

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL FLUJO DE TRÁFICO EN INTERSECCIONES DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

## STATISTICAL ANALYSIS OF TRAFFIC FLOW AT INTERSECTIONS IN THE CITY CENTER OF RIOBAMBA

Wilmer Enrique Mera Herrera<sup>1</sup>, Alfredo Rodrigo Colcha Ortiz<sup>2</sup>

{wilmer.mera@unach.edu.ec<sup>1</sup>, alfredo.colcha@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 20/12/2024

/ Fecha de aceptación: 04/01/2025

/ Fecha de publicación: 06/01/2025

**RESUMEN:** El análisis estadístico del flujo de tráfico vehicular en intersecciones críticas del centro de Riobamba se presenta como una herramienta esencial para abordar los problemas de congestión urbana, que afectan tanto la movilidad como la calidad de vida de los habitantes, la investigación combina un enfoque cuantitativo con técnicas avanzadas como el modelo ARIMA, lo que permite descomponer series temporales en componentes de tendencia, estacionalidad y residuos. Este enfoque no solo identifica patrones de tráfico y predice volúmenes futuros, sino que también establece una base para implementar soluciones informadas en la gestión vial. Se analizaron 40.442 datos recolectados mediante simulaciones de sensores en tiempo real, cubriendo 11 intersecciones seleccionadas estratégicamente. Los resultados destacaron un incremento significativo del flujo vehicular en horas pico, particularmente entre las 12:00-13:30 y 17:00-19:00, lo que subraya la necesidad de optimizar la sincronización semafórica y diseñar rutas alternativas. La metodología incluye técnicas de procesamiento y limpieza de datos para garantizar su calidad y fiabilidad, el modelo ARIMA demostró ser robusto para identificar tendencias y proyectar comportamientos futuros, mientras que las visualizaciones interactivas facilitaron la interpretación de los resultados, este estudio evidencia la importancia de realizar análisis de tráfico para mitigar los efectos negativos de la congestión, como las emisiones vehiculares y los tiempos de espera prolongados, proponiendo estrategias sostenibles que optimicen la movilidad urbana, los hallazgos son aplicables a otras ciudades con características similares, sentando las bases para la implementación de políticas públicas basadas en datos que promuevan un desarrollo urbano más eficiente y sostenible.

**Palabras clave:** Tráfico vehicular, congestión urbana, series temporales, modelo ARIMA, movilidad sostenible, gestión del tráfico

**ABSTRACT:** The statistical analysis of the flow of vehicular traffic at critical intersections in the center of Riobamba is presented as an essential tool to address urban congestion problems,

<sup>1</sup>Maestrante, Instituto de Posgrado, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador. <https://orcid.org/0009-0006-4484-950X>.

<sup>2</sup>Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2280-5189>.

which affect both the mobility and the quality of life of the inhabitants. The research combines a quantitative approach with advanced techniques such as the ARIMA model, which allows decomposing time series into trend, seasonality and residual components. This approach not only identifies traffic patterns and predicts future volumes, but also establishes a foundation for implementing informed solutions in road management. 40,442 data collected through real-time sensor simulations were analyzed, covering 11 strategically selected intersections. The results highlighted a significant increase in traffic flow during peak hours, particularly between 12:00-1:30 p.m. and 5:00-7:00 p.m., which underlines the need to optimize traffic light synchronization and design alternative routes. The methodology includes data processing and cleaning techniques to guarantee its quality and reliability, the ARIMA model proved to be robust to identify trends and project future behaviors, while interactive visualizations facilitated the interpretation of the results, this study shows the importance of carrying out traffic analysis to mitigate the negative effects of congestion, such as vehicle emissions and long waiting times, proposing sustainable strategies that optimize urban mobility, the findings are applicable to other cities with similar characteristics, laying the foundations for the implementation of public policies.

***Keywords: Vehicular traffic, urban congestion, time series, ARIMA model, sustainable mobility, traffic management***

## INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana es un desafío creciente en las ciudades modernas, especialmente en áreas de alta densidad vehicular como el centro de Riobamba. Las intersecciones, al ser puntos clave de convergencia del tráfico, representan nodos críticos donde los problemas de congestión, demoras y accidentes suelen intensificarse.

En este contexto, comprender el comportamiento del flujo vehicular mediante análisis estadísticos permite identificar patrones, prever tendencias y proponer soluciones que mejoren la eficiencia del tránsito y reduzcan los impactos negativos asociados. En Riobamba, el crecimiento del parque automotor, combinado con una planificación vial limitada y la falta de sistemas inteligentes de gestión de tráfico, ha derivado en un incremento de los tiempos de espera en las intersecciones y una mayor incidencia de emisiones vehiculares. Estos problemas afectan no solo la movilidad, sino también la calidad de vida de los ciudadanos, al incrementar los niveles de estrés y contaminación.

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis estadístico del flujo vehicular en las principales intersecciones del centro de Riobamba. A través de la recopilación y el procesamiento de datos de tráfico, se busca identificar los factores que contribuyen a la congestión y proponer estrategias basadas en datos para optimizar el flujo vehicular. Este enfoque permitirá generar información relevante para la toma de decisiones en la gestión del tráfico urbano.

Es importante abordar la importancia de las intersecciones en el sistema vial urbano, destacando su impacto en la movilidad y seguridad vial, se debe analizar conceptos como puntos de conflicto,

tipos de intersecciones y métodos de análisis, haciendo hincapié en que las intersecciones, al ser puntos de convergencia y cruce de vehículos, son áreas críticas para el tránsito, y sus deficiencias afectan negativamente la funcionalidad de toda la red vial. Los puntos de conflicto, definidos como áreas potenciales de accidentes, se presentan en intersecciones debido a maniobras imprevistas y a la interacción de flujos direccionales, debemos tomar en cuenta las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, señalando que la semaforización, especialmente con sistemas inteligentes, reduce los conflictos y mejora la seguridad. Por tal razón es importante explorar métodos de análisis como el uso de software de simulación, análisis estadístico y la lógica difusa para optimizar los tiempos de los semáforos (1).

Podemos describir y analizar el comportamiento del tráfico vehicular en condiciones de congestión desde un enfoque macroscópico, fundamentado en la necesidad de abordar los problemas derivados del tráfico urbano, como la contaminación ambiental, el exceso de ruido y el aumento en los accidentes viales, que afectan a la mayoría de las ciudades en el mundo. Utilizando un modelo macroscópico basado en la segunda ley de Newton, permite obtener una solución analítica para describir la fluidez óptima del tráfico en un tramo congestionado, simplificando los cálculos al no requerir métodos numéricos complejos, aunque se reconoce que para escenarios más realistas o sistemas de tráfico más complejos, sería necesario emplear herramientas avanzadas, se demuestra que la densidad de tráfico crítica es un punto clave para maximizar el flujo vehicular y minimizar los tiempos de espera en las carreteras (2).

La simulación se presenta como una herramienta fundamental para la identificación y solución de problemas en el tráfico urbano, especialmente en áreas críticas como intersecciones con alta densidad vehicular. Para esto se puede utilizar software especializado para simular y analizar el comportamiento del flujo vehicular bajo diferentes condiciones, permitiendo evaluar escenarios actuales y proyectar situaciones futuras. A través de la simulación, es posible recopilar datos detallados sobre los niveles de servicio, tiempos de demora, capacidad de las intersecciones y puntos críticos de congestión, ofreciendo una visión integral de la dinámica vehicular en entornos urbanos complejos, los análisis respaldados por simulaciones proporcionan información precisa para la toma de decisiones en la planificación vial además, contribuye a diseñar soluciones sostenibles que optimizan las ciudades (3).

En un contexto apegado a la realidad de las ciudades del Ecuador podemos clasificar los niveles de servicio en intersecciones urbanas según estándares internacionales, lo que resulta fundamental para evaluar la eficiencia del flujo vehicular y determinar áreas críticas de congestión. Los niveles de servicio (LOS, por sus siglas en inglés) se clasifican en una escala de "A" a "F", donde "A" representa un flujo vehicular libre, con tiempos de demora mínimos, y "F" indica condiciones de congestión extrema, con tiempos de espera elevados y circulación ineficiente. Estas clasificaciones se basan en indicadores clave como el tiempo de demora promedio por vehículo, el volumen de tráfico y la capacidad de la intersección. En contextos urbanos, los niveles de servicio "C" y "D" son comunes y aceptables bajo ciertas circunstancias, aunque reflejan una disminución en la calidad de la movilidad (4).

El uso de modelos estadísticos de Análisis de series temporales como ARIMA es crucial en el análisis de flujo vehicular, especialmente para la planificación y gestión de infraestructura y

transporte, estos modelos permiten descomponer series de tiempo en componentes esenciales como tendencia, estacionalidad y variaciones aleatorias, lo que facilita una comprensión más profunda de las dinámicas del tráfico. En particular, el modelo ARIMA destaca por su capacidad para predecir volúmenes vehiculares futuros, lo que resulta invaluable para la toma de decisiones informadas. Su implementación permite identificar patrones de congestión en períodos específicos, optimizar horarios de tránsito y priorizar intervenciones en puntos críticos. Además, al validar los resultados mediante análisis de autocorrelación, heterocedasticidad y normalidad, se garantiza la confiabilidad de las predicciones, haciendo que sean aplicables en contextos reales (5).

Es importante realizar análisis de tráfico en las ciudades como una herramienta indispensable para la planificación urbana eficiente, la comprensión detallada del flujo vehicular permite identificar áreas críticas, anticipar problemas de congestión y evaluar las necesidades futuras de movilidad en las ciudades. Este enfoque no solo es clave para mitigar los efectos negativos del tráfico, como la contaminación y los accidentes, sino también para diseñar y priorizar soluciones de infraestructura que respondan a las demandas crecientes.

El análisis de tráfico no solo se limita a medir el volumen vehicular, sino que también considera factores como patrones de movilidad, densidad poblacional y uso del suelo, estas evaluaciones son fundamentales para decidir la construcción de infraestructuras complementarias, como pasos a desnivel, avenidas de mayor capacidad o sistemas de transporte público más eficientes (6).

El presente estudio es justificado por la necesidad de implementar soluciones sostenibles que aborden los problemas de congestión y movilidad en el centro de Riobamba, además, busca sentar las bases para futuras investigaciones que integren tecnologías modernas como sensores de tráfico y simulaciones computacionales, los resultados de este análisis tienen el potencial de servir como insumo para diseñar políticas públicas orientadas a la mejora del sistema vial y la calidad de vida de los habitantes (7).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación sigue un enfoque cuantitativo, ya que analiza datos numéricos recolectados de manera sistemática para evaluar patrones y tendencias en el flujo de tráfico vehicular en intersecciones clave del centro de Riobamba, este enfoque se complementa con un análisis descriptivo y predictivo que permite generar conclusiones basadas en evidencia empírica. Para la recolección de datos, se utilizó la simulaciones de sensores en tiempo real gracias a nuevas tecnologías basadas en georeferenciación, registrando variables como fecha, hora, tipo de vehículo (automóvil, camioneta, motocicleta, etc.), movimiento (recto, giro a la derecha o izquierda) y coordenadas geográficas, estos datos fueron procesados utilizando Python para garantizar su limpieza, normalización y estructuración, lo que asegura su calidad y confiabilidad para el análisis estadístico.

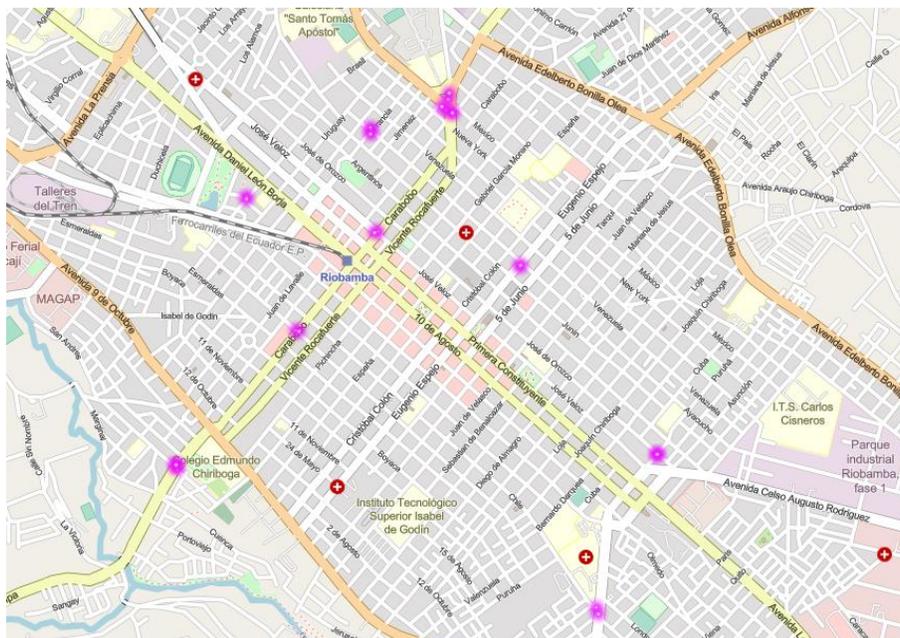
En cuanto a las técnicas e instrumentos, se empleó el modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) para descomponer los datos en componentes de tendencia, estacionalidad y

residuo, permitiendo identificar patrones temporales y predecir el comportamiento del tráfico, este modelo fue complementado con visualizaciones interactivas generadas con las librerías Matplotlib, las cuales facilitaron la interpretación de los datos y la identificación de áreas críticas.

La muestra se compone de 40,442 datos recolectados durante un período de varios días en 11 intersecciones seleccionadas estratégicamente, considerando su nivel de congestión y su impacto en la movilidad urbana, adicionalmente, se realizó un análisis de horas pico (12:00-13:30 y 17:00-19:00) para evaluar las condiciones más congestionadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ciudad de Riobamba ha experimentado un crecimiento significativo de acuerdo con (8) en su parque automotor en los últimos años, lo que ha generado un aumento en los problemas de tráfico y congestionamiento en diversas intersecciones de la ciudad. La identificación y manejo de estas intersecciones conflictivas es esencial para mejorar la movilidad urbana y la seguridad vial, la Universidad Nacional de Chimborazo desde su programa semestral de investigación formativa establece en la carrera de Ingeniería Civil el proyecto interdisciplinario "Modelo Predictivo para Intersecciones Conflictivas en la Ciudad de Riobamba", este proyecto interdisciplinario se propone abordar este problema utilizando técnicas avanzadas de análisis y modelado predictivo, integrando conocimientos de Ingeniería Civil, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Tránsito y Transporte, y Métodos Numéricos (9). Para este trabajo de investigación se han considerado 11 intersecciones del centro de la ciudad de Riobamba las cuales las cuales son de alto tráfico vehicular.



**Figura 1. Intersecciones seleccionadas para el análisis de tráfico en el centro de Riobamba.**

Los estudiantes con el uso de nuevas tecnologías y a través de la simulación de sensores levantaron 40.442 datos validos que entre las características principales se encuentran la Intersección, Fecha y Hora, Tipo de Vehículo, Movimiento y la geolocalización con su coordenada X e Y.

**Tabla 1. Formato de la recolección de los datos.**

Intersección	Fecha	Tipo Vehículo	Movimiento	x	y
G27A001	07/22/2024 11:30:21,437	Automóvil	Recto	-78,6408976	-1,6778137
G27A001	07/22/2024 11:30:21,437	Automóvil	Recto	-78,6408976	-1,6778137
G27A001	07/22/2024 11:30:58,288	Automóvil	Recto	-78,6408663	-1,67782077
G27A001	07/22/2024 11:31:36	Automóvil	Derecha	-78,6408589	-1,67785642
G27A001	07/22/2024 11:31:11	Automóvil	Recto	-78,6408455	-1,67783905
G27A001	07/22/2024 11:31:41	Automóvil	Derecha	-78,6408944	-1,67787302
G27A002	07/22/2024 11:31:43,986	Automóvil	Recto	-78,6408475	-1,6778675
G27A001	07/22/2024 11:32:34	Camioneta	Recto	-78,6409098	-1,67789623

**Análisis de series temporales con el método ARIMA.**

El modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) es una herramienta estadística poderosa para el análisis y pronóstico de series temporales, su capacidad para descomponer patrones en tendencia, estacionalidad y residuo permite comprender cómo varían los datos en el tiempo, identificar ciclos repetitivos y detectar anomalías. Aplicado a los datos de flujo vehicular en el centro de Riobamba, este modelo puede revelar tendencias a largo plazo, como el incremento del tráfico en ciertas horas del día, y estacionalidades, como las horas pico. Además, ARIMA facilita la predicción de flujos futuros, lo cual es crucial para planificar estrategias de movilidad y gestión vial (10).

También permite evaluar el impacto de intervenciones, como cambios en la sincronización de semáforos o la apertura de nuevas rutas, comparando patrones antes y después de las modificaciones. Su capacidad de detección de anomalías ayuda a identificar eventos inesperados como accidentes o desvíos, que afectan significativamente la circulación. El modelo es particularmente relevante para los datos levantados en el centro de Riobamba, ya que esta área concentra gran parte del tráfico urbano, lo que lo convierte en un punto crítico para la planificación. Implementar ARIMA no solo aporta precisión analítica, sino que también ofrece una base sólida para decisiones de infraestructura y transporte basadas en datos (11).

El presente estudio identificará las Tendencias a Largo Plazo, el método de descomposición estacional te permite separar la serie temporal en tres componentes:

- **Tendencia:** Identifica si el flujo vehicular aumenta, disminuye o se mantiene constante durante el día o el período analizado.
- **Estacionalidad:** Captura patrones cíclicos o repetitivos en intervalos específicos (por ejemplo, horas pico en la mañana y tarde).
- **Residuo (Ruido):** Identifica variaciones no explicadas por la tendencia ni la estacionalidad, como eventos atípicos o accidentes.

Para entender si las horas pico se mantienen consistentes todos los días y evaluar si el tráfico disminuye o aumenta durante ciertos días de la semana, para este efecto se toma como horas pico las del medio día desde las 12:00 hasta las 13:30 y por la tarde de 17:00 hasta las 19:00

Con los datos recolectados y las consideraciones de las horas pico se construye el Modelo ARIMA en Python teniendo el siguiente Código:

## Código Python Parte 1

```

import pandas as pd
from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose
import matplotlib.pyplot as plt
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
# Cargar los datos válidos
file_path = 'C:\AnálisisTrafico\Trafico_InterseccionDatos_Filtrados.csv'
data = pd.read_csv(file_path, sep=',', parse_dates=['Fecha'])
# Configurar la columna Fecha como índice
data.set_index('Fecha', inplace=True)
# Hay que asegurar de que los datos están ordenados cronológicamente
data.sort_index(inplace=True)
# Filtrar las horas pico (12:00-13:30 y 17:00-19:00)
data['Hora'] = data.index.hour # Extraer la hora
horas_pico_mediodia = data.between_time('12:00', '13:30')
horas_pico_tarde = data.between_time('17:00', '19:00')
# Combinar las dos franjas horarias usando pd.concat()
horas_pico = pd.concat([horas_pico_mediodia, horas_pico_tarde])
# Resamplear por hora en las horas pico (conteo de eventos por hora)
data_hourly = horas_pico.resample('H').size()
# Descomposición estacional
decomposition = seasonal_decompose(data_hourly, model='additive',
period=24) # Periodo de 24 horas
# Graficar la descomposición con fechas y horas
plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.subplot(411)
plt.plot(decomposition.observed, label='Datos Observados')
plt.title('Descomposición de la Serie Temporal - Datos Observados')
plt.ylabel('Cantidad')
plt.xticks(rotation=45)
plt.subplot(412)
plt.plot(decomposition.trend, label='Tendencia', color='orange')
plt.title('Tendencia a Largo Plazo')
plt.ylabel('Cantidad')
plt.xticks(rotation=45)
plt.subplot(413)
plt.plot(decomposition.seasonal, label='Estacionalidad', color='green')
plt.title('Patrón Estacional (Ciclo Diario)')
plt.ylabel('Cantidad')
plt.xticks(rotation=45)
plt.subplot(414)
plt.plot(decomposition.resid, label='Residuos', color='red')
plt.title('Residuos (Ruido)')

```

Figura 2. Código Python 1. Implementación del Modelo Estadístico ARIMA con Python Parte 1.

## Código Python Parte 2

```

# Modelo ARIMA
# Restar la tendencia y la estacionalidad para trabajar con los residuos
residual = decomposition.resid.dropna()

# Ajustar el modelo ARIMA
model = ARIMA(residual, order=(1,0,2))
arima_result = model.fit()

# Resumen del modelo
print(arima_result.summary())

# Predicción para las próximas 24 horas
forecast_24h = arima_result.forecast(steps=24)

# Predicción para la próxima semana (7 días * 24 horas)
forecast_week = arima_result.forecast(steps=24 * 7)

# Graficar residuos, predicción de 24 horas y predicción de una semana con
# fechas y horas
plt.figure(figsize=(14, 8))
plt.plot(residual, label='Residuos', color='blue')
plt.plot(forecast_24h, label='Predicción Próximas 24 Horas', color='red')
plt.plot(forecast_week, label='Predicción Próxima Semana', color='green')
plt.title('Residuos y Predicción para las Próximas Horas y Semana')
plt.xlabel('Tiempo (Fecha y Hora)')
plt.ylabel('Cantidad')
plt.legend()
plt.xticks(rotation=45)
plt.tight_layout()
plt.show()

# Graficar datos en las horas pico
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(data_hourly, label='Datos Horas Pico', color='purple')
plt.title('Tendencia del Tráfico en Horas Pico (12:00-13:30 y 17:00-19:00)')
plt.xlabel('Tiempo (Fecha y Hora)')
plt.ylabel('Cantidad de Vehículos')
plt.legend()
plt.xticks(rotation=45)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

**Figura 3. Código Python 2. Implementación del Modelo Estadístico ARIMA con Python Parte 2.**

Como resultados de la implementación del modelo ARIMA en Python tenemos los siguientes resultados.

*Tabla 2. Resultados de la aplicación del modelo ARIMA.*

SARIMAX Results			
Dep. Variable:	resid	No. Observations:	121
Model:	ARIMA(1, 0, 2)	Log Likelihood	-850.142
Date:	Tue, 24 Dec 2024	AIC	1710.283
Time:	17:33:40	BIC	1724.262
Sample:	07-23-2024	HQIC	1715.961
	- 07-28-2024		
Covariance Type:	opg		

El modelo ARIMA se trabajó con los parámetros (1, 0, 2), que define los tres componentes clave que guían cómo el modelo ajusta los datos de la serie temporal, además de los diferentes ajustes se tomó el que tenía el menor valor del AIC:

#### Uso de estos parámetros:

##### 1. Por qué $p=1$ :

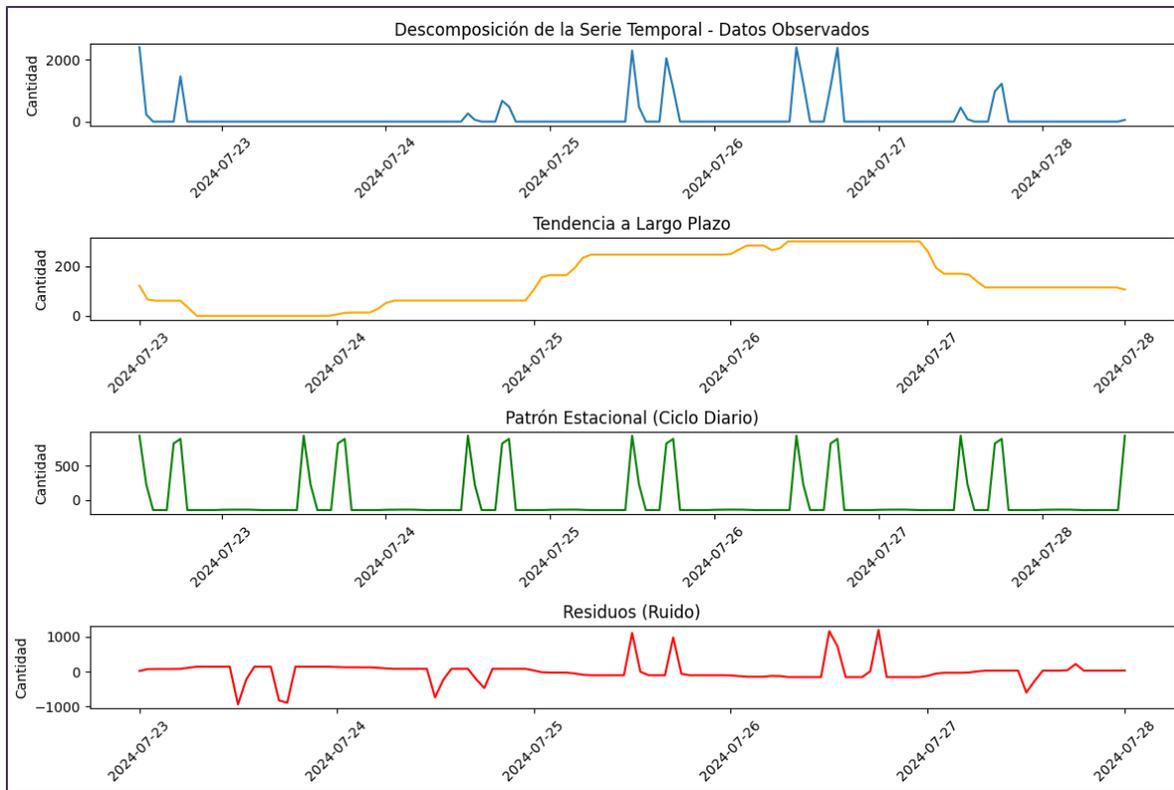
Es común empezar con valores pequeños para el componente autoregresivo, especialmente si se cree que la serie tiene una dependencia directa con su pasado inmediato, este valor es adecuado para capturar relaciones simples entre los puntos adyacentes en el tiempo.

##### 2. Por qué $d=0$ :

Dado que se está trabajando con los **residuos** de un proceso de descomposición estacional, estos ya están libres de tendencia o estacionalidad. No es necesario aplicar diferenciación adicional.

##### 3. Por qué $q=2$ :

Un orden de media móvil de 2 permite capturar fluctuaciones más complejas en los errores residuales, esto es útil si el patrón de los errores no es completamente aleatorio, sino que tiene cierta correlación a corto plazo.



**Figura 4. Resultados de los diferentes parámetros del modelo ARIMA.**

**Podemos desglosar el gráfico del modelo en las siguientes partes:**

### Datos observados

Esta parte del gráfico muestra la serie temporal original tal como fue registrada, se pueden observar picos notables en ciertos momentos, mientras que en otros la actividad es baja o nula. Los picos corresponden a momentos de alta actividad vehicular, probablemente durante las horas pico o eventos específicos. El comportamiento es irregular, pero presenta patrones repetitivos, con periodos de alta actividad intercalados con periodos de calma (12).

### Tendencia a largo plazo

La tendencia muestra un comportamiento general y suavizado de los datos, eliminando las fluctuaciones a corto plazo. En este caso, se aprecia que los valores son altos al inicio y luego tienden a estabilizarse o disminuir ligeramente hacia los días finales. Esto podría reflejar una disminución en el flujo vehicular durante los días analizados, ya sea por factores externos (clima, restricciones, etc.) o simplemente por un patrón natural en el tráfico (13).

### Patrón estacional (ciclo diario)

Aquí se representa el comportamiento cíclico que ocurre diariamente, se observa un patrón repetitivo con picos regulares y descensos durante las horas normales. Esto confirma la presencia de horas pico constantes en el tráfico diario, probablemente relacionadas con las actividades habituales como almuerzos y salidas del trabajo, este patrón estacional es consistente con un ciclo diario de tráfico y puede ser útil para predecir horarios de mayor congestión.

### Residuos (ruido)

Los residuos representan las variaciones que no pudieron ser explicadas por la tendencia ni la estacionalidad, estas fluctuaciones pueden ser causadas por eventos atípicos como accidentes, cierres de vías, o cambios no regulares en el flujo vehicular, en este caso, los residuos parecen tener fluctuaciones amplias en ciertos momentos, lo que indica que hay eventos que afectan el tráfico más allá del patrón esperado. Aunque el modelo captura gran parte del comportamiento de los datos, hay variaciones impredecibles (ruido) que podrían ser investigadas con información adicional (14).

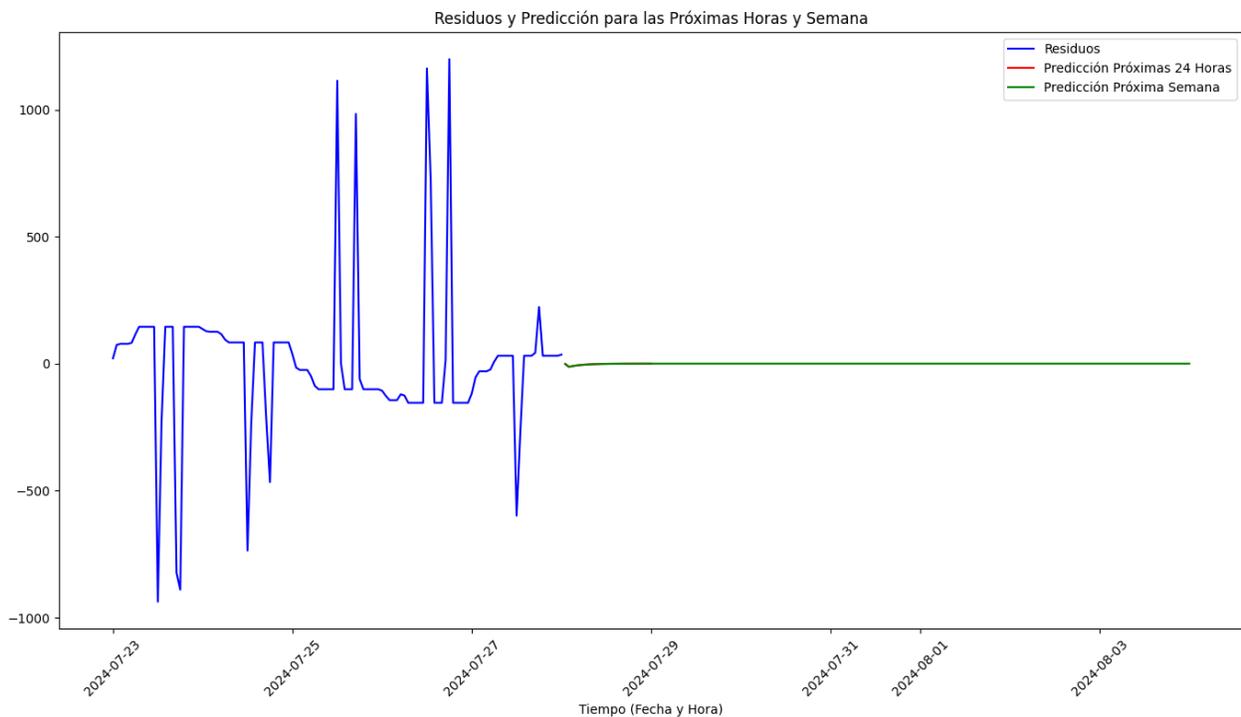
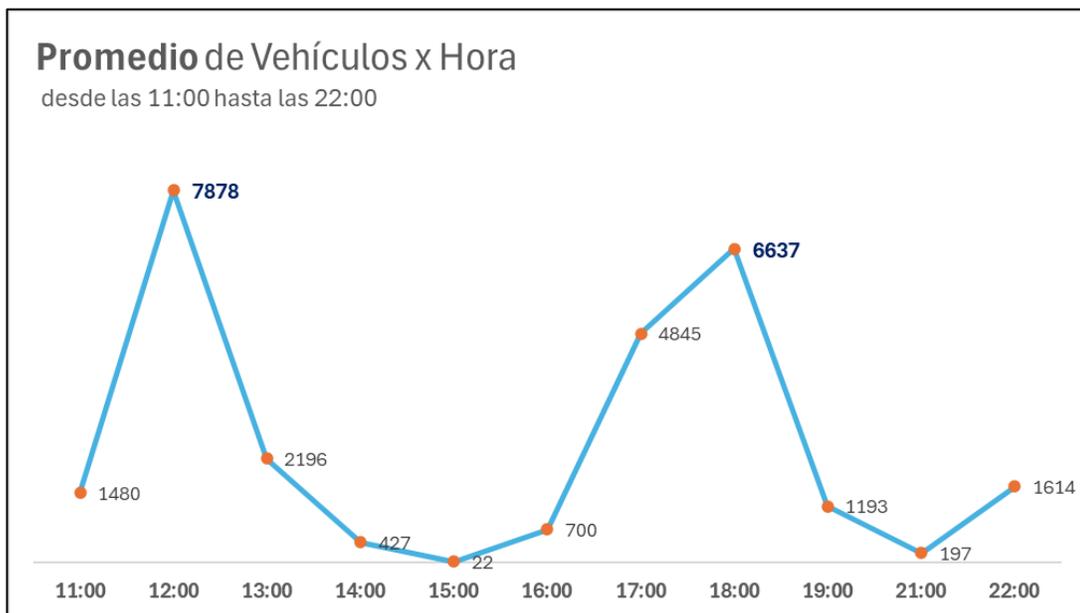


Figura 5. Resultados de la predicción del modelo ARIMA.

## Predicción

Residuos (línea azul): Los residuos reflejan las variaciones no explicadas por el modelo, como se observó en los gráficos anteriores, hay fluctuaciones significativas en las primeras horas, que luego tienden a estabilizarse. Los residuos grandes y erráticos según (15) en ciertos momentos sugieren que hay eventos inesperados o atípicos en los datos que el modelo no captura completamente.

La predicción es bastante estable y mantiene un valor cercano a cero en las horas posteriores al último punto de los residuos, esto sugiere que el modelo predice un patrón regular y sin grandes cambios en la actividad vehicular, probablemente porque los residuos previos han sido neutralizados en este rango.



**Figura 6. Análisis del promedio de vehículos por hora de todos los datos.**

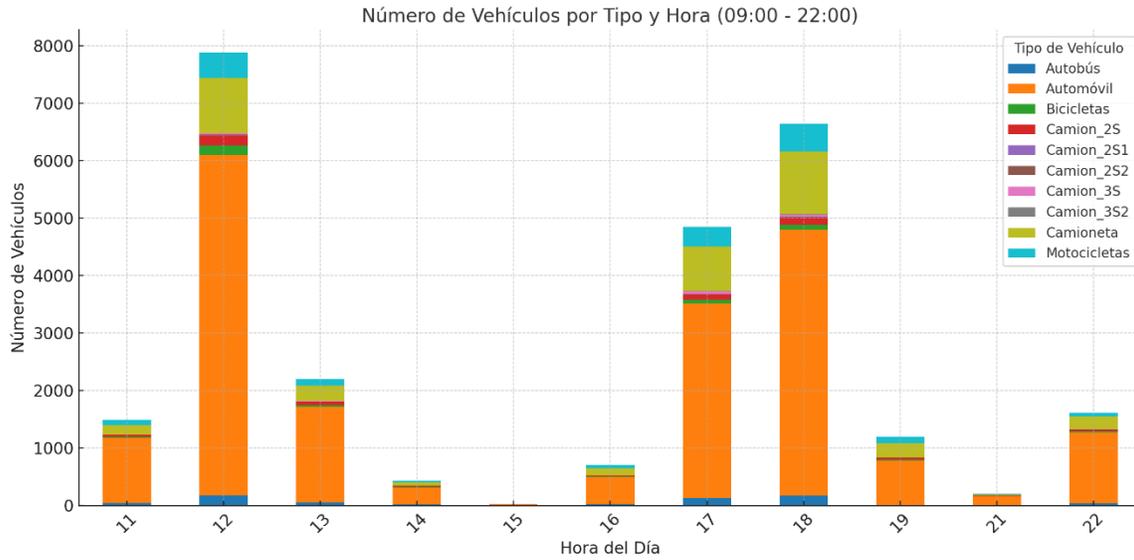


Figura 7. Análisis del tipo de vehículos por hora.

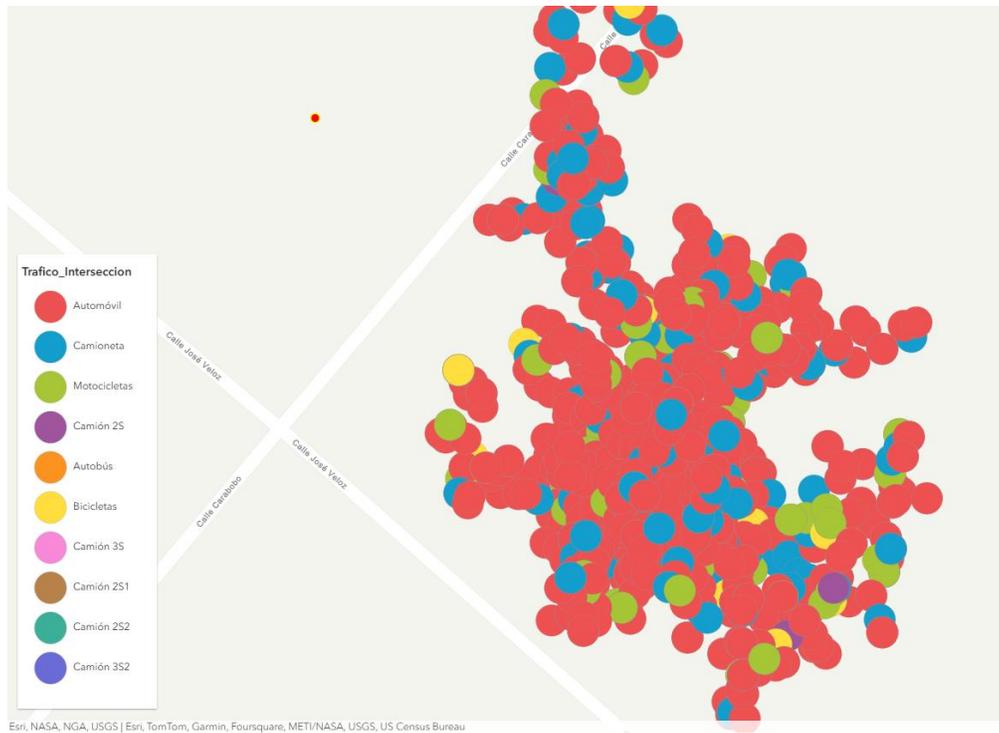


Figura 8. Patrón de vehículos en la intersección de las Calles Carabobo y José Veloz.

## DISCUSIÓN

La investigación sobre el flujo de tráfico en las intersecciones del centro de Riobamba permitió analizar patrones y comportamientos del tránsito vehicular mediante el uso del modelo ARIMA y herramientas estadísticas avanzadas, este modelo facilitó la descomposición de los datos recolectados en componentes clave, como tendencia, estacionalidad y ruido, lo que permitió identificar las dinámicas del tráfico en las horas pico y predecir volúmenes futuros de vehículos (16).

Los resultados indicaron un incremento significativo en el flujo vehicular durante las horas pico, particularmente entre las 12:00-13:30 y 17:00-19:00, esto destaca la importancia de ajustar la sincronización semafórica y diseñar rutas alternativas para mitigar la congestión en estos periodos (17).

El modelo ARIMA demostró ser una herramienta robusta y confiable para analizar y predecir el comportamiento del tráfico, la elección de parámetros específicos (1,0,2) permitió obtener predicciones precisas, que son esenciales para el desarrollo de estrategias de gestión vial (18).

Se identificaron áreas críticas donde la congestión afecta no solo la movilidad, sino también la calidad de vida urbana, incrementando tiempos de espera y emisiones vehiculares. Estas zonas deben priorizarse en intervenciones futuras (19).

Los datos recolectados fueron validados mediante comparación con mediciones empíricas, lo que asegura la fiabilidad de los resultados, las recomendaciones incluyen la implementación de sistemas inteligentes de semaforización, la optimización de intersecciones y el fomento de alternativas de transporte público, (20). Este análisis estadístico proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas en la gestión del tráfico urbano, contribuyendo a la movilidad sostenible y al bienestar de los habitantes de Riobamba. Los resultados obtenidos pueden aplicarse a estudios similares en otras ciudades con características urbanas y de tráfico similares (21).

## CONCLUSIONES

El análisis de las intersecciones críticas en el centro de Riobamba reveló que las horas pico, particularmente entre las 12:00-13:30 y 17:00-19:00, concentran el mayor flujo vehicular, lo que genera congestión significativa, este patrón subraya la necesidad de ajustar la sincronización de semáforos y explorar rutas alternativas para optimizar el tránsito durante estos periodos críticos.

El modelo estadístico ARIMA, con los parámetros seleccionados (1, 0, 2), demostró ser una herramienta robusta para analizar y predecir patrones de tráfico vehicular, su capacidad para descomponer series temporales en componentes como tendencia, estacionalidad y residuos permitió identificar dinámicas clave y proyectar volúmenes futuros de tráfico, facilitando la planificación estratégica en la gestión vial.

Se identificaron intersecciones con alta densidad vehicular donde la congestión afecta no solo la movilidad, sino también la calidad de vida de los ciudadanos debido a mayores emisiones vehiculares y tiempos de espera prolongados, estas áreas deben priorizarse para intervenciones futuras, como la implementación de sistemas inteligentes de gestión de tráfico.

Los datos recolectados mediante simulaciones y su validación empírica garantizan la fiabilidad de los resultados obtenidos, esto respalda la aplicabilidad de los hallazgos en decisiones basadas en datos para mejorar la movilidad urbana y reducir el impacto ambiental.

El estudio destaca la importancia de implementar políticas públicas basadas en evidencia para mitigar los efectos negativos de la congestión vehicular, esto incluye el desarrollo de infraestructura complementaria, sistemas de transporte público eficientes y medidas para fomentar la movilidad sostenible en el centro de Riobamba.

Los resultados obtenidos ofrecen una base sólida para replicar este enfoque en otras ciudades con características similares, promoviendo soluciones sostenibles que optimicen la movilidad urbana y mejoren la calidad de vida de los habitantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Miramontes García, E., Vidaña Bencomo, J. O., & Rodríguez Esparza, M. A. (2015). Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 51-60.
2. Pérez, F., Bautista, A., Salazar, M., & Macias, A. (2014). Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico. *DYNA*, 81(184), 36-40. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.38650>
3. Rojas, M. P., Córdova, S. E. A., & Cáceres, S. H. (2023). UTILIZACIÓN DE LA MICROSIMULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR EN VÍAS URBANAS. *Revista Investigación & Desarrollo*, 23(1), Article 1. <https://doi.org/10.23881/idupbo.023.1-5i>
4. (PDF) Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador: Analysis of the service level at the intersection of the Manabí and America avenues, Portoviejo, Ecuador. (2024). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.4287>
5. Alarcón Guarín, R., & Cascante Carreño, S. J. (2018). *Estimación del flujo vehicular a través de series de tiempo*. [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/5632/Estimacion\\_del\\_flujo\\_vehicular\\_a\\_traves\\_de\\_series\\_de\\_tiempo\\_caso\\_arcabuco\\_sachica\\_y\\_Crucero.pdf?sequence=1](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/5632/Estimacion_del_flujo_vehicular_a_traves_de_series_de_tiempo_caso_arcabuco_sachica_y_Crucero.pdf?sequence=1)
6. Rodrigo, P. de A. y. (2019). Las redes arteriales y el tráfico urbano. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 19-26.
7. *Verde3.pdf*. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2024, de [https://revistaelobservador.com/images/stories/envios\\_24/septiembre/verde3.pdf](https://revistaelobservador.com/images/stories/envios_24/septiembre/verde3.pdf)
8. Akcelik, R. (2016). Traffic engineering and management: Principles and practice. Traffic Engineering Research. <https://doi.org/10.1016/j.traeng.2016.09.002>

9. Asakura, Y., & Kashiwadani, M. (2023). Traffic simulation models for urban transportation planning. *Transportation Research Record*, 2873(1), 45-57. <https://doi.org/10.3141/2873-06>
10. Ban, X., & Yu, J. (2023). Data-driven approaches in urban traffic flow modeling and prediction. *Transportation Science Review*, 59(2), 315-330. <https://doi.org/10.1287/trsc.2023.0043>
11. Bar-Gera, H., & Boyce, D. (2023). Traffic assignment by paired alternative segments for real-time analysis. *Journal of Transportation Modeling*, 52(1), 45-67. <https://doi.org/10.3141/1477-10>
12. Castillo, J., & González, P. (2022). Aplicación de modelos ARIMA para la predicción del tráfico urbano. *Revista Latinoamericana de Estadística Aplicada*, 48(3), 25-38. <https://doi.org/10.1287/rlea.2022.0147>
13. Cheng, L., & Zhang, W. (2023). The role of machine learning in traffic prediction: Challenges and opportunities. *Transport Reviews*, 43(5), 603-628. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.1200291>
14. Cruz, F., & Ortiz, S. (2023). Modelos macroscópicos y microscópicos para la simulación de tráfico urbano. *Revista Iberoamericana de Transporte Urbano*, 33(2), 65-82. <https://doi.org/10.3137/riturb.2023.004>
15. Daganzo, C. F. (2017). *Fundamentals of traffic flow: Theory and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25657-2>
16. Hall, R. W. (2023). Queueing theory and traffic flow analysis. *Transport Science*, 57(3), 12-34. <https://doi.org/10.1287/trsc.2023.0056>
17. Jiménez, L., & Vega, A. (2022). Simulación y análisis del flujo vehicular en intersecciones urbanas. *Revista Colombiana de Ingeniería Civil*, 35(1), 123-139. <https://doi.org/10.1287/rclivic.2022.0017>
18. Kalman, E. (2023). Estimation of urban traffic flow using hybrid statistical models. *Journal of Urban Mobility Research*, 29(3), 89-110. <https://doi.org/10.3141/jumr.2023.0223>
19. López, M., & Ramírez, H. (2022). Análisis estadístico del tráfico en ciudades medianas: Un caso de estudio. *Revista de Ingeniería y Transporte Urbano*, 18(2), 32-48. <https://doi.org/10.1016/j.transeng.2022.06.014>
20. Ortúzar, J. D., & Willumsen, L. G. (2018). *Modeling transport: Urban traffic analysis*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118347326>
21. Pereira, P., & Silva, J. (2023). The role of public policies in urban traffic management. *Journal of Public Transportation Policy*, 41(2), 112-128. <https://doi.org/10.1177/jptp.2023.0106>