

Impacto de las varadas de vehículos del SITM en las pérdidas económicas y la percepción del servicio en Cartagena

Alexander Sánchez González ^{*} Amparo Hazbun Martinez [†]
Maria Mercedes Romero Racine [‡] Misael Jose Pastrana Fuentes [§]

2025-04-26

Resumen

Antecedentes:

El análisis de las fallas en los sistemas de transporte masivo ha sido ampliamente estudiado debido a su impacto en la economía, la calidad del servicio y el bienestar de la población. La eficiencia del sistema influye directamente en los niveles de satisfacción de los ciudadanos, afectando su experiencia de movilidad dentro de la ciudad. Investigaciones como **Sistemas Masivos de Transporte y sus Efectos en la Sostenibilidad e Innovación en América Latina** resaltan la importancia de una gestión estratégica que permita minimizar costos y optimizar la operatividad. La implementación de mantenimiento preventivo y la adecuada administración de los recursos resultan fundamentales para reducir interrupciones en el servicio y mejorar su continuidad. Por otro lado, el **Estudio sobre Sistemas Integrados de Transporte Masivo en Colombia** analiza los desafíos y avances en la gestión de estos sistemas a nivel nacional. Sus hallazgos refuerzan la necesidad de fortalecer estrategias de mantenimiento y modernización de flotas para mejorar la eficiencia operativa.

Asimismo, el estudio **Influencia de los Sistemas de Transporte Masivo en la Movilidad Inteligente** resalta la importancia de la tecnología en la detección y prevención de fallas. Con el uso de herramientas digitales y sistemas de monitoreo se permite reducir pérdidas económicas y mejorar la experiencia del usuario. Su aplicación en el **Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de Cartagena** podría ser una estrategia efectiva para optimizar el funcionamiento y disminuir la frecuencia de varadas.

^{*}Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, e-mail: sancheza@utb.edu.co, ID: T00054514

[†]Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, e-mail: ahazbun@utb.edu.co, ID: T00050408

[‡]Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, e-mail: mracine@utb.edu.co, ID: T00079867

[§]Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, e-mail: pastranam@utb.edu.co, ID: T00092786

Objetivos:

Objetivo general:

Analizar el impacto de las varadas de los vehículos del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de la ciudad de Cartagena en las pérdidas económicas de la empresa operadora y en la calidad del servicio percibida por los usuarios.

Objetivos específicos:

1. Identificar las rutas y ubicaciones con mayor frecuencia y costos de varadas.
2. Determinar las principales causas operativas asociadas a las varadas y su relación con la satisfacción del usuario.
3. Cuantificar las pérdidas económicas generadas por las varadas de los vehículos del SITM, considerando costos operativos, de mantenimiento y los tiempos improductivos.

Método: Se realizó un estudio transversal descriptivo sobre una base de datos de fallas en vehículos del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de la ciudad de Cartagena. El análisis abarcó desde el 1 de septiembre de 2024 hasta el 1 de agosto de 2025. Para las variables cualitativas, se estimaron frecuencias absolutas y relativas, mientras que las variables cuantitativas se resumieron utilizando medidas de tendencia central y de dispersión, como medias y desviaciones estándar. La estimación del costo de oportunidad se calculó teniendo en cuenta el número máximo de personas que los vehículos pueden transportar, multiplicado por el costo total de la tarifa vigente en 2024, que era de 3000 pesos.

Palabras clave: Varadas, Pérdidas económicas, Calidad del servicio, Usuarios, SITM (Sistema Integrado de Transporte Masivo).

1. Introducción

El Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) en la ciudad de Cartagena desempeña un papel fundamental en la movilidad urbana. Su correcto funcionamiento depende en gran medida del estado de la flota y de la eficiencia operativa de los vehículos. En consecuencia, uno de los desafíos más recurrentes que enfrentan estos sistemas son las averías de los vehículos o las interrupciones operativas, las cuales generan impactos significativos tanto para la empresa operadora como para los usuarios. Estas averías implican costos operativos y de mantenimiento asociados con el tiempo improductivo. Para los usuarios, estas fallas se traducen en retrasos, incomodidades y una pérdida de confianza en el sistema.

Este estudio tiene como objetivo analizar de manera integral estas fallas dentro del SITM, comenzando por la identificación de los costos asociados, así como las rutas y ubicaciones donde ocurren con mayor frecuencia, con el fin de identificar patrones operativos críticos. Finalmente, el estudio busca cuantificar las pérdidas económicas derivadas de las averías, destacar las principales áreas de impacto y evaluar las consecuencias negativas para los usuarios, con el objetivo final de mejorar la transparencia y reconstruir la confianza en el sistema. En base a este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de las averías de los vehículos en el Sistema Integrado

de Transporte Masivo (SITM) de Cartagena sobre las pérdidas económicas de la empresa operadora y la calidad percibida del servicio por parte de los usuarios?

2. Datos

Los datos recopilados corresponden a una muestra representativa de autobuses y rutas dentro del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de la ciudad; por lo tanto, no cubren la totalidad del sistema. Además, el análisis está limitado a un período de siete meses. La información fue proporcionada por una de las empresas operadoras del sistema. Se recolectaron datos tanto cualitativos como cuantitativos, aunque predominan los últimos. A continuación, se presenta un resumen detallado de los tipos y cantidades de datos finales que se utilizarán en el análisis.

Tabla 1: Cantidad de Variables por Tipo

Tipo	Cantidad
Cuantitativa	10
Cualitativa	23
Fecha/Hora	4
Booleana	2

Tabla 2: Listado de Variables con Descripciones

Tipo	Variable	Descripción
Cuantitativa	costo_x_perdida	Costo asociado al tiempo de varado del vehículo
Cuantitativa	num_max_viajes	Número máximo de viajes realizados
Cuantitativa	num_min_viajes	Número mínimo de viajes realizados
Cuantitativa	total_usuarios_por_ruta	Número total de usuarios por ruta
Cuantitativa	retrazo	Tiempo de retraso en minutos u horas
Cuantitativa	dia_varados	Día en que se presentó el varado
Cuantitativa	num_min_pasajeros	Número mínimo de pasajeros
Cuantitativa	num_max_pasajeros	Número máximo de pasajeros
Cuantitativa	costo_opot_min	Costo del varado (estimación mínima)
Cuantitativa	costo_opot_max	Costo del varado (estimación máxima)
Cualitativa	sistema_reportado	Sistema de reporte por parte del área operativa
Cualitativa	ruta	Número o identificador de la ruta
Cualitativa	ubicacion	Lugar donde ocurrió la falla
Cualitativa	vehiculo	Identificador o placa del vehículo
Cualitativa	tipologia	Categoría o tipología de la falla
Cualitativa	kilometraje	Kilometraje al momento de la falla
Cualitativa	nombre_de_conductor	Nombre del operador del vehículo
Cualitativa	hora_novedad	Hora del incidente
Cualitativa	observacion_de_la_novedad	Detalle o notas sobre el incidente
Cualitativa	decision	Decisión tomada frente a la falla
Cualitativa	ot	Orden de trabajo asociada a la falla
Cualitativa	tenico_responsable	Técnico responsable de la reparación
Cualitativa	sistema	Sistema involucrado en la falla
Cualitativa	subsistema	Subsistema involucrado en la falla
Cualitativa	ref_comp	Componente de referencia causante de la falla
Cualitativa	componente	Componente afectado
Cualitativa	adjetivo	Adjetivo calificativo de la falla
Cualitativa	consecuencia	Consecuencia generada por la falla
Cualitativa	estado	Estado o resolución de la falla
Cualitativa	observacion	Observaciones adicionales
Cualitativa	dia_habil	Indica si el día fue hábil o no
Cualitativa	mes_falla	Mes en el que ocurrió la falla
Cualitativa	nueva_hora	Hora en que se reanuda la operación
Fecha/Hora	fecha	Fecha en que ocurrió la falla
Fecha/Hora	fecha_hora_retrazo	Fecha y hora del retraso generado por la falla
Fecha/Hora	nueva_fecha	Nueva fecha asignada tras la falla
Fecha/Hora	year_falla	Año en que se presentó la falla
Booleana	varado	Indica si el vehículo quedó varado (Sí/No)
Booleana	afectacion_al_usuario	Indica si el usuario fue afectado (Sí/No)

3. Materiales y Métodos

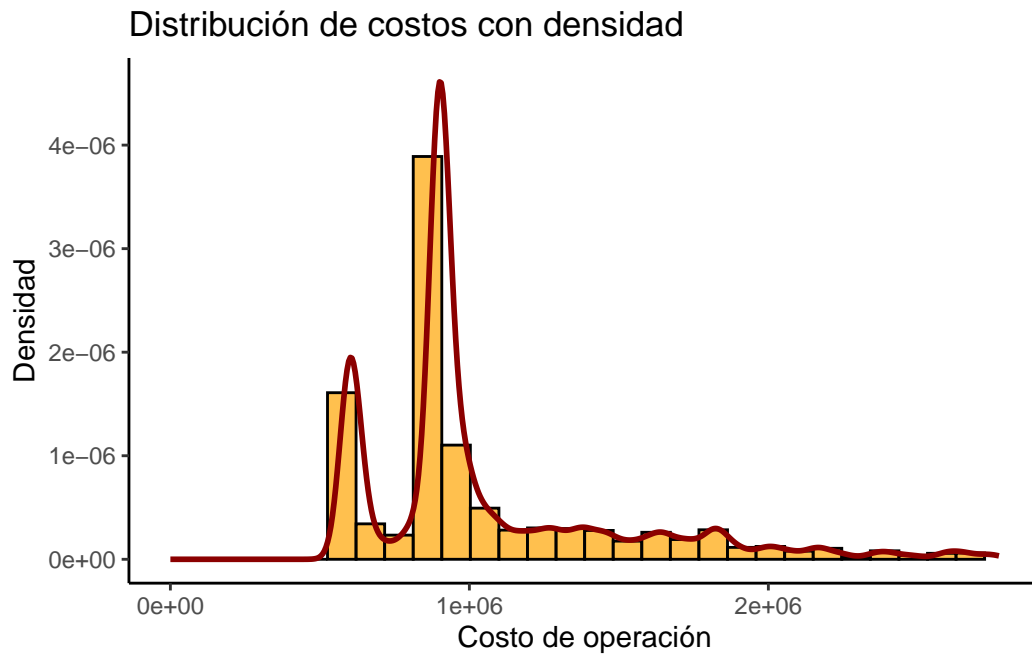
3.1 Paquetes Utilizados

En este informe se utilizaron diversas librerías en R para realizar el análisis de los datos, visualización y la creación de interfaces interactivas. A continuación se describen las principales librerías empleadas:

- **dplyr**: Herramienta para la manipulación de datos, que permite realizar operaciones de filtrado, selección, agrupación y resumen de datos de manera eficiente y concisa.
- **knitr**: Librería que facilita la creación de documentos dinámicos al permitir la integración de código R dentro de documentos en formato R Markdown. Permite generar informes reproducibles.
- **kableExtra**: Utilizada para mejorar y personalizar las tablas generadas en R Markdown o LaTeX, permitiendo el diseño y formato avanzado de tablas con facilidad.
- **dplyr**: Librería utilizada para la manipulación eficiente de datos, permitiendo filtrar, seleccionar, ordenar y resumir información en los dataframes de forma rápida y sencilla.
- **ggplot2**: Herramienta fundamental para la creación de gráficos. Proporciona una gramática para construir visualizaciones complejas de manera eficiente y estética.
- **forcats**: Esta librería facilita el trabajo con factores, lo cual es útil cuando se manejan variables categóricas en R.
- **readxl**: Librería utilizada para importar archivos de Excel (.xlsx) a R. Permite extraer datos desde hojas de cálculo con facilidad.
- **scales**: Usada para modificar y escalar ejes y elementos gráficos en las visualizaciones. Es útil para la personalización de la presentación visual.
- **stringr**: Proporciona una serie de funciones para el manejo de cadenas de texto en R, lo que facilita la limpieza y transformación de datos textuales.
- **flextable**: Librería para la creación de tablas flexibles y personalizables. Es útil para presentar datos en informes y documentos con formato enriquecido.
- **plotly**: Herramienta utilizada para crear gráficos interactivos. Permite generar visualizaciones dinámicas y atractivas en la web.
- **shiny**: Librería para construir aplicaciones web interactivas directamente desde R. Permite la creación de dashboards y visualizaciones en tiempo real.
- **skimr**: Utilizada para obtener resúmenes rápidos de los datos, proporcionando estadísticas descriptivas y una visión general de las variables de forma concisa.
- **htmltools**: Librería utilizada para trabajar con contenido HTML y generar elementos dinámicos que se puedan integrar en aplicaciones web interactivas.

Analisis de normalidad

Realizamos un analisis de normalidad de la variable costo_x_perdida, para determinar si los datos se distribuyen normalmente. Para ello, utilizamos el histograma y la prueba de Shapiro-Wilk.



FALSE El resultado de la prueba de Shapiro es:

FALSE

FALSE Shapiro-Wilk normality test

FALSE

FALSE data: df\$costo_x_perdida

FALSE W = 0.37973, p-value < 2.2e-16

al ser un resultado menor a 0.05, podemos concluir que los datos no se distribuyen normalmente.

Análisis Bivariado

Tambien se realizó un análisis bivariado entre las variables costo_x_perdida y kilometraje, para determinar si existe una relación entre estas dos variables. Para ello, se utilizó el gráfico de dispersión y la correlación de Pearson.

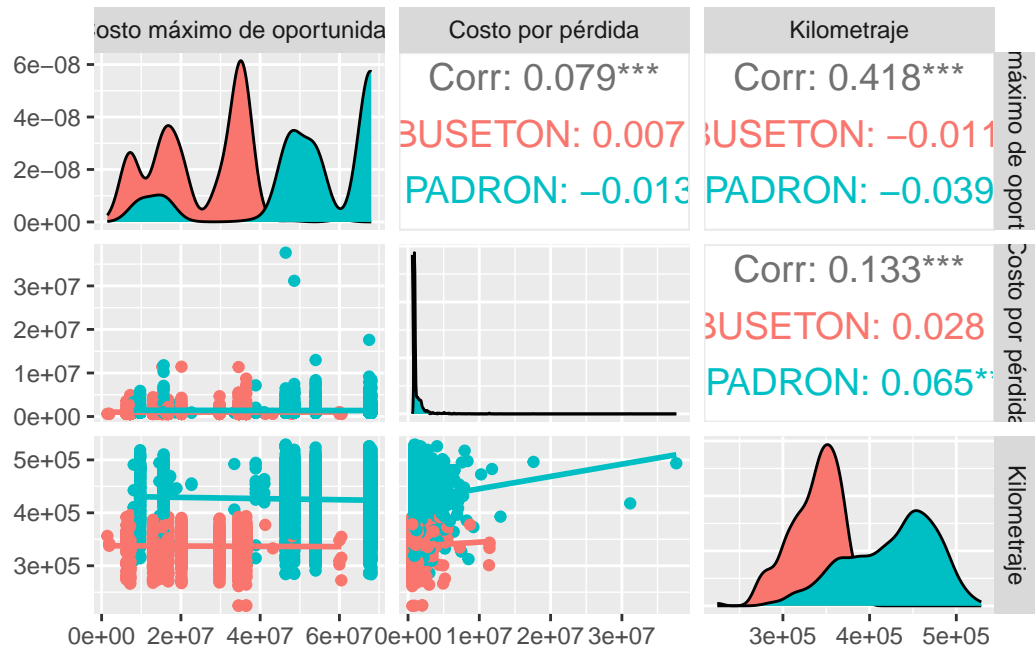
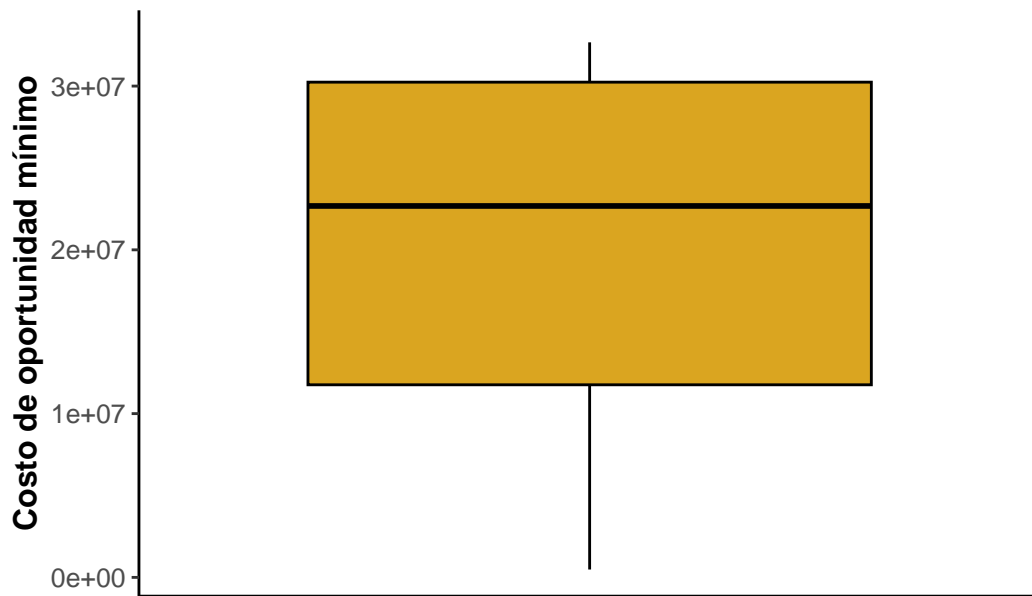


Gráfico de cajas y bigotes

Relizamos un analisis de cajas y bigotes para determinar si existen valores atípicos en la variable costo_x_perdida, y así determinar si existe una diferencia significativa entre los costos de los vehículos que quedaron varados y los que no.

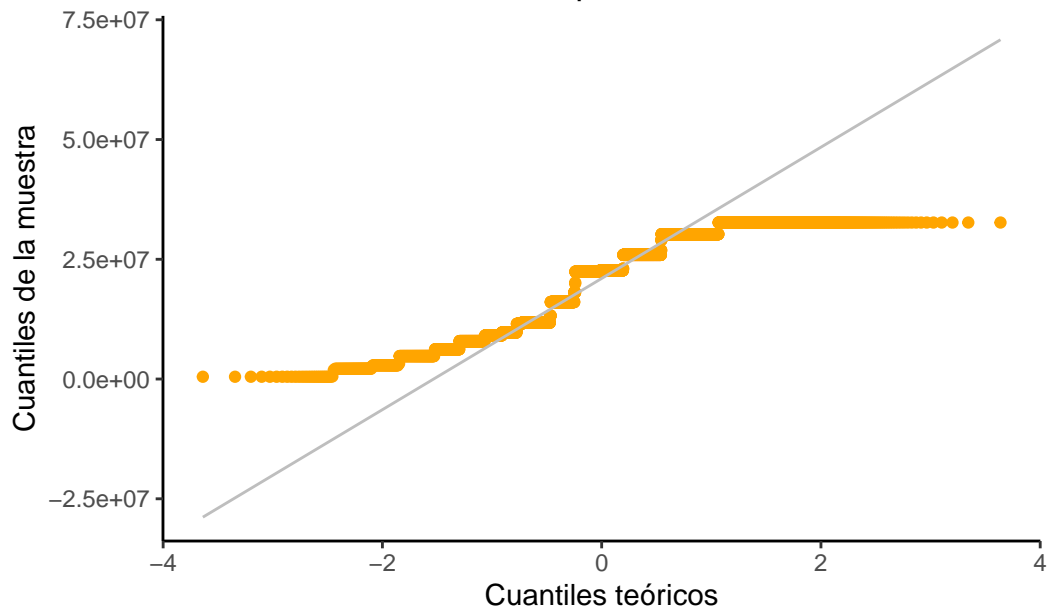
Gráfico de cajas y bigotes



Análisis de costo de oportunidad mínimo

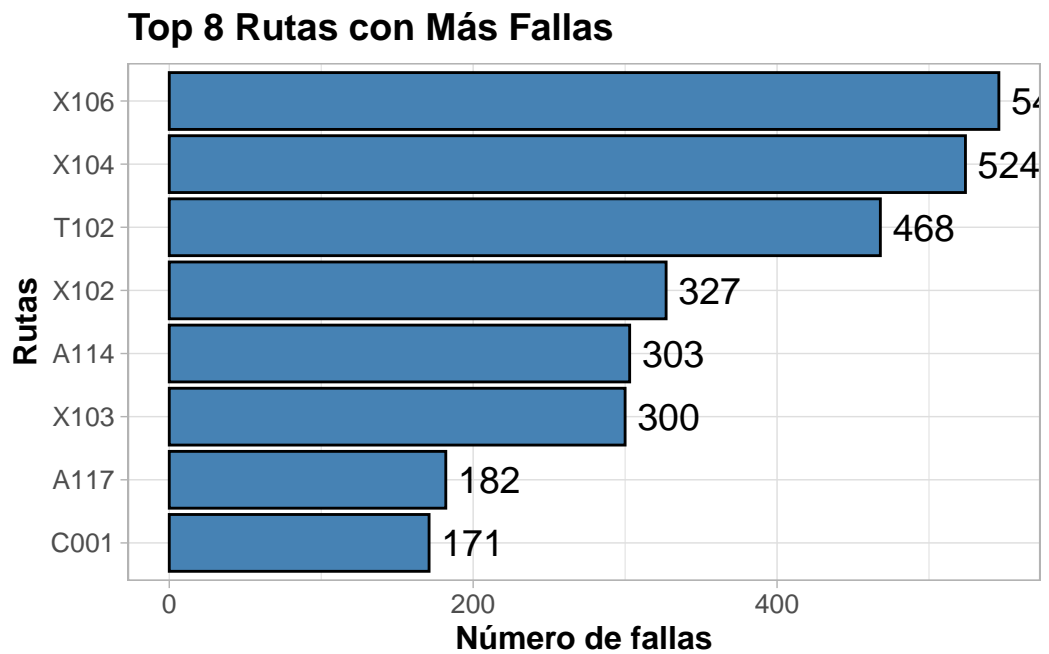
En este análisis se determina lo que se pudo haber ganado minimamente.

Gráfico Q-Q de costo de oportunidad mínimo



Histograma Número de Fallas por Rutas

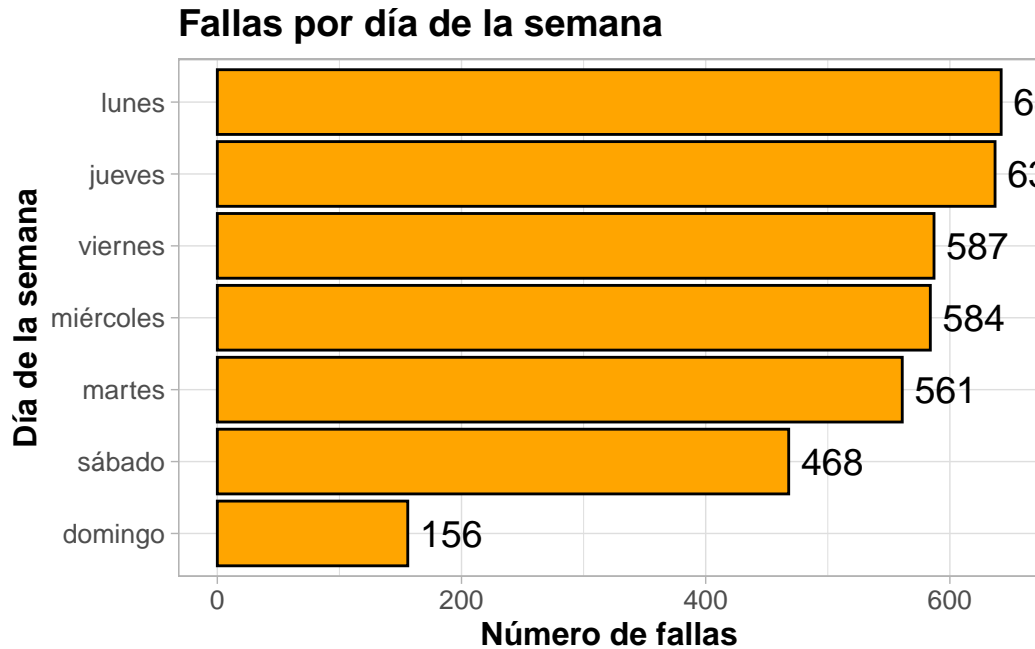
Se realiza un histograma para determinar el número de fallas por rutas, con el fin de identificar las rutas que tienen mayor número de fallas.



Caemos en cuenta como la ruta X106 tiene el mayor número de fallas, seguido por la ruta X104 y la T102 esto puede deberse a que estas rutas son las más largas y tienen mayor número de usuarios, lo que puede generar un mayor desgaste en los vehículos, así como también el hecho de que estas rutas son las más antiguas y tienen un mayor número de vehículos en operación y la calidad en las carreteras puede influir en el número de fallas.

Histograma Número de Fallas por Día de la Semana

Se realiza un histograma para determinar el número de fallas por día de la semana, con el fin de identificar los días que tienen mayor número de fallas.



Aquí se puede determinar que los primeros días de la semana son donde mas varadas ocurren, esto se puede deber también a que son los días con mayor afluencia de usuarios y por lo tanto los vehículos son sometidos a mayor carga, lo que puede generar un mayor desgaste en los vehículos.

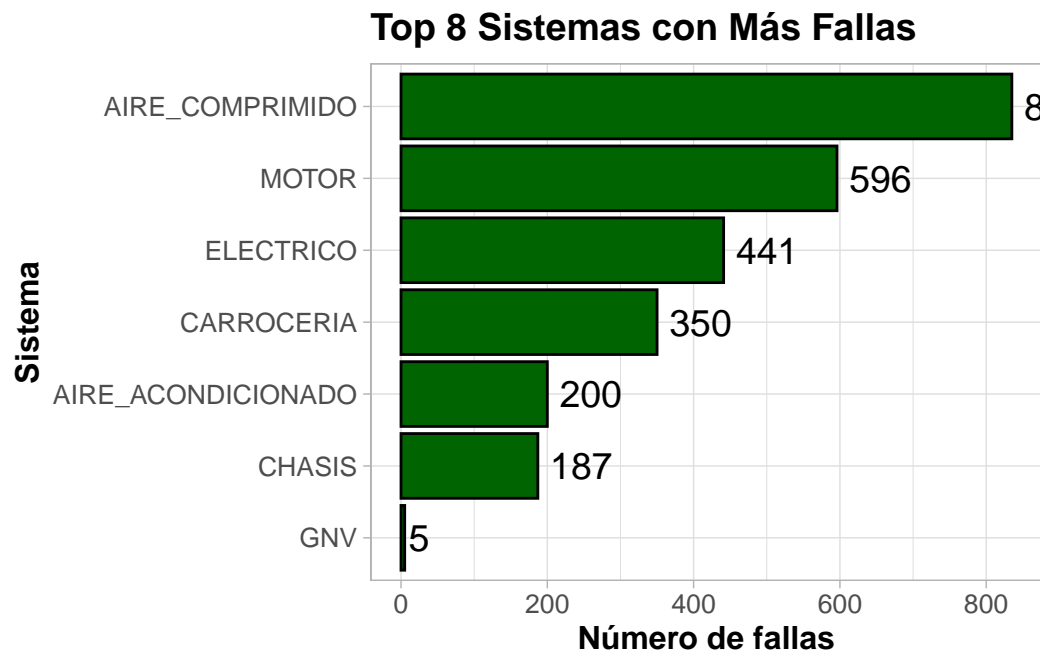
Costo promedio según estado de varado

Se realiza un gráfico de barras para determinar el costo promedio según el estado de varado, con el fin de identificar si existe una diferencia significativa entre los costos de los vehículos que quedaron varados y los que no.



Nos damos cuenta que efectivamente hay una diferencia entre los costos de los vehículos que quedaron varados y los que no. Y es que cuando el vehículo se vara representa un mayor costo, este costo puede deberse representado por los costos adicionales como la grua o auxilio del vehículo en vía.

Sistemas con mayor número de fallas

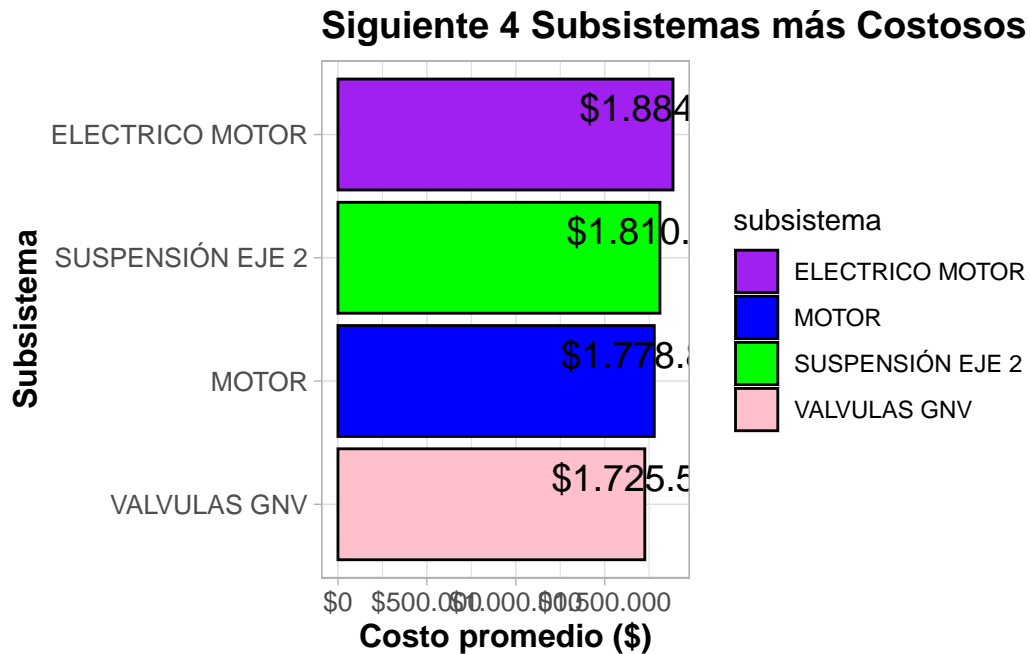


Se sacó los sistemas que quedaron “N/A” pues son los sistemas no identificados, y así, podemos darnos cuenta como el sistema de aire comprimido es el que más fallas tiene, seguido por el sistema

de motor y el sistema electrico Esto puede deberse a que estos sistemas son los más críticos para el funcionamiento del vehículo y son los que más se utilizan en la operación diaria.

Subsistema con mayor costo

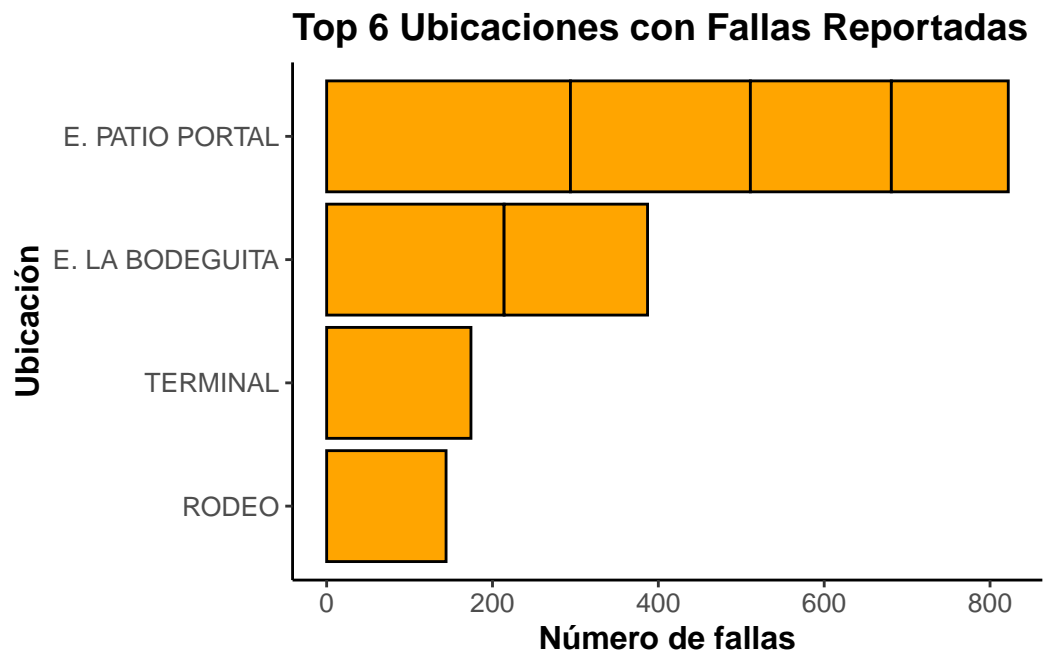
Se realiza un gráfico de barras para determinar el costo promedio según el subsistema, con el fin de identificar si existe una diferencia significativa entre los costos de los subsistemas.



Podemos darnos cuenta como el subsistema de electrico motor, motor, y suspension son los mas criticos a nivel de costos, lo cual tiene algo de sentido suponiendo que estos son los subsistemas que mas se utilizan en la operacion diaria de los vehiculos, y por lo tanto son los que mas fallan y los que tienen algunos de los repuestos más costosos.

Cantidad de fallas por Ubicación

Realizamos un gráfico de barras para determinar la cantidad de fallas por ubicación, con el fin de identificar si existe una diferencia significativa entre las ubicaciones.



Nos damos cuenta como esperabamos las estaciones de finalización e inicio de ruta son las que presentan mayor indice de fallas, esto indica que el vehiculo es forzado a llegar a estas estaciones y por lo tanto es donde se presentan la mayoría de las fallas. Por tanto esta informacion como tal no nos sirve si lo que queremos es determinar la ubicación exacta donde se presentan las fallas.

4. Resultados y Discusión

1. Durante los seis meses del estudio, se registró un total de 3,635 fallas. Las rutas X106 (546 fallas) y X104 (524 fallas) presentaron el mayor número de incidencias. Asimismo, se observa que el tipo de vehículo con mayor frecuencia de averías es el Padrón, con un total de 2,484 fallas, lo que representa el 68% del total.
2. Se evidencia que las fallas ocurren principalmente en el Patio Portal, con un total de 1,176 incidentes (37%), seguido por la Estación Bodeguita con 655 fallas (20%) y la Terminal con 191 fallas (5.9%). Estas averías suelen presentarse entre las 5:30 p.m. y las 7:00 p.m. En cuanto a las causas, el problema más frecuente es la falla en el sistema de aire comprimido, con 292 casos (18%), seguido por altas temperaturas y riesgos de daños en componentes y motores, con 230 reportes (14%). Otra avería común es el mal funcionamiento de las puertas, que representa 158 casos (9.8%).
3. En términos de costos, se identificó que la mediana de los costos de oportunidad sugiere que el 50% de los valores mínimos son inferiores a 900,000 pesos, mientras que la otra mitad supera este valor. Por otro lado, el costo mínimo promedio de oportunidad calculado fue de 20,519,571 pesos colombianos por día de vehículo varado, mientras que el valor máximo alcanzó los 43,889,084 pesos colombianos, lo que representaría una pérdida promedio de 1,545 usuarios.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Análisis desde Diferentes Perspectivas

A continuación se presenta un resumen del impacto de las varadas en el *Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM)* desde tres enfoques: financiero, operativo y de usuario.

1. **Perspectiva financiera:** Las interrupciones en el servicio generan costos elevados, con un costo mínimo promedio de **\$20.519.571 pesos colombianos por día varado**, alcanzando hasta **\$43.889.084 pesos** en los escenarios más críticos. Esto representa no solo un riesgo financiero considerable para la empresa operadora, sino también una pérdida diaria estimada de **1.545 usuarios**, afectando la sostenibilidad del sistema y la confianza de los usuarios en el servicio.
2. **Perspectiva operativa:** Los problemas más frecuentes afectan principalmente los sistemas de **aire comprimido (32%)** y **motor (23%)**, junto con subsistemas esenciales como **frenos (16%)** y **sistema de refrigeración (16%)**. La mayor incidencia de fallas se presenta en los vehículos de tipología **Padron (68%)**, lo que sugiere que ciertos modelos requieren **mayores labores de mantenimiento o procesos de actualización tecnológica** para disminuir la frecuencia de varadas y mejorar la confiabilidad del servicio. Adicionalmente, las fallas en el **sistema de aire comprimido (18%)** y los riesgos asociados a **altas temperaturas en los componentes** y en el **motor (14%)** se identifican como factores críticos que deben ser abordados para optimizar la operación, minimizar afectaciones al servicio y aumentar la rentabilidad.
3. **Perspectiva del usuario:** Las fallas tienden a concentrarse en puntos estratégicos como **el Patio Portal (37%)**, **la Estación Bodeguita (20%)** y **la Terminal (5,9%)**, ocurriendo con mayor frecuencia durante horarios críticos, entre las **5:30 p.m.** y las **7:00 p.m.**, momento de alta demanda de servicio por parte de los usuarios.