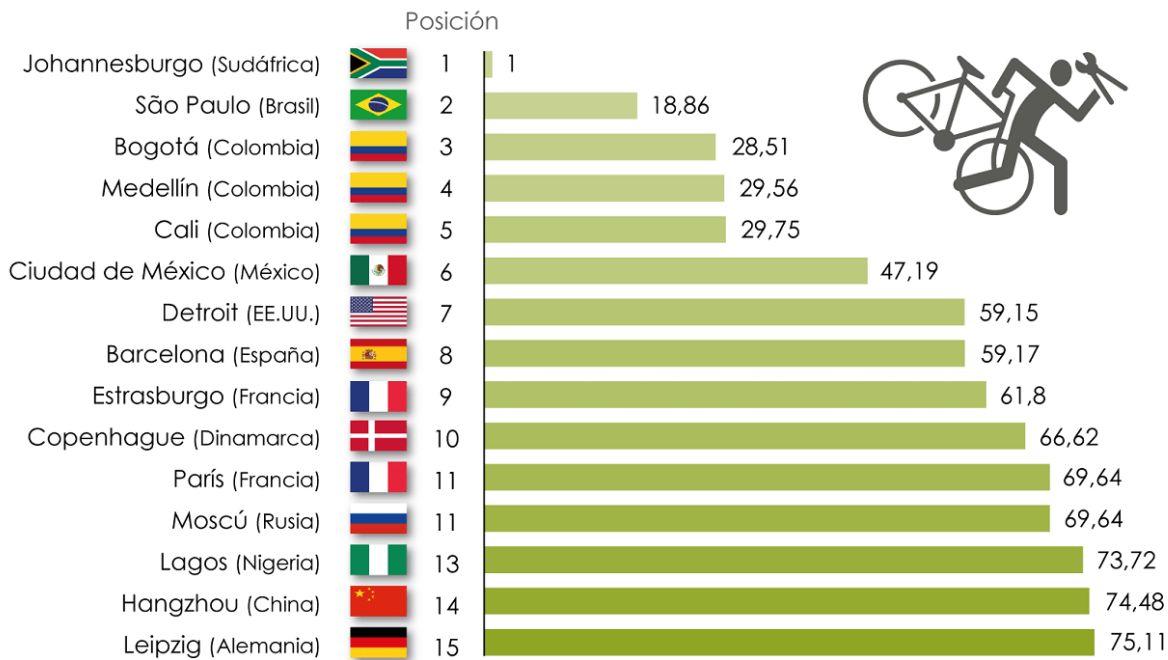
$$\theta = -0.78(0.08)$$

$$\sigma^2 = 0.2(0.04)$$

Figura S2. Descripción del Modelo SARIMA (0,1,1)x(0,1,1)<sub>11</sub>

# Las peores ciudades para aparcar una bicicleta

Peores puntuaciones en robo de bicicletas: 0 (más robos) – 100 (menos robos)



**Gráfico:**  
Álvaro Merino (2020)  
**Fuente:**  
Global Bicycle Cities Index (2019)



Figura S3. (Merino, 2021)

## ROBOS DE BICICLETAS EN LATINOAMÉRICA

	Robos de bicicleta por año	Número de habitantes	Robos por cada 100.000 habitantes
● Bogotá	8000	7.730.000	103
● Buenos Aires	750	3.000.000	25
● Ciudad de México	1800	9.000.000	20
● Medellín	470	2.500.000	19
● Sao Paulo	2000	12.400.000	16
● Cali	300	2.300.000	13
● Lima	1200	9.800.000	12
● Santiago	700	6.500.000	11

Fuente: Bikehouse

Gráfico: LR-JF

Figura S4. (Ballesteros, 2020)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Levy, J. M., Irvin-Erickson, Y., & La Vigne, N. (2018). A case study of bicycle theft on the Washington DC Metrorail system using a Routine Activities and Crime Pattern theory framework. *Security Journal*, 31(1), 226-246.

Instituto Distrital de Recreación y Deporte. (s.f.). *Historia ciclovía bogotana*. Ministerio del Deporte. <https://www.idrd.gov.co/recreacion/ciclovía-bogotana/historia-ciclovía-bogotana>

Morales-Oñate, V. (2 de junio de 2022). Series de Tiempo. *Bookdown*. [https://bookdown.org/victor\\_morales/SeriesdeTiempo/modelizaci%C3%B3n-de-series-univariantes-sarima.html#procesos-sarima](https://bookdown.org/victor_morales/SeriesdeTiempo/modelizaci%C3%B3n-de-series-univariantes-sarima.html#procesos-sarima)

Jaimes, C. (24 de mayo de 2022). *Destacan a Bogotá como una las mejores ciudades para andar en bici, pese a constantes robos*. RCN Radio. <https://www.rcnradio.com/bogota/destacan-a-bogota-como-una-las-mejores-ciudades-para-andar-en-bici-pese-a-constant-robos>

Redacción, B. (10 de noviembre de 2021). Han robado 8.200 bicicletas este año en Bogotá. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/bogota/en-lo-corrido-del-ano-mas-de-8200-ciclas-han-sido-hurtadas-en-bogota/>

Perez, V. (25 de mayo de 2017). *El principio de parsimonia en la resolución de problemas*. Hipertextual. <https://hipertextual.com/2017/05/el-principio-de-parsimonia-en-la-resolucion-de-problemas>

Ballesteros, C. (10 de junio de 2020). ¡No más robo de bicis!. *La República*. <https://www.larepublica.co/analisis/carlos-ballesteros-garcia-3233036/no-mas-robo-de-bicis-3016574>

Merino, A. (4 de enero de 2021). Las ciudades con más robos de bicicletas. *El Orden Mundial*. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/ciudades-mas-robos-bicicletas/>