

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Estimación de la demanda de taxis del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autor:

Edwin Humberto Buri Guamán

Director:

Diego Estuardo Correa Barahona

ORCID:  0000-0003-3551-5875

Cuenca, Ecuador

2025-09-23

Resumen

La disponibilidad de taxis en el Aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca presenta desafíos importantes, especialmente durante las horas pico, generando tiempos de espera prolongados para los pasajeros y una inadecuada distribución del servicio. Ante esta problemática, se planteó como objetivo estimar la demanda de taxis mediante modelos predictivos que permitan anticipar las condiciones de operación y mejorar la planificación del transporte en el entorno aeroportuario. La metodología incluyó la recolección de datos primarios a través de conteos manuales en el sitio durante una semana, complementados con variables como número de vuelos, condiciones climáticas y características horarias. Para fortalecer el análisis, se aplicó una simulación de Monte Carlo que permitió expandir la base de datos y representar la variabilidad inherente al comportamiento de la demanda. Posteriormente, se entrenaron y compararon tres modelos: regresión lineal múltiple, regresión de Poisson y un modelo de Random Forest, siendo este último el que obtuvo el mejor desempeño (RMSE = 2,21, $R^2 = 0.97$). Los resultados evidencian que variables como el número de pasajeros por aerolínea, el promedio de pasajeros por taxi y el horario tienen mayor influencia sobre la demanda. En conclusión, el uso de modelos de predicción combinados con técnicas de simulación permite estimar con buena precisión la demanda de taxis en el aeropuerto, contribuyendo a una gestión más eficiente del transporte terrestre.

Palabras clave del autor: simulación de monte carlo, random forest, transporte terrestre



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The availability of taxi services at the Mariscal Lamar Airport in Cuenca presents significant challenges, particularly during peak hours, resulting in long passenger wait times and inefficient service distribution. To address this issue, the objective of this study was to estimate taxi demand using predictive models that allow for anticipating operational conditions and improving transportation planning in the airport area. The methodology involved primary data collection through manual counts conducted on-site for one week, complemented by variables such as number of flights, weather conditions, and hourly characteristics. To strengthen the analysis, a Monte Carlo simulation was applied to expand the database and capture the inherent variability in demand behavior. Subsequently, three models were trained and compared: multiple linear regression, Poisson regression, and a Random Forest model, with the latter demonstrating the best performance (RMSE = 7.91, $R^2 = 0.899$). The results show that variables such as the number of passengers per airline, the average number of passengers per taxi, and the time of day have the greatest influence on demand. In conclusion, the use of predictive models combined with simulation techniques allows for accurate estimation of taxi demand at the airport, contributing to more efficient ground transportation management.

Author Keywords: monte carlo simulation, random forest, ground transportation



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 12 |
| 1.1. Antecedentes..... | 12 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 12 |
| 1.3. Justificación..... | 13 |
| 1.4. Objetivos | 13 |
| 1.5. Alcance y limitaciones | 14 |
| 2. Estado del arte | 15 |
| 3. Marco teórico..... | 15 |
| 3.1. Conceptos básicos | 15 |
| 3.2. Transporte terrestre y servicios de taxis | 15 |
| 3.3. Demanda de transporte | 16 |
| 3.4. Transporte terrestre en aeropuertos | 16 |
| 3.5. Tipos de transporte público para pasajeros | 16 |
| 3.6. Rol de los taxis en aeropuertos pequeños | 17 |
| 3.7. Limitaciones y desafíos en aeropuertos con baja frecuencia de vuelos | 18 |
| 3.8. Normativa relacionada al servicio de taxis en el Ecuador | 19 |
| 3.9. Demanda de transporte publico..... | 19 |
| 3.10. Concepto y dimensiones de la demanda..... | 19 |
| 3.11. Particularidades de la demanda en aeropuertos pequeños | 20 |
| 3.12. Métodos para estimación de demanda..... | 20 |
| 3.12.1. Enfoques estadísticos tradicionales:..... | 20 |
| 3.13. Modelos predictivos en transporte..... | 22 |
| 3.13.1. Modelos basados en arboles de decisión | 23 |
| 3.14. Simulaciones..... | 25 |
| 3.15. Simulación de Monte Carlo | 25 |
| 3.15.1. Fundamento de la simulación de Monte Carlo | 26 |
| 3.15.2. Aplicación en la estimación de demanda de transporte | 26 |
| 3.16. Factores que influyen en la demanda..... | 26 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.16.1. | Hora del día..... | 27 |
| 3.16.2. | Día de la semana y feriados | 27 |
| 3.16.3. | Cantidad de vuelos y aerolíneas..... | 27 |
| 3.16.4. | Número de pasajeros | 27 |
| 3.16.5. | Condiciones climáticas | 27 |
| 3.16.6. | Comodidad y percepción | 28 |
| 3.16.7. | Conectividad urbana y ubicación del aeropuerto | 28 |
| 3.16.8. | Interacción de factores y modelos multivariantes..... | 28 |
| 3.17. | Estimación de la demanda futura | 28 |
| 3.18. | Métricas de evaluación de modelos predictivos..... | 28 |
| 3.18.1. | Error Cuadrático Medio (RMSE) | 29 |
| 3.18.2. | Error Absoluto Medio (MAE) | 29 |
| 3.18.3. | Coefficiente de Determinación (R^2)..... | 30 |
| 3.19. | Implicaciones | 30 |
| 4. | Materiales y métodos..... | 30 |
| 4.1. | Zona de estudio..... | 30 |
| 4.2. | Oferta de transporte alternativo | 32 |
| 4.2.1. | Sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca. | 32 |
| 4.3. | Enfoque de investigación..... | 34 |
| 4.4. | Obtención de datos..... | 34 |
| 4.4.1. | Conteos manuales..... | 35 |
| 4.4.2. | Zona de conteo..... | 36 |
| 4.4.3. | Registro de taxis totales | 38 |
| 4.4.4. | Registro de taxis tomados | 38 |
| 4.4.5. | Número de vuelos por hora | 39 |
| 4.4.6. | Pasajeros por taxi promedio | 39 |
| 4.4.7. | Tiempo de espera de pasajeros promedio..... | 39 |
| 4.4.8. | Tiempo de espera promedio de los taxis | 39 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.4.9. | Taxis tomados afuera | 40 |
| 4.4.10. | Lluvia | 40 |
| 4.4.11. | Temperatura | 41 |
| 4.4.12. | Día festivo | 41 |
| 4.4.13. | Pasajeros | 41 |
| 4.5. | Procesamiento de datos | 41 |
| 4.5.1. | Clasificación de los datos | 41 |
| 4.5.2. | Lectura y limpieza | 41 |
| 4.5.3. | Determinación de variables más influyentes | 42 |
| 4.5.4. | Simulación de Monte Carlo | 42 |
| 4.6. | Estimación de la demanda de taxis | 43 |
| 4.6.1. | Modelo de regresión lineal | 43 |
| 4.5.2. | Regresión de Poisson | 43 |
| 4.6.2. | Random Forest | 44 |
| 4.7. | Estimación de la demanda futura | 44 |
| 4.7.1. | Variables consideradas | 44 |
| 4.7.2. | Simulación de escenarios futuros | 44 |
| 5. | Resultados y análisis | 46 |
| 5.1. | Análisis preliminar | 46 |
| 5.2. | Importancia de las variables | 49 |
| 5.3. | Simulación de Monte Carlo | 50 |
| 5.3.1. | Temperatura | 51 |
| 5.3.2. | Día de la semana | 51 |
| 5.3.3. | Latam (desde Quito) | 52 |
| 5.3.4. | Pasajeros Latam (desde Guayaquil) | 53 |
| 5.3.5. | Pasajeros Avianca (desde Quito) | 54 |
| 5.3.6. | Hora del día | 55 |
| 5.4. | Estimación de la demanda actual | 57 |

UCUENCA

7

| | |
|---|----|
| 5.4.1. Regresión lineal simple..... | 57 |
| 5.4.2. Regresión de Poisson..... | 59 |
| 5.4.3. Random forest..... | 60 |
| 5.4.4. Comparación de los modelos..... | 61 |
| 5.5. Estimación de la demanda futura..... | 64 |
| 5.6. Análisis de tiempos de espera..... | 67 |
| 6. Conclusiones..... | 69 |
| 7. Recomendaciones..... | 71 |
| 8. Referencias:..... | 73 |
| 9. ANEXOS:..... | 77 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Vista aérea aeropuerto Mariscal Lamar..... | 31 |
| Figura 2 Estación de conteo de taxis | 37 |
| Figura 3 Sello de taxi autorizado a entrar..... | 38 |
| Figura 4 Taxi tomado afuera | 40 |
| Figura 5 Pasajeros por día y aerolínea..... | 46 |
| Figura 6 Vuelos por día de la semana..... | 47 |
| Figura 7 Total de pasajeros por hora y aerolínea | 48 |
| Figura 8 Total de vuelos por hora a la semana | 48 |
| Figura 9 Gráfico de importancia de variables | 50 |
| Figura 10 Distribución de densidad datos reales vs simulados (temperatura promedio) | 51 |
| Figura 11 Distribución datos reales vs simulados (día de la semana) | 52 |
| Figura 12 Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Latam desde Quito)..... | 53 |
| Figura 13 Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Latam desde Guayaquil) | 54 |
| Figura 14 Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Avianca desde Quito)..... | 55 |
| Figura 15 Distribución datos reales vs simulados (hora) | 56 |
| Figura 16 Taxis reales vs taxis predichos Regresión lineal | 58 |
| Figura 17 Taxis reales vs taxis predichos Regresión de Poisson | 60 |
| Figura 18 Taxis reales vs taxis predichos Random Forest | 61 |
| Figura 19 Pasajeros Totales vs Taxis estimados | 65 |
| Figura 20 Número de vuelos vs Taxis estimados | 66 |
| Figura 21 Relación entre tiempo de espera de pasajeros y taxis tomados fuera del aeropuerto | 67 |
| Figura 22 Tiempo de espera promedio de taxis por hora del día..... | 68 |
| Figura 23 Tiempo de espera de taxis vs número de vuelos por hora | 69 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Metodologías para estimación de demandas de servicio publico..... | 24 |
| Tabla 2 Características del aeropuerto Mariscal Lamar | 31 |
| Tabla 3 Líneas de buses que pasan por el aeropuerto | 32 |
| Tabla 4 Ruta de tranvía | 33 |
| Tabla 5 Planilla de conteo de taxis | 36 |
| Tabla 6 Incremento de pasajeros según año | 45 |
| Tabla 7 Datos estadísticos para datos reales y simulados | 56 |
| Tabla 8 Coeficientes para modelo de regresión lineal | 57 |
| Tabla 9 Coeficientes para modelo regresión de Poisson | 59 |
| Tabla 10 Métricas de los modelos | 62 |
| Tabla 11 Comparación de los métodos | 62 |
| Tabla 12 Taxis estimados para incremento de pasajeros | 66 |

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación.

En primer lugar, al Ing. Diego Estuardo Correa Barahona, director de esta tesis, por su guía, paciencia y valiosas orientaciones académicas y profesionales, que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Corporación Aeroportuaria de Cuenca (CORPAC), por haber facilitado los datos necesarios y brindado su apoyo para llevar a cabo la fase de recolección de información y la construcción del conteo, lo cual fue esencial para alcanzar los objetivos de esta investigación.

Extiendo también mi gratitud a mis maestros de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, quienes a lo largo de estos años de formación compartieron sus conocimientos y experiencias, contribuyendo de manera significativa a mi desarrollo académico y personal.

Finalmente, a todas las personas que de una u otra manera aportaron en este proceso, mi más profundo reconocimiento.

Dedicatoria

A mi madre Narcisa, ejemplo de fortaleza y entrega, quien con su amor incondicional ha sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por tus consejos, tu paciencia y por estar siempre a mi lado en cada momento, celebrando mis triunfos y dándome aliento en las dificultades. Este logro no habría sido posible sin tu apoyo constante y tu fe en mí.

A mi padre Humberto, que, aunque la distancia nos separe, siempre ha estado presente con su apoyo, sus palabras de ánimo y su ejemplo de esfuerzo y sacrificio. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con dedicación y constancia. Este trabajo es también fruto de tus enseñanzas y del amor que siempre me has brindado.

A mis hermanas Lorena y Gabriela, por ser compañeras incondicionales en este camino. Gracias por su cariño, su comprensión y por darme la fuerza necesaria en los momentos más difíciles. Ustedes han sido un refugio de alegría y motivación para seguir adelante.

A mis amigos Cesar, Xavi, Wilson, Andrés, Danny, Noé, Jorge y Cristo, quienes no solo fueron compañeros en la universidad, sino también hermanos de vida. Gracias por compartir risas, desvelos, esfuerzos y sueños; por estar ahí en los momentos de mayor presión y también en los instantes de alegría. Su amistad ha sido un apoyo invaluable en esta etapa y una motivación constante para nunca rendirme.

A todos ustedes, con profundo amor y gratitud, les dedico este trabajo. Porque más allá de ser un logro personal, es también el reflejo del apoyo, la unión y la compañía de quienes han estado conmigo en este camino.

Edwin Humberto Buri Guamán

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El aeropuerto Marisca Lamar es una frontera transnacional fronteriza ubicada dentro del perímetro urbano de la ciudad de Cuenca, este aeropuerto tiene como principales conexiones las ciudades de Quito y Guayaquil.

A lo largo de los años el aeropuerto ha ido realizando varias obras que le han permitido mantener operaciones esto incluye una terminal de pasajeros moderna, así como también el remplazo del sistema de alumbrado de la pista lo que conlleva a extender los horarios de atención con ello la demanda de vuelos y pasajeros (Alcaldía de Cuenca, n.d.).

Con el incremento de la demanda de pasajeros que ha venido experimentado el aeropuerto en los últimos años es deber del aeropuerto brindar a estas, facilidades tanto para llegar o salir de la terminal aérea.

El servicio de taxis eficiente de un lugar a otro es un método popular en muchas ciudades por lo que muchas personas dependen de este servicio para desplazarse ya sea para realizar actividades sociales, laborales o familiares. El nivel y calidad del servicio no solo afecta a la impresión que puedan tener los locales también tiene impacto en las impresiones de los turistas y visitantes que hagan uso de este servicio.

Si bien en la mayoría de ciudades existen gran cantidad de taxis distribuidos en la misma en algunas ocasiones sucede que los pasajeros tienen dificultades para encontrar taxis en determinadas zonas y horarios.

1.2. Planteamiento del problema

En los últimos años una vez concluida la pandemia el aeropuerto de Cuenca ha venido experimentando un crecimiento significativo en relación a la cantidad de pasajeros que lo transitan en el año 2022 la terminal aérea cerró el año con 400000 pasajeros el doble que el año 2021 e igualando cifras del año 2015 ((Primicias Ec, 2023).

Esta tendencia creciente puede provocar que existan pasajeros que tengan que esperar grandes periodos de tiempo hasta poder tomar un taxi. Si bien la CORPAC tiene un convenio con la UTPA y los usuarios pueden usar la aplicación AZU TAXI esto puede provocar molestias en los usuarios.

Por otro lado, tenemos los taxistas pueden llegar a esperar grandes cantidades de tiempo si la demanda es baja o caso contrario si la demanda es muy alta se pueden producir cuellos de botella lo cual provoca congestión en la terminal aérea, si

bien estos se apoyan en los itinerarios de vuelos que la CORPAC publica semanalmente en algunos casos por factores externos puede llegar a tiempos de espera excesivos por ambas partes.

1.3. Justificación

El aeropuerto de Cuenca es fundamental para la ciudad de Cuenca y región en general debido a su rol en el desarrollo económico, turístico y social, en este sentido es crucial que este brinde los servicios adecuados y facilite la tanto la llegada y salida de sus pasajeros una vez estos llegan o salen de la terminal aérea, unos de los medios optados por los pasajeros son los taxis.

La demanda de taxis en aeropuertos es un aspecto esencial de la infraestructura de transporte, ya que estos vehículos juegan un papel clave en la movilidad de pasajeros hacia y desde las terminales. En muchos aeropuertos del mundo, el mal manejo de la oferta y demanda de taxis puede provocar tiempos de espera prolongados para los pasajeros, congestión vehicular, aumento de emisiones contaminantes y frustración tanto para usuarios como para conductores. La demanda de taxis está influenciada por factores como la frecuencia de vuelos, la cantidad de pasajeros, la hora del día, las condiciones meteorológicas y los eventos especiales en la ciudad.

Muchos aeropuertos han comenzado a implementar sistemas de pronóstico de demanda, aplicaciones de reserva y puntos de recogida organizados para reducir el tiempo de espera y optimizar el uso de taxis. Sin embargo, en otros aeropuertos, como en aquellos con menor tráfico o menos sistemas tecnológicos implementados, estas soluciones pueden no ser tan comunes. Esto hace necesario un estudio detallado que permita entender las características de la demanda de taxis y proporcione datos para implementar mejoras

Es por eso que es crucial determinar la demanda de taxis del aeropuerto de la ciudad de Cuenca más aún cuando existe un proceso de internacionalización en curso determinar la demanda de taxis anticipar posibles congestiones y alargar el tiempo de espera de los pasajeros generando molestias y una mala impresión del aeropuerto.

1.4. Objetivos

Objetivo General:

- Generar un modelo para estimar la demanda de taxis actual y futura del Aeropuerto “Mariscal Lamar” de la ciudad de Cuenca.

Objetivos específicos:

- Recolectar y analizar datos de vuelos y pasajeros del aeropuerto de Cuenca.
- Realizar un modelo que estime la demanda de taxis.
- Evaluar los factores que influyen en el modelo.
- Determinar los tiempos de espera tanto de taxis como de pasajeros.
- Comparación de la demanda actual como futura.

1.5. Alcance y limitaciones

Esta investigación tiene un alcance cuantitativo, correlacional y predictivo, centrado en la estimación de la demanda de taxis en el Aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca. El estudio se realizó a partir de datos recolectados manualmente durante una semana continua concretamente la semana del 10 a 16 de marzo de 2025, abarcando el horario operativo del aeropuerto (de 06:00 a 21:00 horas), incluyendo días laborables, fines de semana y un día feriado (11 de abril). En total, se analizaron 126 registros horarios, correspondientes a 18 horas diarias durante 7 días. Se incorporaron variables explicativas como el número de pasajeros por aerolínea y ciudad de origen, el promedio de pasajeros por taxi, la hora del día, el día de la semana, condiciones climáticas (precipitación, temperatura y lluvia), y variables demográficas.

Para ampliar la base de datos y considerar la variabilidad de la demanda, se aplicó una simulación de Monte Carlo que generó 1000 escenarios por variable. Posteriormente, se desarrollaron y compararon tres modelos de estimación: regresión lineal múltiple, regresión de Poisson y Random Forest, siendo este último el que obtuvo el mejor desempeño en términos de precisión ($RMSE = 7.91$, $R^2 = 0.899$). Además de estimar la demanda actual, los modelos se utilizaron para proyectar escenarios de demanda futura en función de un incremento porcentual estimado de pasajeros del 15, 20 y 25% respectivamente. El enfoque adoptado permite generar estimaciones numéricas bajo diferentes condiciones operativas, contribuyendo a una planificación más eficiente del transporte terrestre en el entorno aeroportuario.

A pesar de las limitaciones mencionadas anteriormente la estimación de la demanda puede dar una percepción a la población en general una visión de comprender el comportamiento de los taxis si en determinado caso necesitan usar un taxi ya sea para llegar o salir de la terminal aérea, también puede servir como base para estudios posteriores ya sea de tráfico o servicio del aeropuerto.

2. Estado del arte

Los viajes en taxis ha sido un aspecto olvidado en la investigación en la época reciente la cual tenía más importancia en los años setenta perdiendo interés progresivamente no obstante a partir de la disponibilidad de nuevos datos como es el gps el tema ha ido revitalizándose.

A lo largo de los últimos años se han realizado avances considerables de predicción de recogidas de taxis en New York (Tong et al., 2017). Un estudio realizado por TONG analizan un modelo espacio temporal para predecir la demanda de taxis por unidad de tiempo y región para proponer un modelo de regresión lineal para estimar la demanda.

Un estudio realizado por (Coviensky,) estima la demanda de taxis en el aeropuerto de la Guardia en New York a partir del trabajo de Tong y además incluyendo más variables como variables de iteración. Este estudio nos servirá como inspiración para la realización del presente estudio un modelo a partir de la recopilación de información espacio temporal y otras variables que se consideren oportunas.

El trabajo de investigación propuesto por (Kamga, 2013) analiza si los cambios meteorológicos pueden alterar la oferta y demanda de taxis. El estudio concluye que independientemente de la gravedad de este un evento como la lluvia incrementa la tarifa de los taxis.

Un análisis de (Shuo Zhang Yunrou Gong, 2016) predice la demanda de taxis en una hora y ubicación de terminada este blog nos puede servir como punto de partida ya que en un aeropuerto los taxis llegan a un lugar y hora determinada (cuando llega un vuelo) si bien se aplicó en una ciudad del extranjero puede ser un buen punto de partida.

3. Marco teórico

La estimación de demanda de taxis en un aeropuerto es un proceso crítico para la gestión eficiente del transporte terrestre teniendo diferentes impactos como la satisfacción de los pasajeros, la planificación operativa y la sostenibilidad. El siguiente marco teórico aborda conceptos fundamentales, modelos matemáticos que se deben tener en cuenta en la estimación de la demanda de taxis.

3.1. Conceptos básicos

3.2. Transporte terrestre y servicios de taxis

El transporte terrestre es un uno de los modos más usados en las ciudades, proporcionando acceso a ciudades y zonas rurales. Entre las modalidades más utilizadas está el servicio de taxis esto debido a que son una opción flexible y accesible

para los pasajeros (Ceder, 2016). Los taxis en zonas urbanas especialmente en puntos de alta demanda como los aeropuertos, desempeñan un papel fundamental en garantizar la conectividad y eficiencia del sistema del transporte (W. Zhang et al., 2019).

El servicio de taxis es fundamental en los aeropuertos especialmente en horas de alta demanda en horas específicas del día, esto requiere una planificación adecuada para satisfacer la demanda. El servicio de taxis opera bajo regulaciones locales y la eficiencia de este depende factores como vehículos disponibles, las tarifas y la organización y distribución de los mismos (Wang et al., 2018).

3.3. Demanda de transporte

Se refiere al volumen de personas o bienes que requieren un servicio de transporte en un periodo o lugar específico. En el caso de un aeropuerto esta demanda está ligada a factores como la llegada y salida de vuelos, capacidad del aeropuerto, los usuarios y alternativas de transporte disponible (Ortúzar & Willumsen, 2011).

3.4. Transporte terrestre en aeropuertos

El transporte terrestre asociado a la infraestructura aeroportuaria es de vital importancia dentro del sistema de movilidad urbana e interurbana. Esta conexión garantiza el acceso eficiente a los servicios aeroportuarios, permite movilidad fluida entre pasajeros y equipaje y actúa como conexión entre el transporte aéreo y terrestre. En consecuencia, su adecuada planificación y operación inciden directamente en la calidad del servicio percibido, la eficiencia del aeropuerto y el desarrollo económico en general.

Según la Airports Council International (Airports Council International, 2018), la experiencia del pasajero no empieza en la terminal aérea sino desde la planeación de su traslado al aeropuerto y no termina al aterrizar, sino al llegar a su destino final. De allí la importancia de crear sistema de transporte terrestre eficientes, especialmente en ciudades en donde las opciones de transporte publico son limitadas.

Este transporte incluye taxis, buses, transporte privado y transporte compartido. El servicio de taxis es una opción importante para los pasajeros que priorizan la comodidad, rapidez o disponibilidad inmediata especialmente que viajan con equipaje pesado o que viajan en horas de la noche (Ceder, 2016).

3.5. Tipos de transporte público para pasajeros

Los aeropuertos pueden disponer de distintos tipos de transporte terrestre, los cuales varían dependiendo la ubicación geográfica, tamaño del aeropuerto, volumen de

pasajeros, densidad poblacional de la ciudad y nivel de desarrollo del transporte local. Entre los más comunes se encuentran.

- **Transporte público urbano (autobuses y trolebuses):** Utilizados mayormente en ciudades grandes con redes de transporte terrestre desarrolladas. Tienen frecuencias determinadas y horarios fijos, por lo que no se pueden ajustar a los itinerarios de vuelo.
- **Servicios ferroviarios (metro o tren ligero):** Comunes en aeropuertos grandes como el de Ámsterdam, París, Londres o New York. Permiten un traslado rápido, económico y masivo, pero la implementación de estos requiere inversiones significativas.
- **Transporte privado (vehículos particulares y estacionamientos de largo plazo):** Opción más usada en aeropuertos medianos en donde los pasajeros prefieren movilizarse en sus propios vehículos, a menudo a falta de otras alternativas.
- **Servicio de transporte por aplicaciones (Uber, Cabify, etc.):** Cada vez más populares, pero sujetos a regulaciones locales y muchas veces restringidos en aeropuertos.
- **Taxis convencionales:** Presentes prácticamente en todos los aeropuertos del mundo, representan una alternativa flexible, directa y accesible, especialmente en aeropuertos pequeños en donde otras formas de transporte no están disponibles o son ineficientes (W. Zhang et al., 2019).

3.6. Rol de los taxis en aeropuertos pequeños

En aeropuertos de escala mediana o pequeña como es el caso del aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca la disponibilidad de medios de transporte es limitada. En estos entornos, los taxis desempeñan un papel importante como medio principal para el ingreso y salida del aeropuerto. Su relevancia se debe a varios factores.

- **Cobertura y disponibilidad horaria:** Los taxis operan incluso en horarios nocturnos, feriados o fuera de la cobertura del transporte público, brindándole así una cobertura que difícilmente puede ser igualada por los otros servicios (Ceder, 2016).
- **Adaptabilidad al volumen de pasajeros:** Al no tener rutas fijas ni frecuencias definidas, los taxis pueden ajustarse de forma dinámica a la llegada de los vuelos, atendiendo directamente a la demanda en tiempo real.

- **Conexión directa al destino final:** Los pasajeros aprecian el hecho de que el taxi los lleva directamente a su hogar, hotel o lugar de trabajo sin transbordos o complicaciones adicionales, lo cual resulta atractivo en contextos de baja conectividad urbana (W. Zhang et al., 2019).
- **Desempeño en condiciones climáticas o de accesibilidad complejas:** En días lluviosos o de alta congestión vehicular, los taxis suelen tener preferencia de ingreso o vías exclusivas en los aeropuertos.

Según estudios como el de (Rivas, 2018) demuestran que en aeropuerto que no superan los 10 vuelos diarios, los taxis pueden representar alrededor del 60% del total de desplazamientos realizados por los pasajeros al salir del aeropuerto. Esta cifra puede subir más en ciudades intermedias, donde el transporte público no cubre eficientemente las necesidades de movilidad de la población.

En el caso específico de Cuenca, el aeropuerto Mariscal Lamar se encuentra en una zona urbana, pero carece de una integración formal con el sistema de transporte público urbano. Esto limita las alternativas de los pasajeros, haciendo que los taxis y vehículos particulares sean las únicas opciones disponibles para el traslado. Además, durante las horas sin vuelos, no hay presencia de taxis en el aeropuerto, lo que obliga a los pasajeros a llamar a unidades externas o salir a buscarlas en calles aledañas.

3.7. Limitaciones y desafíos en aeropuertos con baja frecuencia de vuelos

A pesar de su importancia operativa, el sistema de taxis en aeropuertos pequeños presenta limitaciones estructurales y desafíos logísticos. Entre los más relevantes se destacan.

- **Descoordinación entre oferta y demanda:** Al no existir un sistema automatizado de predicción de demanda, los taxistas no siempre están presentes a la hora del vuelo. Esto genera tiempos de espera prolongada a los pasajeros a su vez en el caso contrario presencia excesiva de taxis que regresan vacíos, generando pérdidas económicas para los conductores (Rahaman et al., 2022).
- **Falta de incentivos para los taxistas:** En muchas ocasiones los taxistas no consideran rentable acudir al aeropuerto si no hay garantía de conseguir pasajeros. En horarios de baja demanda o condiciones climáticas adversas, la oferta de taxis puede disminuir drásticamente.
- **Ausencia de un sistema de gestión de turnos o falta de comunicación con las cooperativas:** A diferencia de los aeropuertos grandes los aeropuertos

pequeños no suelen existir una plataforma digital o canal de difusión que coordine la llegada de los taxis según el cronograma de vuelos.

- **Dificultad para proponer estrategias de mejora:** La falta de datos estructurados sobre la demanda de taxis impide diseñar políticas públicas, establecer acuerdos con cooperativas o justificar la implementación de transporte alternativo.

3.8. Normativa relacionada al servicio de taxis en el Ecuador

El marco normativo que regula el servicio de taxis es fundamental para garantizar seguridad, accesibilidad y calidad del servicio. La Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial establece normas y procedimientos relacionados con el servicio de transporte en todo el país (Ecuador, 2021). Para el caso de los aeropuertos, las autoridades locales y nacionales deben colaborar para asegurar que las tarifas sean justas y que los taxis estén disponibles de manera eficiente.

Para el caso de Cuenca la Corporación Aeroportuaria de Cuenca el servicio de taxis en el aeropuerto Mariscal La Mar opera 24 horas esto gracias a un convenio con la UPTA. Donde los usuarios pueden abordar taxis sin la necesidad de salir de la terminal aérea (Cuenca, 2023).

3.9. Demanda de transporte público

El estudio de la demanda de transporte público es un clave en la planificación de sistemas de movilidad eficientes, sustentables y adaptados a las necesidades reales de la población. En el contexto de los aeropuertos esta demanda cobra relevancia ya que conecta el aeropuerto con el sistema de transporte, permitiendo el ingreso y salida de pasajeros y trabajadores a la terminal aérea (Ortúzar & Willumsen, 2011).

3.10. Concepto y dimensiones de la demanda

La demanda de transporte público puede definirse como la cantidad de viajes o desplazamientos que los pasajeros están dispuestos a realizar en un periodo y lugar determinado, utilizando medios de transporte colectivo. La demanda está condicionada por varios factores detallados a continuación:

- **Socioeconómicas:** Ingreso, edad, género, nivel de educación.
- **Temporales:** Hora del día, día festivo, día de la semana.
- **Especiales:** Ubicación del aeropuerto.
- **Operativas:** Frecuencia del servicio, tiempos de espera, confiabilidad, comodidad (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Para el caso de los aeropuertos la demanda de transporte terrestre se encuentra principalmente asociada al volumen de pasajeros de llegada y salida y al personal que labora en la terminal. A diferencia de otras infraestructuras, la demanda en un aeropuerto es altamente variable y presenta picos en horas que coinciden con la llegada de los vuelos, por lo que su estudio debe considerar este comportamiento discontinuo (Chen et al., 2020).

3.11. Particularidades de la demanda en aeropuertos pequeños

Los aeropuertos regionales a menor escala como el aeropuerto Mariscal Lamar presentan dinámicas distintas de demanda en comparación con los aeropuertos grandes. Al tener un número reducido de vuelos diarios y estar en zonas en donde no siempre el transporte público (Zhang et al., 2017a).

urbano llega eficientemente la mayoría de pasajeros usan taxis como principal medio de transporte entre la terminal y su destino final.

Según (), en aeropuertos con menos de 15 vuelos diarios los taxis representan cerca del 60% de los viajes realizados por los pasajeros. Esta preferencia se debe a distintos factores como:

- Falta de transporte público directo hacia el aeropuerto
- Horarios de vuelo que no coinciden con las frecuencias de transporte urbano
- Facilidad del taxi para llevar el equipaje de los pasajeros hacia su destino
- Percepción de seguridad y comodidad en comparación con otros medios

En Cuenca, por ejemplo, no existen ninguna ruta dedicada al aeropuerto. Esto provoca que las personas opten por taxis o vehículos particulares. Esta dependencia del servicio implica que incluso variaciones pequeñas en la oferta (número de taxis disponibles) o en la demanda (número de pasajeros por vuelo) generan desajustes importantes, como tiempos de espera excesivos o unidades regresen vacías.

3.12. Métodos para estimación de demanda

3.12.1. Enfoques estadísticos tradicionales:

Entre los más comunes para estimar la demanda estas los modelos de regresión lineal, que establecen relaciones entre una variable dependiente (como número de taxis solicitados) y una o varias variables independientes (como vuelos por hora, clima, hora, etc). Aunque estos modelos son interpretables y fáciles de aplicar, presentan limitaciones importantes cuando la relación entre las variables no es lineal, o cuando

existen altas correlaciones entre los factores predictivos («Simplified Transport Demand Models», 2011).

3.12.1.1. Regresión lineal

En el campo de la ingeniería, los modelos de regresión son herramientas fundamentales para analizar y predecir el comportamiento de variables dependientes en función de una o más variables independientes. En el presente estudio, se emplean dos enfoques clásicos: la regresión lineal múltiple y la regresión de Poisson, aplicados a la estimación de la demanda de taxis en el aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca.

La regresión lineal múltiple permite modelar una relación lineal entre una variable dependiente continua y un conjunto de variables independientes $x_1 + x_2 + \dots + x_p$. Su formulación general es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon \quad (1)$$

Donde:

y : Variable dependiente (en este caso taxis tomados por hora)

x_i : Variables explícitas como hora, temperatura, pasajeros por aerolínea etc.

β_i : Coeficientes que representan el efecto marginal de cada variable independiente.

ϵ : Término de error aleatorio.

Este modelo asume que la relación entre las variables es lineal, que los residuos se distribuyen normalmente con media cero, y que existe homocedasticidad (constancia de la varianza del error). Se estima mediante el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO), que minimiza la suma de los errores cuadrados entre las predicciones y los valores observados (Montgomery et al., 2021).

La utilidad de este modelo radica en su simplicidad y fácil implementación, permitiendo cuantificar de manera directa el impacto de cada variable independiente sobre la demanda de taxis.

3.12.1.2. Regresión de Poisson

Cuando la variable independiente corresponde a un conteo discreto de eventos no negativos como es el caso de los taxis tomados, un modelo de regresión más adecuado

puede ser la regresión de Poisson. Este modelo asume que la variable de respuesta y sigue una distribución de Poisson con una media λ que depende las variables independientes (Gardner et al., 1995):

$$P(Y = y) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!} \quad (2)$$

La función de enlace utilizada es la función logarítmica, lo que permite expresar el modelo como:

$$\log(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad (3)$$

Este modelo se estima mediante máxima verosimilitud, y resulta útil cuando:

- La variable dependiente es discreta y de conteo.
- No hay sobredispersión (la varianza es aproximadamente igual a la media).

No obstante, si la varianza excede la media (sobredispersión), puede considerarse una regresión binomial negativa como alternativa (Ver Hoef & Boveng, 1997).

3.13. Modelos predictivos en transporte

Los modelos predictivos son herramientas estadísticas computacionales que permiten estimar un comportamiento futuro de una variable a partir de datos históricos y realizaciones entre variables explicativas. Si nos referimos al transporte, se utilizan para anticipar niveles de demanda, tiempos de viaje, y detectar patrones y otros fenómenos críticos para la gestión de sistemas urbanos gestionables (Ortúzar & Willumsen, 2011).

Con el avance de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, han ido tomando importancia modelos que puedan procesar grandes volúmenes de datos y tengan la capacidad de aprender patrones complejos sin la necesidad de establecer formulas explícitas. Modelos como la regresión lineal, Random forest, Gradient Boosting y las redes neuronales han sido aplicados con éxito en diversos contextos de movilidad urbana y aeroportuaria (J. Zhang et al., 2017a).

Estos modelos permiten trabajar con modelos tanto numéricas como categóricas, y son capaces de modelar relaciones no lineales y de identificar relaciones entre variables. Para complementar los distintos modelos se pueden usar técnicas de validación cruzada y ajustes de hiper parámetros para optimizar su rendimiento y reducir el riesgo de sobreajuste. La posibilidad de evaluar la importancia relativa de las variables también permite identificar los factores clave que determinan la demanda de taxis, lo cual tiene un valor práctico para los tomadores de decisiones (Breiman et al., 2017).

3.13.1. Modelos basados en árboles de decisión

Los árboles de decisión son modelos predictivos que dividen el espacio de datos en múltiples ramas, dependiendo de los valores de las variables independientes. Estos modelos son más flexibles que los modelos estadísticos y tradicionales ya que permiten capturar relaciones no lineales y complejas entre variables, no obstante, su precisión puede verse afectada por el sobre ajuste si no se validan correctamente (Breiman et al., 2017).

3.13.1.1. Random forest

Random forest es un algoritmo de aprendizaje supervisado que combina múltiples árboles de decisión entrenados de forma independiente a partir de subconjuntos de datos. Fue propuesto por Leo Breiman en 2001 como una mejora sobre los árboles de decisión individuales, los cuales tienden a sobre ajustarse a los datos de entrenamiento.

El Random Forest construye un “bosque” de árboles y agrega sus predicciones, reduciendo la varianza del modelo y mejorando su capacidad de generalización. En problemas de regresión como el presente. El modelo predice el valor medio de todas las predicciones generadas por los árboles. Además, introduce aleatoriedad tanto en las selecciones de las observaciones como en las variables. Esto produce diversidad de los árboles por lo que el modelo resultante es más robusto (Ghosh, S., Basu, R., & Maitra, B, 2019).

3.13.1.2. Comparación con otros enfoques

Otras técnicas modernas incluyen el uso de redes neuronales artificiales, los modelos boosting (como XGBOST) y los modelos bayesianos. Aunque estos ofrecen una gran precisión, su aplicación requiere mayor capacidad computacional y experticia técnica en sistemas computacionales y programación (J. Zhang et al., 2017a). En estudios de predicción de demanda para corto plazo o mediano plazo, como es para el caso del aeropuerto Mariscal Lamar, Random Forest ofrece una combinación ideal entre precisión, interpretabilidad y facilidad de implementación.

3.13.1.3. Aplicaciones en transporte y otros estudios previos

Diversos estudios respaldan la aplicación de Random Forest y arboles de decisión en diversos contextos de movilidad.

- Moreira en 2013 utilizaron modelos de aprendizaje automático para predecir la demanda de taxis en Lisboa, con excelentes resultados (Moreira-Matias et al., 2013).
- Zhang en 2017 aplicaron Random Forest para predecir la ocupación de bicicletas compartidas (J. Zhang et al., 2017a).
- Chai en 2018 utilizó Random Forest para modelar el tráfico urbano considerando variables temporales, meteorológicas y sociales (Chai, T., Zhou, Y., Jia, Y., & Lu, H, 2018).

Estos antecedentes refuerzan la elección metodológica del presente estudio, en el cual se busca estimar la demanda de taxis en función de variables como la hora del día, condiciones climáticas, número de vuelo y cantidad de pasajeros por aerolínea.

En la Tabla 1 se expone distintos trabajos con metodologías y resultados obtenidos para la estimación de demandas de transporte para distintas ciudades.

Tabla 1

Metodologías para estimación de demandas de servicio público

| Autor | Año | Ciudad / País | Método utilizado | Variables clave | Resultado principal |
|--------------|------------|--------------------------|--|--|---|
| Tong et al. | 2017 | Nueva York, EE.UU. | Modelo espacio-temporal + regresión lineal | Tiempo, ubicación, demanda por zona | Propone un modelo para estimar demanda por tiempo y espacio con buena precisión |
| Coviensky | 2017 | Nueva York, EE.UU. | Ampliación del modelo de Tong | Interacción de factores, vuelos, clima | Mejora el ajuste para predicción en aeropuertos incluyendo nuevas variables |

| | | | | | |
|-----------------------|------|--------------------|--------------------------------------|---|--|
| Kamga | 2013 | Nueva York, EE.UU. | Análisis estadístico | Lluvia, temperatura, demanda | La lluvia incrementa significativamente la demanda y las tarifas |
| Zhang y Gong | 2016 | Nueva York, EE.UU. | Predicción puntual | Hora, ubicación, volumen de taxis | Estima demanda por hora y ubicación, útil para entornos como aeropuertos |
| Moreira-Matias et al. | 2013 | Lisboa, Portugal | Modelos de ML con datos de streaming | GPS, tiempo, demanda instantánea | Alto desempeño predictivo en tiempo real usando datos dinámicos |
| Glerum et al. | 2014 | Ginebra, Suiza | Modelos de elección discreta | Características de pasajeros, vuelos, clima | Predice decisiones de uso de taxis según perfil de pasajero y contexto |

3.14. Simulaciones

Los modelos de simulación, como la Dinámica de Sistemas, ayudan a comprender la interacción entre diferentes factores y a prever escenarios complejos (Ceder, 2016).

3.15. Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es una técnica estadística que utiliza distribuciones de probabilidad para modelar escenarios inciertos. En el ámbito del transporte permite generar datos sintéticos que replican condiciones reales. En este estudio fue útil para generar datos y robustecer los modelos predictivos (Metropolis, N., & Ulam, S., 1949).

En el estudio de la demanda de transporte, especialmente en contextos de escasa disponibilidad de datos o variabilidad significativas como el de aeropuertos pequeños, la simulación de Monte Carlo se convierte en una herramienta clave para generar escenarios posibles que permiten reforzar y ampliar la base de datos original. Esta técnica permite modelar fenómenos complejos e inciertos mediante el uso de variables aleatorias con distribuciones probabilísticas ofreciendo resultados más representativos y confiables (Metropolis, N., & Ulam, S., 1949).

3.15.1. Fundamento de la simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo consiste en repetir muchas veces un experimento computacional utilizando valores aleatorios generados según distribuciones definidas para cada variable. Cada iteración simula un posible estado del sistema bajo análisis, lo que permite crear una distribución de resultados en lugar de una predicción puntual (Kroese et al., 2014).

En caso del aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca en donde el número de vuelos es limitado y existen periodos horarios sin operación, es necesario contar con un número suficiente de datos para entrenar modelos de predicción como el Random Forest. La simulación permite cubrir esta carencia generando registros sintéticos que respetan lógica y variabilidad de los datos reales recolectados durante el levantamiento manual.

3.15.2. Aplicación en la estimación de demanda de transporte

En la práctica, se pueden definir variables como el número de vuelos por hora, presencia de lluvia, condición de feriado y número de pasajeros promedio por vuelo, asignando distribuciones según lo observado en los datos reales. Con base en estas variables simuladas, se genera un número estimado de taxis requeridos usando el modelo entrenado.

Este enfoque tiene varias ventajas:

- Robustez: Permite entrenar modelos de Machine Learning con un conjunto más amplio y representativo (González et al., 2019).
- Exploración de escenarios: Facilita analizar condiciones no observadas directamente, como un aumento del 50% de los vuelos (Zhang et al., 2020).
- Evaluación de sensibilidad: Ayuda a identificar cómo pequeños cambios en las variables influyen en la demanda (Zhao et al., 2017).

En estudios de movilidad urbana con recursos de medición limitada, la simulación complementa eficazmente la observación directa, permitiendo proyecciones útiles para la planificación del transporte (Wang & Ross, 2018).

3.16. Factores que influyen en la demanda

La demanda de transporte terrestre en aeropuertos esta influenciada por múltiples factores contextuales, operativos y sociales. Identificar estos factores es importante para que el modelo de predicción represente adecuadamente el comportamiento real de los

usuarios y permita tomar decisiones adecuadas dependiendo la situación (Ortúzar & Willumsen, 2011).

3.16.1. Hora del día

La demanda de taxis presenta una variación marcada dependiendo la hora del día. En general se observa mayor flujo en las horas picos. Para el caso de aeropuerto estas coinciden con la llegada de vuelos, así como las primeras horas de la mañana y al final de la tarde. La planificación del servicio debe considerar esta variabilidad para evitar desajustes entre la oferta y la demanda (J. Zhang et al., 2017b).

3.16.2. Día de la semana y feriados

La actividad aeroportuaria cambia según el día de la semana. Días laborales pueden tener alta demanda por pasajeros que viajan por negocios, mientras que los fines de semana y feriados presentan mayor concentración de pasajeros turísticos. Los días festivos pueden generar picos inusuales de demanda que requieren previsión operativa para evitar la saturación del servicio (Moreira-Matias et al., 2013).

3.16.3. Cantidad de vuelos y aerolíneas

El número de vuelos por hora, así como la frecuencia de las aerolíneas es uno de los principales predictores de la demanda de taxis. A mayor número de llegadas mayor será el volumen de pasajeros que podrían usar taxi. Además de que cada aerolínea tiene características de servicio distintas (frecuencia, capacidad) lo cual puede influir en los patrones de la demanda (Ghosh, S., Basu, R., & Maitra, B, 2019).

3.16.4. Número de pasajeros

El volumen total de pasajeros que arriban al aeropuerto es un determinante directo de la demanda de transporte terrestre. Sin embargo, no todos los pasajeros utilizan taxis. Factores como el tipo de pasajero (turista o local), el número de acompañantes y el equipaje influyen en la decisión de usar taxi (Glerum et al., 2014).

3.16.5. Condiciones climáticas

Este factor afecta tanto la oferta como la demanda de taxis. En días lluviosos los pasajeros tienen menor disposición a caminar o esperar al aire libre, lo que puede aumentar la demanda de taxis de manera inmediata. Al mismo tiempo los taxis pueden modificar sus patrones de circulación por razones de seguridad, comodidad o demanda de pasajeros en zonas céntricas, reduciendo la disponibilidad (Chen et al., 2020).

3.16.6. Comodidad y percepción

Comodidad percibida del servicio La percepción de comodidad, seguridad y rapidez asociada al servicio de taxi puede aumentar su preferencia frente a otras alternativas. De acuerdo con ((Wang et al., 2018), los usuarios están dispuestos a pagar más por un servicio percibido como eficiente y directo, especialmente si viajan con equipaje o bajo presión de tiempo.

3.16.7. Conectividad urbana y ubicación del aeropuerto

La ubicación del aeropuerto con relación al centro urbano o zonas residenciales también influye en el uso de los taxis. En ciudades pequeñas y medianas, donde no existe una red de transporte público robusta los taxis suelen representar la alternativa más directa y rápida (W. Zhang et al., 2019).

3.16.8. Interacción de factores y modelos multivariantes

Dado que estos factores no actúan de forma aislada, se hace necesario emplear modelos multivariantes como Random Forest para capturar sus interacciones no lineales. Por ejemplo, el efecto de la hora del día sobre la demanda puede ser mayor cuando también hay lluvia o vuelos múltiples en esa misma franja. Estos efectos conjuntos se representan mejor con algoritmos de aprendizaje automático (Chen et al., 2020).

3.17. Estimación de la demanda futura

La planificación de servicios de transporte, para nuestro caso el servicio de taxis en un aeropuerto, requiere entender no solo la demanda actual, sino también proyectar como esta será en un futuro. Esta estimación puede ayudar la asignación de unidades y mejorar la eficiencia en periodos y horas críticas.

La incorporación de riesgos e incertidumbres en las proyecciones de la demanda es importante para desarrollar estrategias que mitiguen escenarios adversos y aseguren la correcta implementación en los aeropuertos (Ortúzar & Willumsen, 2011).

3.18. Métricas de evaluación de modelos predictivos

La evaluación de modelos predictivos es una etapa crucial para determinar la eficacia y precisión de los modelos utilizados. Las métricas cuantitativas permiten comparar el rendimiento de distintos enfoques y seleccionar el más adecuado según el problema a resolver. En el presente estudio se emplearon métricas como el Error Cuadrático Medio (RMSE), el Error Absoluto Medio (MAE) y el Coeficiente de Determinación (R^2), ampliamente utilizadas en tareas de regresión.

3.18.1. Error Cuadrático Medio (RMSE)

El RMSE (Root Mean Squared Error) mide la raíz cuadrada del promedio de los errores al cuadrado. Es sensible a valores atípicos, ya que penaliza los errores grandes con más fuerza que otras métricas.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

donde:

y_i : Es el valor real

\hat{y}_i : Es el valor estimado

n : Es el número de observaciones

El RMSE expresa la magnitud del error en las mismas unidades que la variable objetivo. Un valor más bajo indica una mejor precisión del modelo (Chai & Draxler, 2014).

3.18.2. Error Absoluto Medio (MAE)

El MAE (Mean Absolute Error) calcula el promedio de los errores absolutos entre los valores reales y los predichos. A diferencia del RMSE, no penaliza de manera cuadrática los errores.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (5)$$

donde:

y_i : Es el valor real

\hat{y}_i : Es el valor estimado

Esta métrica proporciona una medida clara y directa de la precisión del modelo. Es menos sensible a valores extremos que el RMSE (Willmott & Matsuura, 2005).

3.18.3. Coeficiente de Determinación (R^2)

El coeficiente de determinación, también conocido como R^2 , indica la proporción de la varianza de la variable dependiente que es explicada por el modelo. Su valor varía entre 0 y 1, siendo 1 el ajuste perfecto.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Donde \bar{y} es el valor medio de la variable dependiente. Un valor de R^2 cercano a 1 indica que el modelo explica bien la variabilidad de los datos (Kutner et al., 2004).

3.19. Implicaciones

Una estimación precisa de la demanda de taxis permite:

- Optimizar la asignación de vehículos en tiempo real.
- Reducir tiempos de espera para los pasajeros.
- Mejorar la planificación de infraestructura de transporte.
- Minimizar el impacto ambiental mediante una gestión más eficiente del transporte.

4. Materiales y métodos

4.1. Zona de estudio

El aeropuerto “Mariscal Lamar” se encuentra ubicado en la dentro del casco urbano de la ciudad de Cuenca entre las avenidas España y Elia Luit véase la Figura 1 a una altura de 2532 metros sobre el nivel del mar con una temperatura promedio de 24 grados centígrados tuvo su inauguración el 23 de abril de 1941 el horario que se encuentra abierto el aeropuerto es de domingo a domingo de 5:00 am a 11:00pm.

A lo largo de los años desde su inauguración el aeropuerto ha ido recibiendo mejoras y ampliaciones tanto de la terminal de pasajeros, así como también de la pista con el objetivo de mejorar su operatividad y servicios llegando a la configuración actual la cual cuenta con una pista de 1900 metros de largo y un área de 68.400 metros cuadrados

véase la **Tabla 2**. La terminal de pasajeros es relativamente pequeña con 5126 metros cuadrados de construcción con dos plantas es un edificio completamente moderno.

La administración está a cargo de la CORPAC (CORPORACIÓN AEROPUERTARIA DE CUENCA) organismo creado por el municipio de Cuenca para realizar funciones de administración mantenimiento y seguridad en la terminal aérea.

Figura 1

Vista aérea aeropuerto Mariscal Lamar



Nota: Extraído de Google maps

Tabla 2

Características del aeropuerto Mariscal Lamar

| Elemento | Descripción |
|---------------------------|--|
| Nombre completo | Aeropuerto Internacional Mariscal Lamar |
| Ubicación | Avenidas España y Elia Liut, Cuenca, Ecuador |
| Altitud | 2.532 metros sobre el nivel del mar |
| Temperatura promedio | 13 °C – 15 °C |
| Longitud de pista | 1.900 metros |
| Área total del aeropuerto | 68.400 m ² |

| | |
|----------------------------------|---|
| Área de la terminal de pasajeros | 5.126 m ² (dos plantas, edificio moderno) |
| Horario de funcionamiento | Domingo a domingo, de 5:00 a 23:00 |
| Punto de acceso de taxis | Entrada por avenida España, salida por calle Castellana |
| Operador | CORPAC – Corporación Aeroportuaria de Cuenca |
| Año de inauguración | 23 de abril de 1941 |

Fuente: (CORPAC, s. f.)

Para el análisis se el área de estudio englobara la zona de la terminal de pasajeros lugar donde los taxis llegan ya sea para salir o llegar a ella esta zona comprende la entrada a la misma que ese encuentra en la avenida España, así como también el lugar donde estos esperan a los distintos pasajeros que deseen coger un taxi.

4.2. Oferta de transporte alternativo

La disponibilidad de buses y parqueaderos públicos y el tranvía afectan directamente la demanda de taxis ya que esta disminuye ante la presencia de estas.

4.2.1. Sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca.

El sistema incluye varias modalidades. En términos de transporte colectivo la ciudad de Cuenca cuenta con una flota de autobuses motorizados (GAD municipal del cantón Cuenca, 2015) para nuestro caso de estudio nos interesan los autobuses que pasen por el aeropuerto en la *Tabla 3* se muestran las diferentes líneas que pasan por la terminal aérea.

Tabla 3

Líneas de buses que pasan por el aeropuerto

| Línea | Ruta Principal | Compañía Operadora |
|-------|--|--------------------|
| L6 | Mayancela - 9 de Octubre | LANCOMTRI S.A. |
| L7 | Trigales - Mall del Río | CUENCANA S.A. |
| L10 | Paluncay - La Florida | UNCOMETRO S.A. |
| L12 | Cementerio Baños - Mercado Quinta Chica | BAÑOSA S.A. |
| L18 | Zhucay - Universidad Politécnica Salesiana | COMTRANUTOME S.A. |
| L26 | Checa - Mercado 27 de Febrero | URBA 10 S.A. |

| | | |
|------|--|-----------------|
| L28 | Guangarcucho - Feria Libre | RICAURTESA S.A. |
| L29 | Nulti - 9 de Octubre | SIT |
| L30 | Ordoñez - Santa Rosa / Santa Rosa - Terminal | LANCOMTRI S.A. |
| L31 | Ordóñez - Llacao | CUENCANA S.A. |
| L32 | 9 de Octubre - Guabo | UNCOMETRO S.A. |
| L33 | Ordóñez - Raya | BAÑOSA S.A. |
| L100 | Ricaurte - Baños | RICAURTESA S.A. |

Fuente: (GAD CUENCA, 2022)

Otra alternativa de transporte que pasa por la terminal aérea es el tranvía, un transporte eléctrico que surgió con el propósito de mejorar la movilidad y aliviar el congestionamiento vehicular que existe en la ciudad (Rodriguez 2021).

Cuenta con 14 unidades con capacidad para 250 personas. Cuenta con 27 estaciones cuyo propósito es brindar a los usuarios acceso a puntos estratégicos de la ciudad como son el centro histórico y la feria libre esto puede hacer que sea una alternativa viable para personas que llegan al aeropuerto. En la *Tabla 4* se muestra la ruta que toma el tranvía.

Tabla 4

Ruta de tranvía

| N.º | Parada |
|-----|---------------------------|
| 1 | Río Tarqui |
| 2 | El Salado |
| 3 | Misicata |
| 4 | Río Yanuncay |
| 5 | Av. México |
| 6 | El Arenal |
| 7 | Río Tomebamba |
| 8 | Ordóñez Lasso |
| 9 | Parque El Molinero |
| 10 | Sector La Cuadra |
| 11 | Convención del 45 |
| 12 | Mercado Tres de Noviembre |

| | |
|----|--------------------|
| 13 | Padre Aguirre |
| 14 | Antonio Borrero |
| 15 | Gaspar Sangurima |
| 16 | Gran Colombia |
| 17 | Unidad Nacional |
| 18 | Corazón de Jesús |
| 19 | Coronel Tálbot |
| 20 | Santo Domingo |
| 21 | Hermano Miguel |
| 22 | Huayna Cápac |
| 23 | Chola Cuencana |
| 24 | Terminal Terrestre |
| 25 | Aeropuerto |
| 26 | Milchichig |
| 27 | Parque Industrial |

Fuente: (GAD CUENCA, 2022)

4.3. Enfoque de investigación

La presente investigación se enmarca de un enfoque cuantitativo y no experimental, ya que se fundamenta en la recolección, procesamiento y análisis de procesamiento y análisis de datos numéricos obtenidos en condiciones naturales, sin manipulación de las variables. El diseño es descriptivo porque busca caracterizar el comportamiento de la demanda de taxis en el aeropuerto Mariscal Lamar y también predictivo, al desarrollar un modelo capaz de estimar la demanda bajo distintos escenarios presentes y futuros.

El estudio también puede ser aplicado, puesto que persigue la solución de un problema concreto relacionado con la gestión del transporte en el aeropuerto de Cuenca.

4.4. Obtención de datos

La recolección de datos se llevó a cabo de forma manual, mediante observación directa en las instalaciones del aeropuerto Mariscal Lamar. Se cubrió un periodo de que comprende la semana del 10 al 16 de marzo de 2025 y el 11 de abril del 2025 que es una semana normal y un feriado, con el objetivo de capturar tanto patrones normales como atípicos de movilidad.

Los datos fueron recolectados entre las 6:00 y 22:00 horas, rango que comprende el total de vuelos que arriban al aeropuerto durante su horario operativo. Mediante conteo manual para cada hora se registraron los siguientes datos.

- Hora del día
- Día de la semana
- Condición del día (feriado o no)
- Presencia de lluvia o no
- Número de vuelos por hora
- Taxis totales
- Taxis tomados
- Taxis tomados fuera del aeropuerto
- Tiempo de espera de los taxis promedio
- Tiempo de espera de los pasajeros promedio

La autorización para realizar el conteo manual en las instalaciones del aeropuerto fue solicitada y concedida mediante un oficio dirigido a la CORPAC (ver anexo A).

Para complementar la información observada se realizaron solicitudes formales a distintas instituciones:

- El número de pasajeros por aerolínea y por hora fue proporcionada por la CORPAC, mediante oficio dirigido al gerente ejecutivo (ver anexo E)
- Datos de temperatura facilitados por la universidad del Azuay, a través de sus estaciones meteorológicas (ver anexo F)
- Información de precipitaciones fue obtenida a través del departamento PROMAS de la universidad de cuenca mediante correo a su directo el Ing Diego Mora PhD (ver anexo G)

Esta información permitió construir una base de datos estructurada para el análisis posterior.

4.4.1. Conteos manuales

Para los conteos se utilizó el siguiente formato véase Tabla 5, en donde se registran, la hora el número de vuelos en la hora taxis totales que llegan, numero de taxis tomados. Se tomaron los datos de los taxis en la zona de arribos.

Tabla 5

Planilla de conteo de taxis

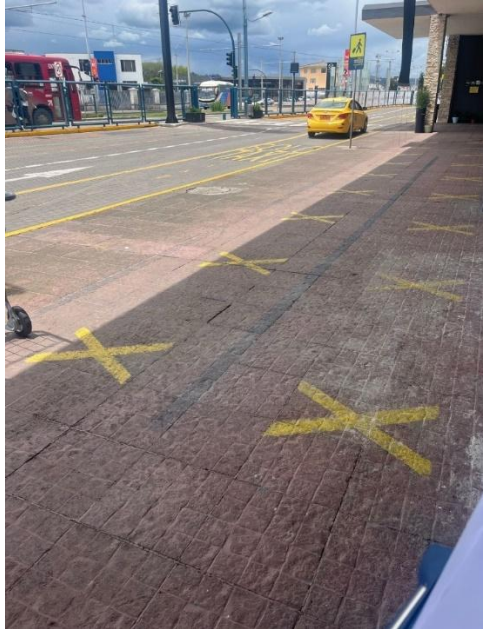
| Conteo de taxis | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------|---|----------------------|--------|
| Fecha: | | | | | | | | | |
| Feriado: | | | | | | | | | |
| Día de la semana | Hora | Número de vuelos en la hora | Taxis Totales | Pasajeros por taxi (promedio) | Taxis tomados | Tiempo de espera de los taxis (min) | Tiempo de espera pasajeros (promedio minutos) | Taxis tomados afuera | Lluvia |
| Lunes | 6:00-7:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 7:00-8:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 8:00-9:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 9:00-10:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 10:00-11:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 11:00-12:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 12:00-13:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 13:00-14:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 14:00-15:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 15:00-16:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 16:00-17:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 17:00-18:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 18:00-19:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 19:00-20:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 20:00-21:00 | | | | | | | | |
| Lunes | 21:00-22:00 | | | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

4.4.2. Zona de conteo

El conteo se lo realizara en el punto de llegada de los pasajeros el aeropuerto de la Ciudad de cuenca únicamente cuenta con un punto para recoger pasajeros este ubicado en la zona de arribos como se puede observar en la Figura 1. El conteo se realizó de 6:00 am a 10:00 pm que es el horario en donde el aeropuerto está abierto al público y este tiene vuelos. En la siguiente figura se detalla la ubicación de la estación y donde se realizó el conteo.

Figura 2

Estación de conteo de taxis

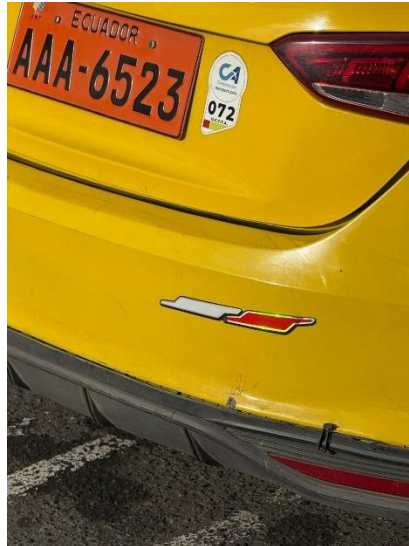


Detalle de la estación: Estación ubicada frente a la avenida España en la zona de arribos del aeropuerto esta estación cuenta todos los taxis que llegan al aeropuerto recogen pasajeros y salen del mismo.

El ingreso de los taxis es por la avenida España en sentido Terminal terrestre – Aeropuerto y la salida es por la calle Castellana.

Figura 3

Sello de taxi autorizado a entrar



4.4.3. Registro de taxis totales

Para el registro de taxis totales como se dijo anteriormente este se realiza mediante el conteo de todos los taxis que ingresan a la terminal únicamente los que llegan a la zona de arribos ya que estos son los que llevan a los pasajeros una vez estos llegan de un vuelo.

Los taxis tomados en cuenta también son aquellos que tienen la autorización para llevar pasajeros como se mencionó anteriormente la "CORPAC" tiene convenio con la UPTA y solo taxis autorizados pueden entrar a recoger pasajeros en el aeropuerto. Estos taxis se pueden identificar ya que llevan una pegatina tanto en la parte del costado como en la parte trasera del taxi como se muestra en la Figura 3.

Un factor importante a tener en cuenta es que en el aeropuerto hay horas donde no existen vuelos por lo que la demanda de taxis en esas horas es cero esto se corroboró en el conteo se evidenció que cuando no hay vuelo en una hora determinada la demanda es nula

4.4.4. Registro de taxis tomados

Estos se entienden que son todos los taxis que salen con pasajeros del aeropuerto esto sucede cuando hay vuelo. Como se mencionó anteriormente existen horas en donde la demanda es cero debido a que hay horas donde no existen vuelos.

4.4.5. Número de vuelos por hora

Se considera esta variable fundamental ya que si existe la llegada de un vuelo algunos de los pasajeros que lleguen en este necesitarán tomar un taxi esa variable se la obtuvo mediante el itinerario de vuelo proporcionado por la CORPAC en página web en la siguiente tabla se pone el itinerario del día lunes. El itinerario completo de los días que se realizó el conteo se encontrara en anexos (Ver anexo H). Para nuestro caso de estudio solo nos interesa los arribos.

Cabe recalcar que en la práctica este itinerario no se cumple ya que la gran mayoría de los vuelos llegan antes de lo previsto y esto se evidencio al realizar el conteo.

4.4.6. Pasajeros por taxi promedio

Esta variable nos permite tener una aproximación de cuantas personas por vuelo toman taxi para esto se contó el número de personas totales que toman taxi y se dividió para el numero de taxis tomados.

4.4.7. Tiempo de espera de pasajeros promedio

Esta variable es importante ya que nos permite saber cuánto tiempo espera una persona en el caso de que no haya taxis.

Este tiempo de se determinó de la siguiente manera.

$$T_p = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

(7)

En donde:

T_p : Tiempo de espera promedio de los pasajeros.

T_{max} : El mayor tiempo que espero una persona hasta tomar un taxi.

T_{min} : El menor tiempo que espero una persona para tomar un taxi.

Se toma un promedio ya que existen personas que no respetan su turno a la hora de tomar un taxi y lo toman antes de otras personas que ya estaban esperando.

4.4.8. Tiempo de espera promedio de los taxis

Esto se realizó igual que los pasajeros al contrario de los pasajeros estos llegan antes del vuelo y esperan hasta que este llegue para poder recoger pasajeros.

$$T_p = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (8)$$

En donde:

T_p : Tiempo de espera promedio de los taxis.

T_{max} : El mayor tiempo que espera un taxi hasta recoger un pasajero.

T_{min} : El menor tiempo que un taxi hasta recoger un pasajero.

4.4.9. Taxis tomados afuera

Se considero tomar en cuenta esta variable ya que cuando hacen falta taxis debido a la cercanía de la avenida España del punto de espera de los taxis estos al no tener un taxi que tomar optan por salir y tomar un taxi afuera como se evidencia en la Figura 4.

Figura 4

Taxi tomado afuera



4.4.10. Lluvia

Este es un dato de vital importancia ya que se espera que cuando llueva si bien se espera que los pasajeros sean los mismos la demanda aumente así también se esperaría un número menor de taxis ya que cuando llueve estos son más solicitados en el centro por eso los taxis en el aeropuerto. Esta variable se tomó como SI o NO dependiendo las condiciones climáticas.

4.4.11. Temperatura

Si bien se espera que esta variable no tenga gran relevancia en el modelo se consideró que tenerla es necesario ya que los estudios revisados en el estado del arte la consideraban. Esta variable se obtuvo mediante la información que es de dominio público proporcionada por la Universidad del Azuay se tomó los datos de la estación calle larga ya que es la más cercana al aeropuerto. Se obtuvieron los datos de: Temperatura mínima, Temperatura máxima y un promedio. (ver anexo F)

4.4.12. Día festivo

Se considero esta variable ya que es fundamental se espera que en cada día festivo el número de pasajeros aumente por ende la demanda de taxis también lo haga.

4.4.13. Pasajeros

Esta variable es de suma ya que nos dicen cuántos pasajeros llegan al aeropuerto por hora y de estos cuantos toman un taxi nos da la relación entre los pasajeros totales y los que toman taxis. Estos datos se consiguieron mediante la CORPAC mediante un oficio dirigido al director ejecutivo, se intentó conseguir datos de número de pasajeros, edad y genero lamentablemente solo nos pueden proporcionar datos de número de pasajeros y un rango de edad los cuales serán usados en la estimación de la demanda.

4.5. Procesamiento de datos

4.5.1. Clasificación de los datos

Una vez recolectados los datos estos se clasifican y se pasan a una hoja de cálculo para su posterior procesado se contó los distintos parámetros y se pasó la información por columnas como se muestra en la siguiente figura.

4.5.2. Lectura y limpieza

Una vez recopilada, la información fue trasladada a una hoja de cálculo y luego procesada en el lenguaje de programación Python, utilizando bibliotecas como pandas, numpy, seaborn, matplotlib y scikit-learn. El proceso de limpieza incluyo:

- Corrección de formatos de fecha y hora
- Conversión de variables categóricas a formato numérico (por ejemplo, lluvia =1, no lluvia =0)
- Eliminación de datos faltantes e inconsistentes
- Validación de los intervalos de valores lógicos por variable
- Generación de nuevas variables derivadas

Este proceso garantizó la calidad de los datos utilizados en el modelo predictivo y la simulación.

4.5.3. Determinación de variables más influyentes

Con el propósito de comprender los factores de mayor impacto que tiene la demanda de taxis en el Aeropuerto, se llevó a cabo un análisis de importancia de variables mediante el uso del algoritmo de Random Forest Regresor. Esta técnica no solo permite realizar predicciones, sino identificar la relevancia de cada variable del modelo.

Se implementó un modelo de regresión basado en árboles aleatorios (Random Forest), el cual es una técnica de aprendizaje automático que construye múltiples árboles de decisión y combina sus resultados para obtener una predicción robusta. Este modelo es especialmente útil para analizar problemas con múltiples variables y relaciones no lineales, como es el caso de la estimación de la demanda de taxis.

Los resultados del análisis se presentaron mediante un gráfico de barras horizontal que muestra el nivel de importancia de cada variable en orden descendente. Esta visualización permitió identificar rápidamente cuales factores deben ser priorizados en toma de decisiones operativas y en futuros estudios.

4.5.4. Simulación de Monte Carlo

Dado que el aeropuerto Mariscal Lamar presenta una operación limitada en cuanto al número de vuelos diarios y franjas horarias sin actividad aérea, se consideró necesario ampliar la base de datos disponible mediante técnicas de simulación. Para ello, se aplicó una simulación de Monte Carlo con el objetivo de generar múltiples escenarios posibles basados en patrones observados durante el levantamiento de datos.

4.5.4.1. Justificación de la simulación

La simulación de Monte Carlo permite replicar un fenómeno estocástico introduciendo variabilidad controlada sobre las variables observadas. En ese estudio, la técnica fue utilizada para modelar datos con respecto a la demanda de taxis, dadas ciertas condiciones de entrada como número de vuelos, condiciones climáticas y comportamiento horario.

Esta simulación no busca sustituir los datos reales, sino reforzar el modelo al permitir que aprenda de una variedad más amplia de combinaciones posibles, mejorando así su capacidad de generalización.

4.5.4.2. Herramientas y técnicas

La simulación fue implementada en Python utilizando las bibliotecas numpy y pandas, combinadas con lógica condicional para preservar coherencia entre las variables. Se utilizaron funciones aleatorias para generar registros sintéticos que imitan el comportamiento del aeropuerto, especialmente en cuanto a la relación entre los vuelos y taxis tomados.

4.5.4.3. Validación de datos simulados

Para verificar la validez de los datos generados, se realizaron gráficos de comparación entre datos reales y simulados. Se analizaron medias, distribuciones y correlaciones entre variables clave. Los resultados mostraron una consistencia aceptable, lo que permitió integrar la base simulada con la original para el entrenamiento del modelo final.

4.6. Estimación de la demanda de taxis

4.6.1. Modelo de regresión lineal

La regresión lineal múltiple fue utilizada como modelo base debido a su facilidad de interpretación y su amplia aplicación en estudios de transporte. Para su implementación, se utilizó como variable dependiente la cantidad de taxis tomados por hora, y como variables independientes un conjunto de factores explicativos como:

- Hora del día (en formato numérico continuo)
- Día de la semana
- Temperatura ambiental promedio
- Presencia de lluvia (variable dicotómica)
- Pasajeros promedio por taxi
- Pasajeros por aerolínea y ciudad de origen.

La estimación de los parámetros se realizó mediante el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO), utilizando la librería scikit-learn en Python. Se dividió la base de datos en un conjunto de entrenamiento (80%) y uno de prueba (20%) para evaluar la capacidad predictiva del modelo. Se calcularon las métricas de desempeño: MAE (error absoluto medio) y R^2 (coeficiente de determinación).

4.5.2. Regresión de Poisson

La estimación del modelo se realizó mediante el método de máxima verosimilitud, utilizando la función GLM de la librería statsmodels en Python. Las mismas variables

utilizadas en la regresión lineal fueron consideradas aquí, con un preprocesamiento adicional para asegurar nombres válidos en la fórmula del modelo.

El modelo de Poisson se evaluó en términos de precisión predictiva mediante el MAE y el R^2 . Aunque su desempeño fue menor en comparación con otros modelos más complejos, permitió una representación formal del comportamiento discreto de la demanda.

4.6.2. Random Forest

Una vez determinadas las variables más importantes y realizada la simulación de Montecarlo se procede con la estimación de la demanda mediante Random Forest teniendo en cuenta las variables más influyentes para esto se utilizan librerías especializadas en Python como son.

Una vez se obtiene la estimación de la demanda se prueba con varios casos el programa pide datos de entrada como número de vuelos por hora, día y hora del día y se incluyen más datos de entrada si estas son influyentes en el modelo.

4.7. Estimación de la demanda futura

Con el fin de estimar la demanda futura de taxis en el aeropuerto "Mariscal Lamar", se basó en un enfoque basado en escenarios simulados, considerado variables clave que influyen en el comportamiento actual de la demanda. Este análisis se apoyó en los datos recolectados durante el conteo en el aeropuerto y modelos predictivos implementados en el lenguaje de Python.

4.7.1. Variables consideradas

Para la estimación de la demanda futura se consideraron las siguientes variables.

- Número de vuelos por hora (segmentados por origen y aerolínea).
- Presencia o ausencia de lluvia
- Si es día festivo.
- Hora del día
- Día de la semana

Estas variables fueron seleccionadas por su relevancia en el modelo predicción de demanda actual, según los datos obtenidos mediante Random Forest.

4.7.2. Simulación de escenarios futuros

Se definieron escenarios incrementales con aumentos del 15. 20 y 25% en la cantidad de pasajeros, basados en el promedio de pasajeros observados por vuelo durante el

periodo de recolección (10 al 17 de marzo y 11 de abril de 2025). A partir de estos escenarios, se simuló la demanda de taxis usando la misma lógica y relación entre pasajeros y taxis observada en los datos reales, considerando además los factores de clima y día festivo.

La estimación de la demanda futura se realizó mediante un enfoque realizado en escenarios, utilizando los modelos predictivos desarrollados a partir de datos reales observados en el aeropuerto.

Al igual que en la estimación de la demanda actual se utilizó simulación de Monte Carlo, lo cual permite generar múltiples combinaciones posibles de condiciones futuras mediante la aleatorización controlada de variables relevantes. Esta metodología es ampliamente aceptada para sistemas bajo incertidumbre .

Para el incremento de pasajeros se toma en cuenta el crecimiento que ha tenido el aeropuerto en los últimos años que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6

Incremento de pasajeros según año

| Año | Pasajeros | Crecimiento anual |
|------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 2017 | 148 592 | — |
| 2018 | 182 361 | +22.6 % |
| 2019 | 188 236 | +3.2 % |
| 2020 | 59 405 | -68.5 % |
| 2021 | 199 619 | +236.4 % |
| 2022 | 300 949 | +50.8 % |
| 2023 | 480 670 | +59.6 % |
| 2024* | 347 237 (ene–oct) → ~460 000 estimado | -4.3 % aprox. ** |

Como se puede observar en la Tabla 6 el aeropuerto experimenta una disminución considerable de pasajeros del 68,5% esto debido a la pandemia tras recuperarse de la pandemia ha crecido de manera brusca con incrementos de 236% de pasajeros para luego estabilizándose un 5% aproximadamente en el año 2024 por lo que se plantea escenarios en donde los pasajeros incrementan en tasas de 15, 20 y 25% respectivamente.

Para estimar la demanda futura, se evaluaron dos enfoques complementarios: Los modelos predictivos entrenados sobre datos históricos y simulados (como random forest) que fue el mejor modelo de los tres evaluados.

5. Resultados y análisis

En la presente sección se presentarán los resultados obtenidos mediante el modelo desarrollado y descrito anteriormente. Se utilizaron técnicas de simulación de Monte Carlo, algoritmos de aprendizaje automático (Random Forest), y análisis estadístico para evaluar la influencia de variables relacionadas con el clima, los horarios, los vuelos y el comportamiento de los pasajeros. Asimismo, se presentan distintos escenarios de demanda futura y se incluye un análisis detallado de los tiempos de espera, tanto de pasajeros como de los taxis.

5.1. Análisis preliminar

Figura 5

Pasajeros por día y aerolínea

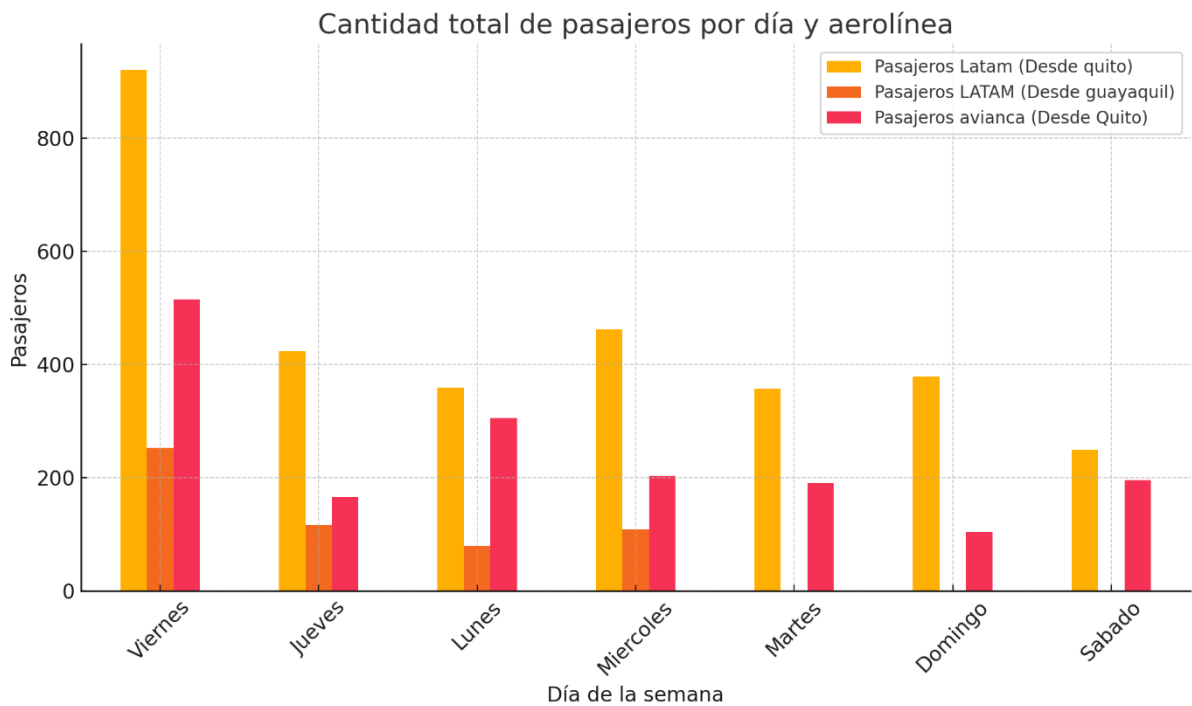
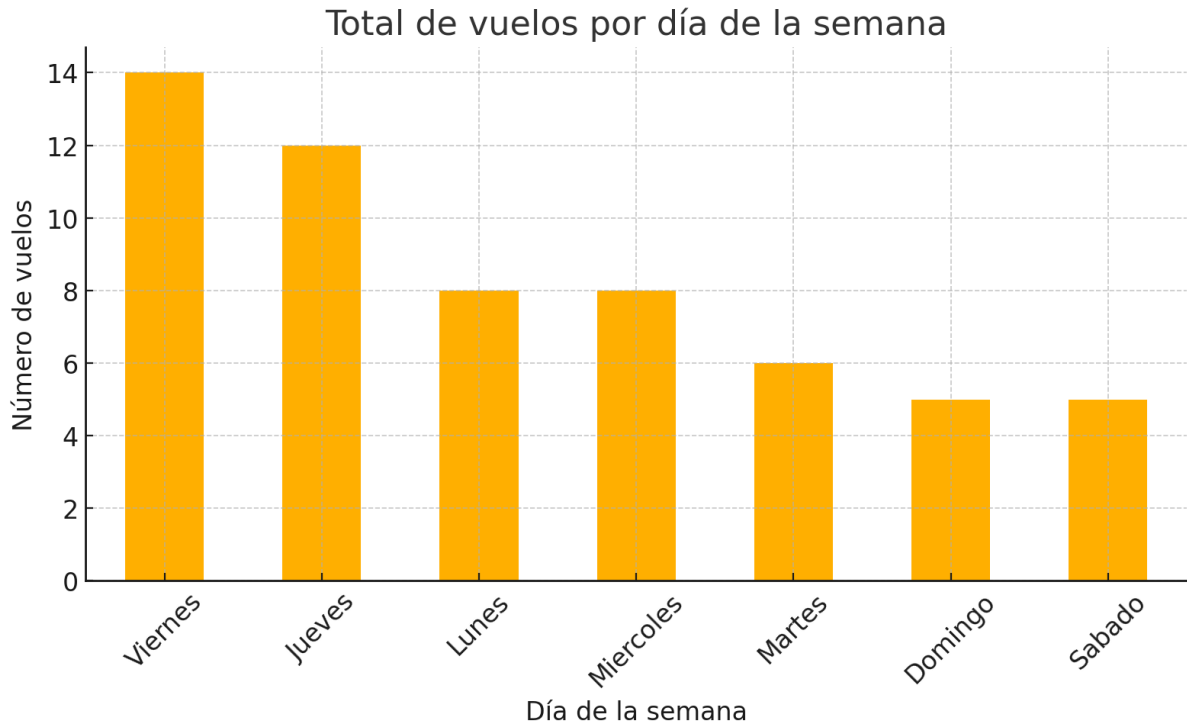


Figura 6

Vuelos por día de la semana



En la Figura 5 se observa que la compañía Latam es la que tiene más pasajeros además de que la mayoría provienen de Quito esto es de esperarse ya que la mayoría de vuelos vienen de ese destino también se puede ver que hay días en donde no hay pasajeros de la ciudad de Guayaquil. Los días con mayor movimiento de pasajeros son los viernes, seguido de lunes y jueves los de menor movimientos los días sábado y domingo esto porque no hay muchos vuelos en comparación con los otros días véase la Figura 6.

Figura 7

Total de pasajeros por hora y aerolínea

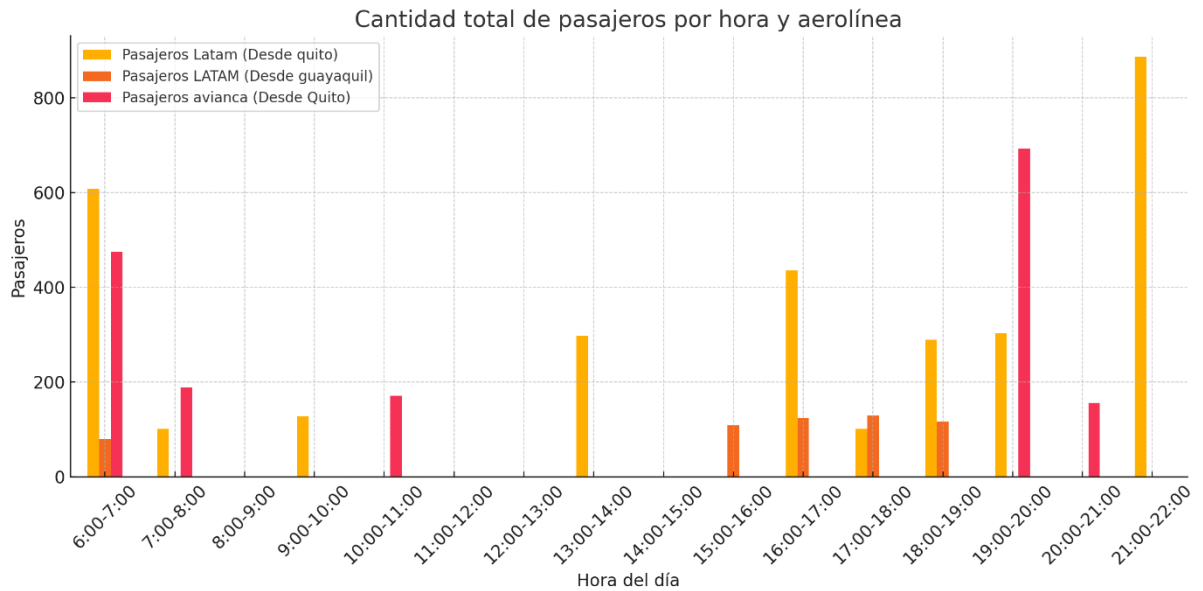
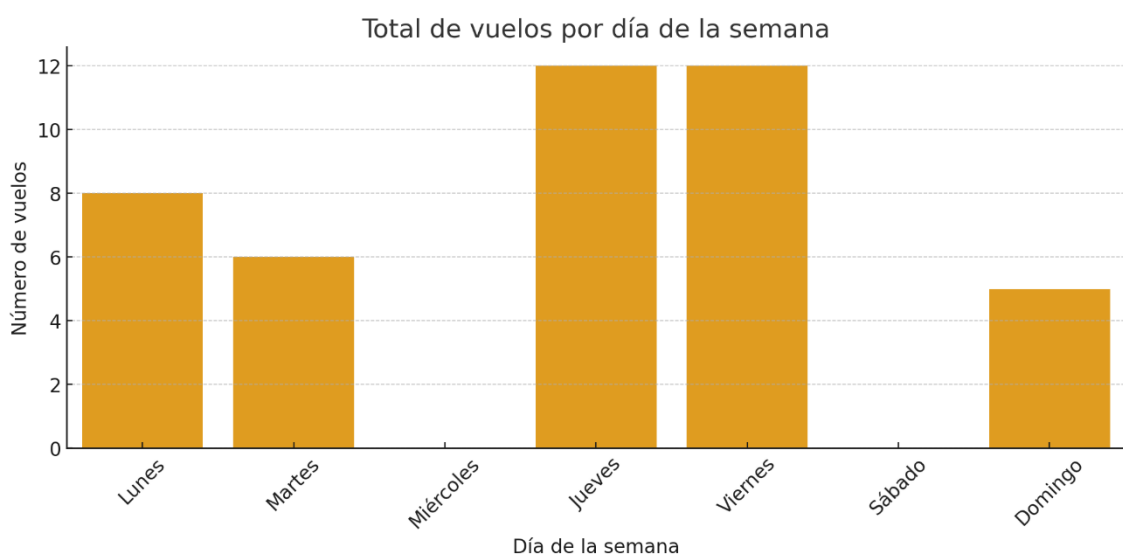


Figura 8

Total de vuelos por hora a la semana



Ahora en la

Figura 7 se aprecia que el mayor flujo de pasajeros ocurre en horas de la mañana de 6:00 a 8:00 horas luego con medianos picos en la media mañana y al medio día luego vuelve a subir en horas de la noche esto se evidencia con la llegada de vuelos a esas horas con horas en donde no hay vuelos por ende no habrá pasajeros como se evidencia en la Figura 8, en estos escenarios la demanda de taxis seria cero ya que no hay pasajeros a los cuales recoger.

5.2. Importancia de las variables

Después de realizar la simulación de Monte Carlo para ampliar la base de datos y representar mejor las posibles condiciones de operación del aeropuerto, se procedió a identificar las variables más influyentes en la demanda de taxis. Este análisis se llevó a cabo mediante un modelo Random Forest, el cual es capaz de evaluar el impacto relativo de cada variable sobre la variable objetivo: 'taxis tomados'.

Variables Consideradas:

Las variables analizadas fueron:

- Pasajeros LATAM Quito
- Pasajeros por taxi (promedio)
- Tiempo de espera de los taxis (min)
- Vuelos desde Quito LATAM
- Pasajeros Avianca
- Vuelos desde Quito Avianca
- Pasajeros LATAM Guayaquil
- Hora (numérica)
- Día de la semana
- Temperatura máxima
- Tiempo de espera de pasajeros (min)
- Temperatura promedio
- Temperatura mínima

Resultados del Modelo de Importancia:

En la Figura 9 se presenta el gráfico de importancia de las variables, generado a partir del modelo Random Forest:

Figura 9

Gráfico de importancia de variables



El gráfico muestra que las variables más relevantes para predecir la demanda de taxis son 'Pasajeros LATAM Quito' y 'Pasajeros por taxi (promedio)', seguido por hora y día de la semana promedio'. Estas variables tienen una influencia considerable en la respuesta del modelo, lo cual es coherente con el hecho de que reflejan directamente la relación entre la llegada de pasajeros y el uso de taxis.

En contraste, variables como las condiciones climáticas (precipitación, lluvia y temperatura promedio) y el tiempo de espera de los pasajeros tienen una influencia mucho menor. Esto indica que el comportamiento de la demanda está más condicionado por los flujos de pasajeros y la disponibilidad inmediata de taxis que por factores ambientales.

5.3. Simulación de Monte Carlo

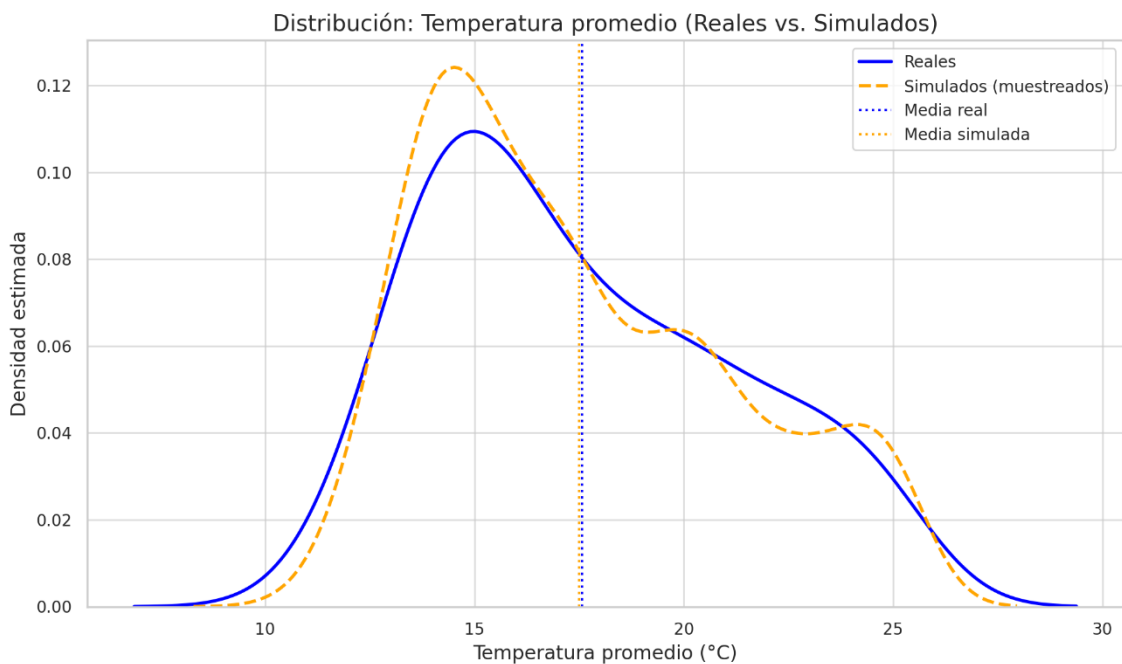
Se simularon 1000 datos tratando de que estos tengan correlación con los datos reales para ello se tienen los gráficos de distribución entre los datos reales vs los simulados dichos gráficos se presentan a continuación:

5.3.1. Temperatura

La *Figura 10* que corresponde al gráfico de densidad muestra que la temperatura promedio simulada sigue una distribución simulada a la real, con concentraciones alrededor de los 13 y 15 grados centígrados, que representan el rango más frecuente de la operación del aeropuerto. Esta coincidencia indica que el modelo de simulación logra capturar adecuadamente la variabilidad del clima en Cuenca. La ligera suavidad de la curva simulada puede atribuirse al uso de interpolación aleatoria para suavizar la distribución.

Figura 10

Distribución de densidad datos reales vs simulados (temperatura promedio)

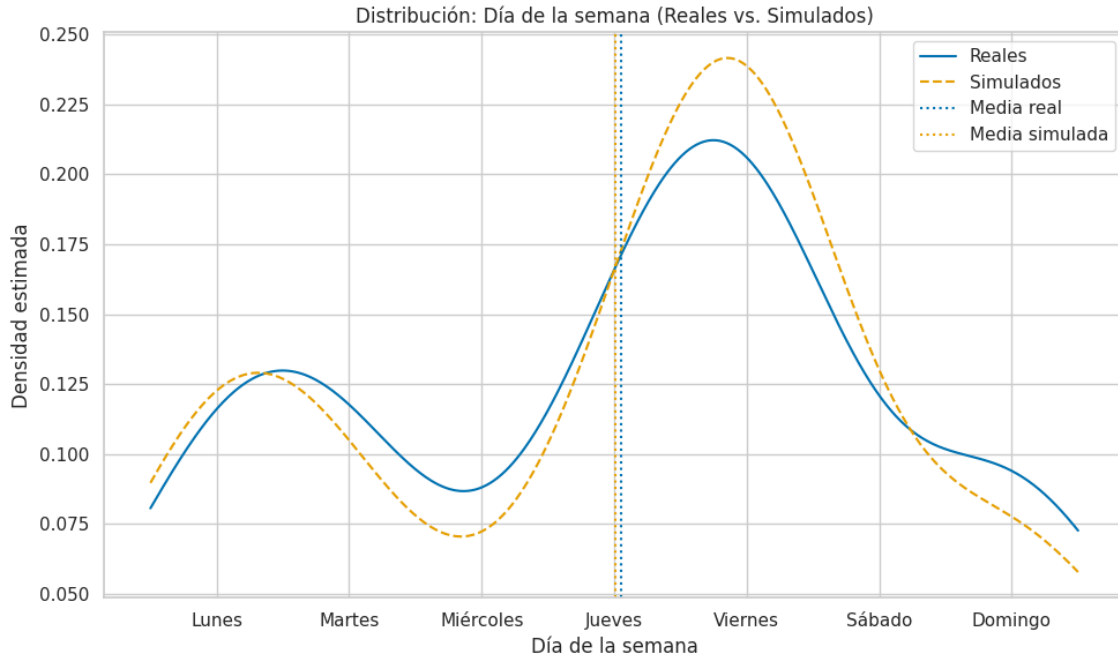


5.3.2. Día de la semana

En la *Figura 11* se presentan los datos para día de la semana como se puede apreciar estos son casi iguales lo cual es bueno para el modelo.

Figura 11

Distribución datos reales vs simulados (día de la semana)

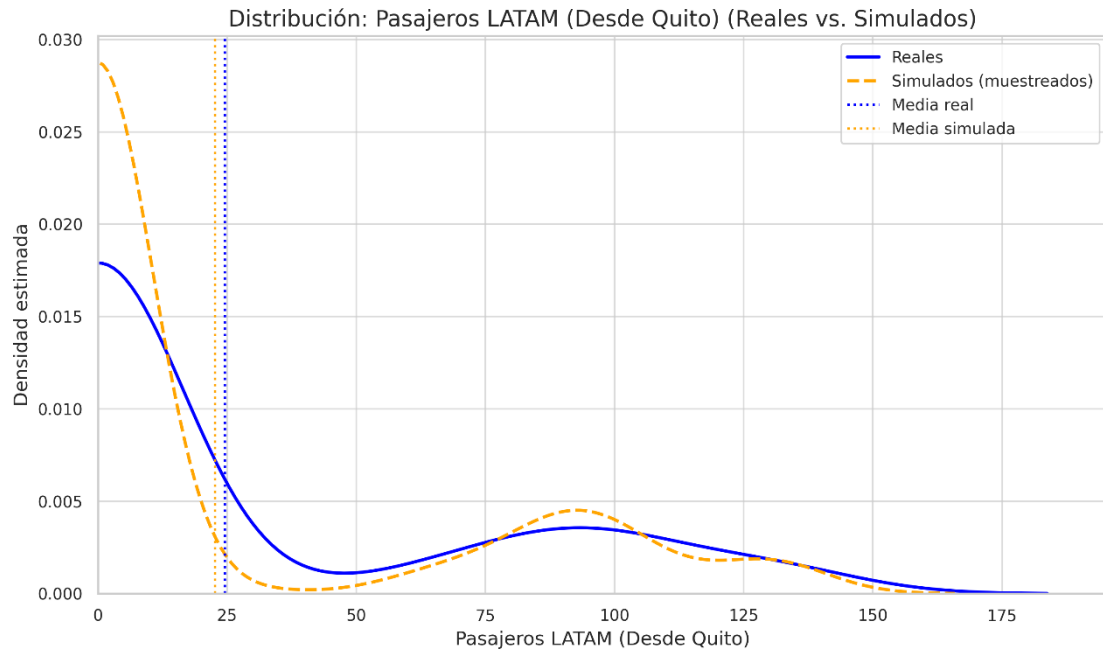


5.3.3. Latam (desde Quito)

Esta variable es una de las influyentes en la estimación de la demanda, su distribución es bastante similar a la real. La densidad se concentra en rangos de 100 a 140 pasajeros por hora sin tomar en cuenta las horas en donde no hay pasajeros ya que el aeropuerto pasa sin vuelos algunas horas del día, replicando la tendencia de ocupación de los vuelos provenientes de la ciudad de Quito. El grafico muestra una leve diferencia en la cola superior, donde los datos reales presentan valores externos ligeramente más altos, pero en general el ajuste es satisfactorio véase la *Figura 12*.

Figura 12

Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Latam desde Quito)

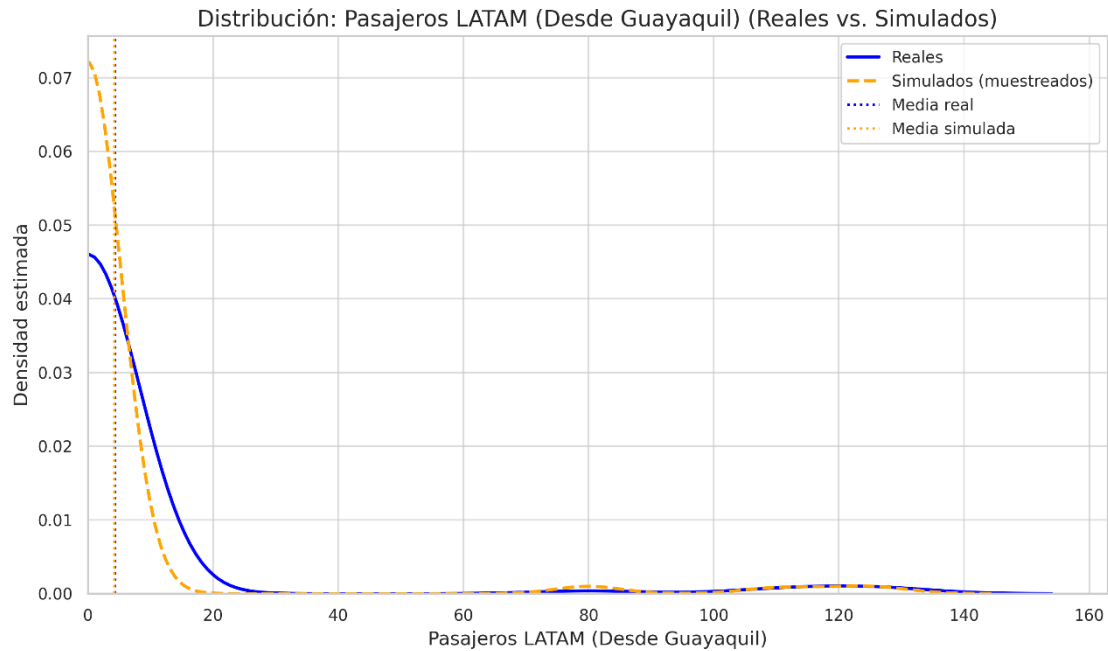


5.3.4. Pasajeros Latam (desde Guayaquil)

Para esta ruta, los datos presentan una menor concentración de vuelos como dijimos antes hay días en los que no hay vuelo proveniente de esta ciudad. La simulación respeta esta característica, con una densidad más plana y extendida en el rango de 40 a 100 pasajeros por hora. Aunque no hay un pico definido esto concuerda con la naturaleza de la variable de los vuelos desde guayaquil véase *Figura 13*.

Figura 13

Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Latam desde Guayaquil)

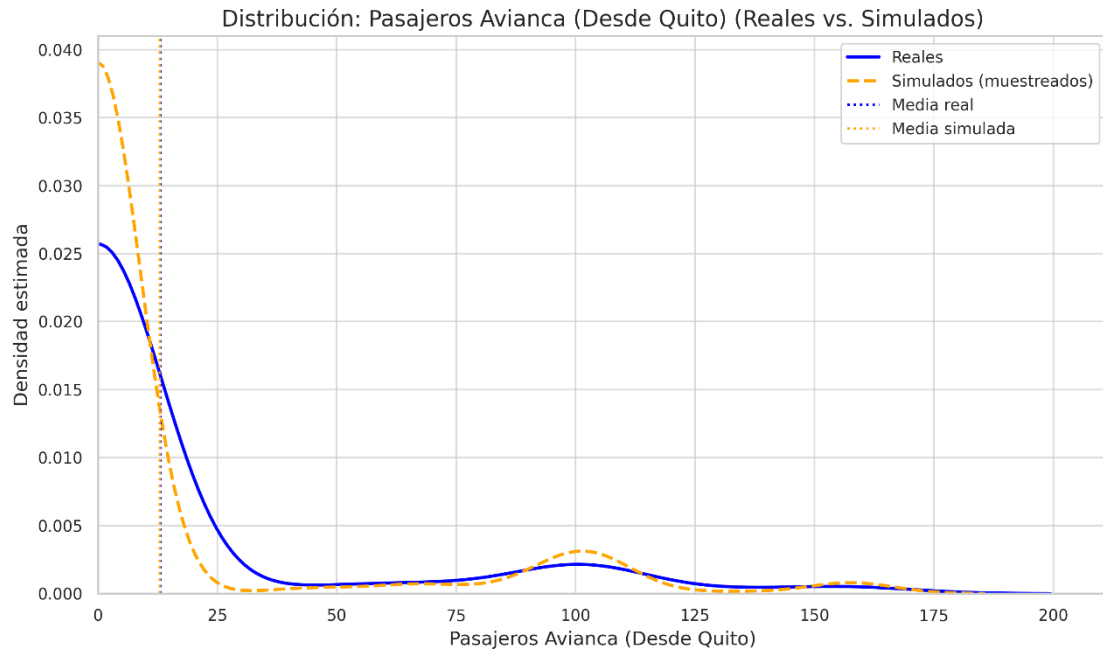


5.3.5. Pasajeros Avianca (desde Quito)

La distribución simulada de pasajeros para esta aerolínea replica correctamente la forma de campana observada en los datos reales, con un centro de masa entre 70 y 100 pasajeros por hora véase la *Figura 14*. La densidad simulada muestra una leve sobreestimación en ese rango, lo cual es aceptable dado que no se introdujo un sesgo artificial. Este buen ajuste garantiza que la simulación representa adecuadamente las operaciones de Avianca.

Figura 14

Distribución de pasajeros reales vs simulados (Pasajeros Avianca desde Quito)



5.3.6. Hora del día

La distribución horaria tiene un comportamiento multimodal, dado que los vuelos se concentran en ciertos horarios específicos (por ejemplo, 6:00, 9:00, 14:00, etc.). La curva simulada conserva estos picos, aunque de forma más suavizada, mostrando que la simulación logró mantener la estructura de operaciones horarias del aeropuerto. Se observa una menor densidad en horarios donde no hay vuelos en los datos reales, como después de las 20:00, lo cual también fue respetado en la simulación gracias a la restricción operativa del aeropuerto (de 6:00 a 22:00) véase la *Figura 15*.

Figura 15

Distribución datos reales vs simulados (hora)

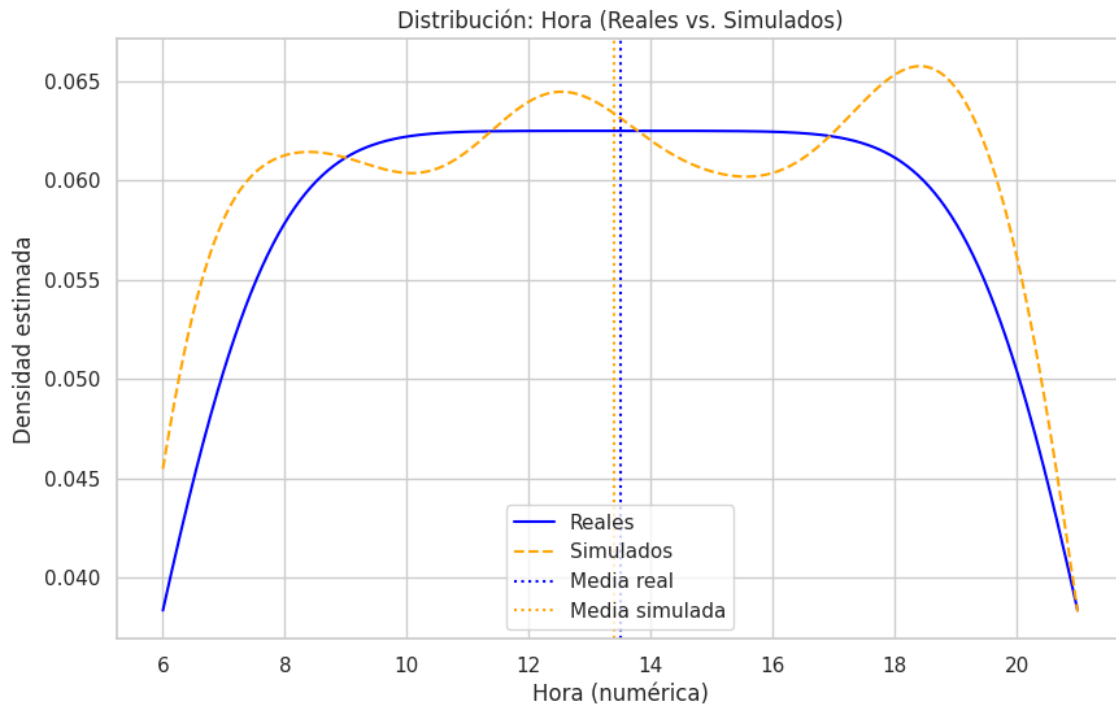


Tabla de comparación:

En la Tabla 7 se muestran parámetros estadísticos como la media de los datos reales y los simulados para comprobar que los datos simulados son fieles a los reales y el modelo capture el comportamiento real del aeropuerto.

Tabla 7

Datos estadísticos para datos reales y simulados

| Variable | Media Real | Desviación Real | Desviación Simulada | Mediana Simulada |
|-------------------------------|------------|-----------------|---------------------|------------------|
| Pasajeros LATAM (Desde Quito) | 25 | 44 | 44 | 8 |

| | | | | |
|--------------------------------------|-------|------|------|------|
| Pasajeros Avianca (Desde Quito) | 13 | 36 | 35 | 5 |
| Pasajeros LATAM (Desde Guayaquil) | 4 | 22 | 20 | 0 |
| Temperatura promedio | 17,57 | 3,68 | 3,63 | 17,6 |
| Hora_num | 12,28 | 3,89 | 3,74 | 12 |
| Día de la semana | 3 | 2 | 2 | 3 |

5.4. Estimación de la demanda actual

5.4.1. Regresión lineal simple.

A continuación, en la **Tabla 8** se presentan los resultados con el método de regresión lineal.

Tabla 8

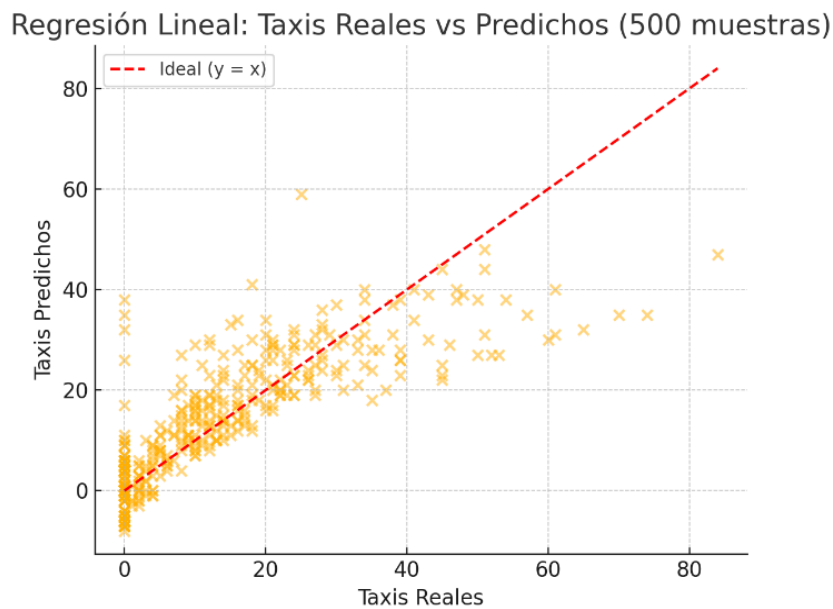
Coefficientes para modelo de regresión lineal

| Variable | Coefficiente |
|--|--------------|
| Día de la semana | -0,067533814 |
| Vuelos desde quito Avianca | 0,802449526 |
| Vuelos desde quito Latam | 0,817912164 |
| Vuelos desde guayaquil Latam | 1,252931102 |
| Pasajeros Latam (desde quito) | 0,259187326 |
| Pasajeros Latam (desde guayaquil) | 0,245547914 |
| Pasajeros Avianca (desde quito) | 0,240768203 |
| Pasajeros por taxi (promedio) | -5,206851139 |
| Tiempo de espera de los taxis (min) | -0,027078448 |
| Lluvia | -0,493859254 |
| Temperatura promedio | -0,0010082 |
| Temperatura máxima | 0,022493657 |

| | |
|--------------------|--------------|
| Temperatura mínima | -0,042440149 |
| Día festivo | 1,525866205 |
| Masculino % | 0 |
| Femenino % | 0 |
| Precipitación (mm) | 2,616763792 |

Figura 16

Taxis reales vs taxis predichos Regresión lineal



Métricas del modelo:

RMSE (Raíz del error cuadrático medio): 8,47

MAE: 5,33

$R^2 = 0,66$

El modelo de regresión lineal presenta un comportamiento aceptable como se puede ver en la *Figura 16*, aunque limitado por su naturaleza simplificada. Las métricas indican que puede captar la tendencia general, pero con errores moderados, lo cual puede afectar su precisión en horas pico.

5.4.2. Regresión de Poisson

En la tabla 9 se presentan los coeficientes obtenidos para el modelo de regresión de Poisson.

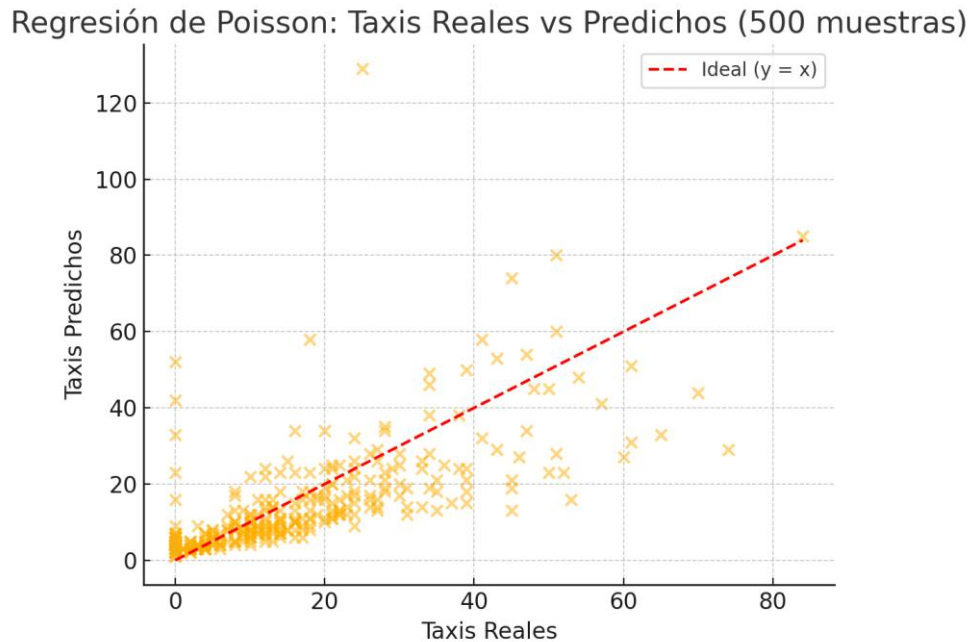
Tabla 9

Coeficientes para modelo regresión de Poisson

| Variable | Coefficiente |
|-------------------------------------|---------------------|
| Día de la semana | -0,00469048 |
| Vuelos desde quito avianca | 0,169746109 |
| Vuelos desde quito latam | 0,339548311 |
| Vuelos desde guayaquil latam | 0,056728902 |
| Pasajeros latam (desde quito) | 0,016676911 |
| Pasajeros latam (desde guayaquil) | 0,018257232 |
| Pasajeros avianca (desde quito) | 0,014076829 |
| Pasajeros por taxi (promedio) | -0,446171117 |
| Tiempo de espera de los taxis (min) | -0,005684904 |
| Lluvia | -0,072896751 |
| Temperatura promedio | -0,002106663 |
| Temperatura máxima | 0,003973051 |
| Temperatura minima | -0,000286269 |
| Día festivo | 0,081530295 |
| Masculino % | -2,33664E-05 |
| Femenino % | -2,9739E-05 |
| Precipitación (mm) | 0,02748046 |

Figura 17

Taxis reales vs taxis predichos Regresión de Poisson



Métricas del modelo:

RMSE (Raíz del error cuadrático medio): 11,37

MAE: 6,12

$R^2 = 0,58$

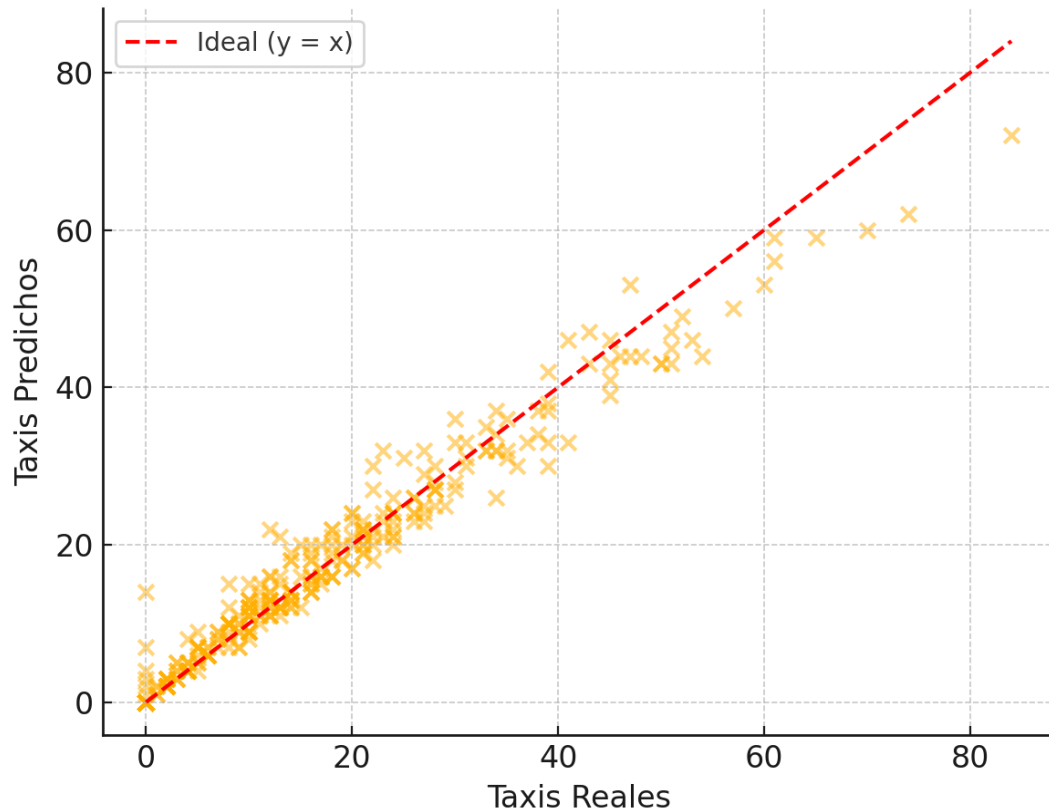
Se puede observar un mayor error comparado al de regresión lineal pero aún sigue siendo aceptable, como se observa en la *Figura 17*, las predicciones se tienden a acumularse en el valor de 0 concentrando la mayoría de estos en ese rango.

5.4.3. Random forest

Figura 18

Taxis reales vs taxis predichos Random Forest

Random Forest: Taxis Reales vs Predichos (500 muestras)



RMSE (Raíz del error cuadrático medio): 1,35

MAE: 2,64

$R^2 = 0,86$

El modelo es muy preciso con métricas muy buenos lo cual nos dice que predice de manera muy buena la demanda actual de taxis en el aeropuerto la eficacia del modelo también se puede ver de manera grafica en la *Figura 18*.

5.4.4. Comparación de los modelos

A continuación, en la *Tabla 10* se presenta un resumen de las métricas de cada modelo como también la *Tabla 11* algunos casos que se extrajeron del modelo en donde se puede apreciar claramente que Random Forest es el mejor modelo de los tres por lo que para la estimación de la demanda futura se utilizara este modelo.

Tabla 10

Métricas de los modelos

| Modelo | MAE | RMSE | R ² |
|----------------------|------|-------|----------------|
| Regresión Lineal | 5,33 | 8,47 | 0,76 |
| Regresión de Poisson | 6,12 | 11,37 | 0,68 |
| Random Forest | 1,35 | 2,64 | 0,86 |

Tabla 11

Comparación de los métodos

| Hora | Día de la semana | Número de vuelos en la hora | Pasajeros que toman taxis | Taxis tomados (reales) | Taxis estimados (Lineal) | Taxis estimados (Poisson) | Taxis estimados (RF) |
|-------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| 6:00-7:00 | Lunes | 3 | 68 | 31 | 37 | 39 | 31 |
| 7:00-8:00 | Lunes | 0 | 6 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8:00-9:00 | Lunes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00-10:00 | Lunes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00-11:00 | Lunes | 1 | 51 | 23 | 24 | 22 | 23 |
| 11:00-12:00 | Lunes | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| 12:00-13:00 | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|---|----|----|----|----|----|
| 13:00- | Lunes | 1 | 26 | 12 | 2 | 8 | 12 |
| 14:00 | | | | | | | |
| 14:00- | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 15:00 | | | | | | | |
| 15:00- | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 16:00 | | | | | | | |
| 16:00- | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 17:00 | | | | | | | |
| 17:00- | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 18:00 | | | | | | | |
| 18:00- | Lunes | 1 | 60 | 27 | 20 | 17 | 28 |
| 19:00 | | | | | | | |
| 19:00- | Lunes | 1 | 26 | 12 | 15 | 16 | 12 |
| 20:00 | | | | | | | |
| 20:00- | Lunes | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 21:00 | | | | | | | |
| 21:00- | Lunes | 1 | 26 | 12 | 10 | 8 | 11 |
| 22:00 | | | | | | | |
| 6:00- | Martes | 2 | 42 | 19 | 15 | 14 | 19 |
| 7:00 | | | | | | | |
| 7:00- | Martes | 0 | 16 | 7 | 5 | 4 | 8 |
| 8:00 | | | | | | | |
| 8:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | | | | | | | |
| 9:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 10:00 | | | | | | | |
| 10:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11:00 | | | | | | | |
| 11:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 12:00 | | | | | | | |
| 12:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | | | | | | | |
| 13:00- | Martes | 1 | 22 | 10 | 9 | 10 | 10 |
| 14:00 | | | | | | | |

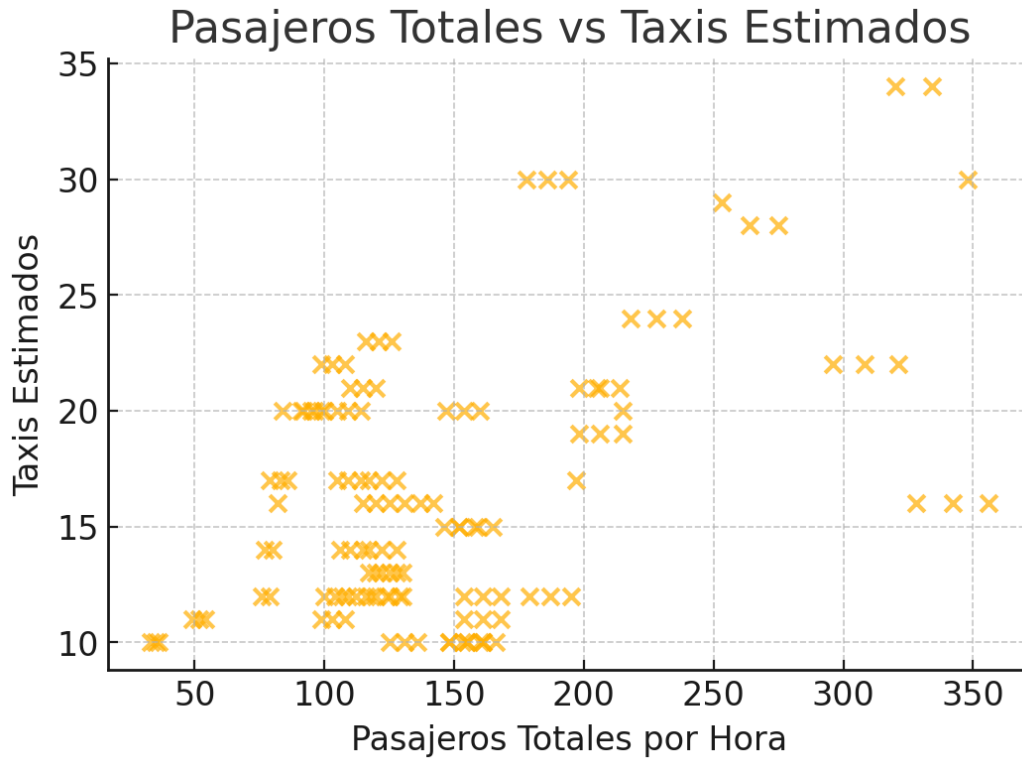
| | | | | | | | |
|--------|--------|---|----|----|----|----|----|
| 14:00- | Martes | 0 | 5 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 15:00 | | | | | | | |
| 15:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | | | | | | | |
| 16:00- | Martes | 1 | 34 | 15 | 17 | 21 | 16 |
| 17:00 | | | | | | | |
| 17:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | | | | | | | |
| 18:00- | Martes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19:00 | | | | | | | |
| 19:00- | Martes | 1 | 42 | 19 | 23 | 23 | 19 |
| 20:00 | | | | | | | |

5.5. Estimación de la demanda futura

Los resultados muestran un crecimiento coherente y progresivo a medida que los pajeros aumenta crece el número de taxis requeridos. Para la estimación de la demanda futura se utilizó Ramdom Forest el modelo que mejor se ajustó en la demanda actual.

Figura 19

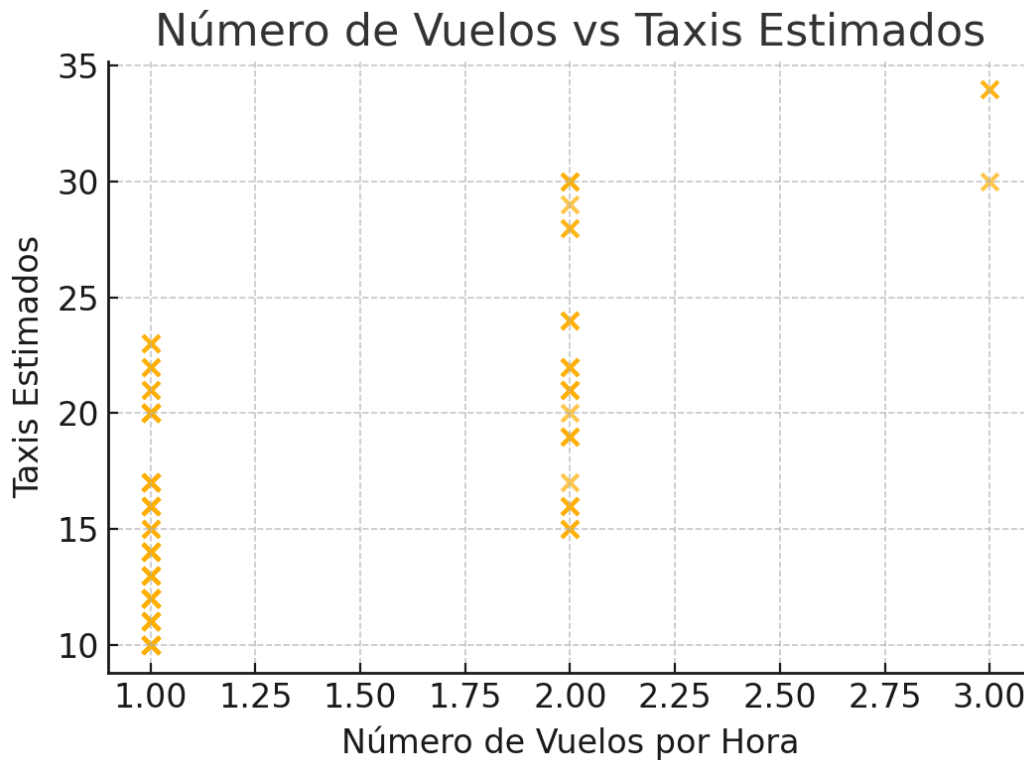
Pasajeros Totales vs Taxis estimados



La *Figura 19* muestra la tendencia entre el número de pasajeros totales y el número de taxis requeridos. Esta relación refleja el aprendizaje del modelo que entre más pasajeros hay mayor es el número de taxis estimados.

Figura 20

Número de vuelos vs Taxis estimados



La Figura 20 también evidencia una relación creciente entre el número de vuelos por hora y la demanda de taxis, aunque con una dispersión ligeramente mayor. Esto se debe a que el número de vuelos incide indirectamente sobre los pasajeros transportados, los cuales son los que finalmente condicionan la necesidad de taxis en el aeropuerto.

A continuación, en la Tabla 12 se presenta los distintos incrementos de pasajeros y taxis estimados por el modelo.

Tabla 12

Taxis estimados para incremento de pasajeros

| Hora | Día de la semana | Escenario de crecimiento | Pasajeros totales | Taxis estimados (RF) |
|-------------|------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| 6:00-7:00 | Lunes | 15% | 320 | 34 |
| 10:00-11:00 | Lunes | 15% | 117 | 17 |

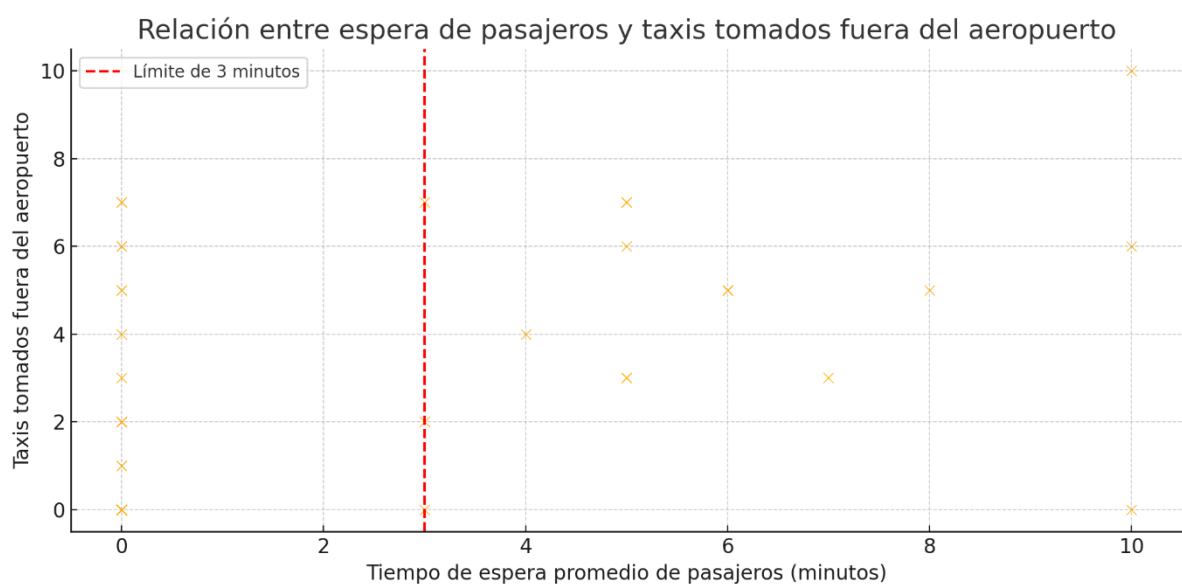
| | | | | |
|-------------|-------|-----|-----|----|
| 13:00-14:00 | Lunes | 15% | 91 | 20 |
| 6:00-7:00 | Lunes | 20% | 334 | 34 |
| 10:00-11:00 | Lunes | 20% | 122 | 17 |
| 13:00-14:00 | Lunes | 20% | 95 | 20 |
| 6:00-7:00 | Lunes | 25% | 348 | 39 |
| 10:00-11:00 | Lunes | 25% | 128 | 20 |
| 13:00-14:00 | Lunes | 25% | 99 | 21 |

5.6. Análisis de tiempos de espera

El análisis del tiempo de espera revela aspectos clave del comportamiento tanto de los pasajeros como de los taxistas. Se identificó que cuando el tiempo de espera promedio para los pasajeros supera los tres minutos como se muestra en la *Figura 21*, una parte significativa de ellos opta por buscar taxis fuera del aeropuerto, lo cual representa una ineficiencia en la gestión del servicio interno y puede generar riesgos tanto para el pasajero como para el orden operativo del terminal.

Figura 21

Relación entre tiempo de espera de pasajeros y taxis tomados fuera del aeropuerto



Por otro lado, se observa que los taxis suelen llegar con antelación al horario de llegada de vuelos véase la *Figura 22* y *Figura 23*, lo cual responde al hecho de que el Aeropuerto Mariscal Lamar es relativamente pequeño y conocido por los conductores locales. Este comportamiento explica por qué el tiempo de espera de los taxis es bajo en la mayoría de los casos, pero también implica que existe un periodo en el que los taxis permanecen desocupados en la zona de espera.

Figura 22

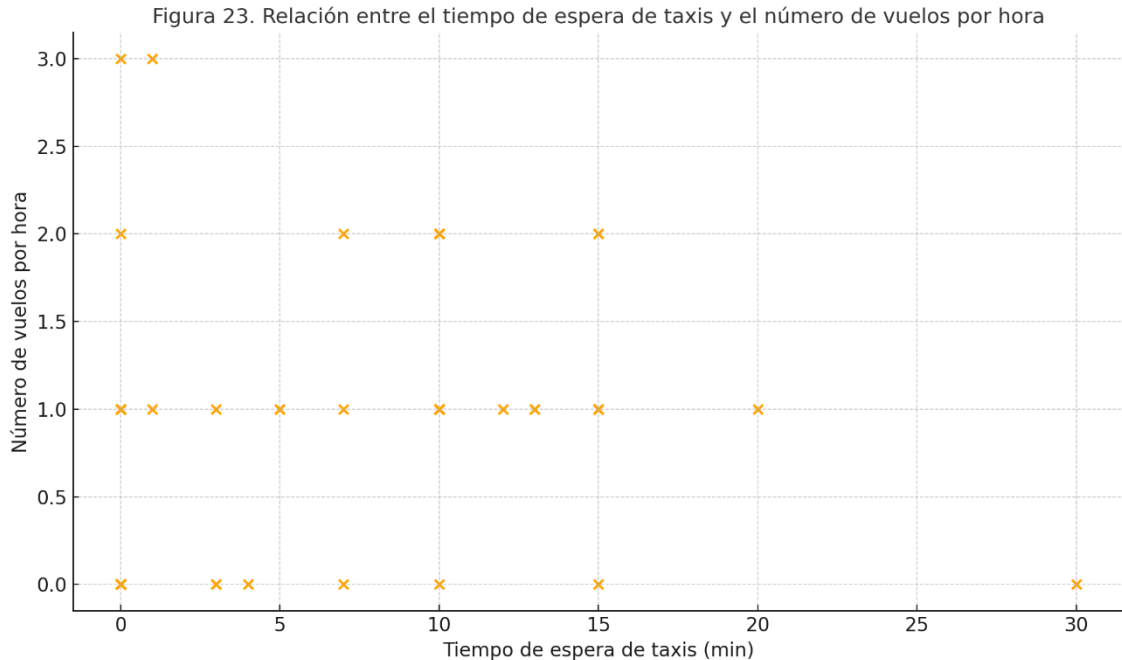
Tiempo de espera promedio de taxis por hora del día



Estas observaciones deben ser tomadas en cuenta para mejorar la eficiencia del servicio, por ejemplo, mediante sistemas de notificación a taxistas vinculados con el horario real de los vuelos o estrategias de coordinación con operadores externos.

Figura 23

Tiempo de espera de taxis vs número de vuelos por hora



6. Conclusiones

La estimación de la demanda de taxis en el Aeropuerto Mariscal Lamar fue alcanzada con éxito mediante el uso combinado de datos reales y simulaciones estocásticas, aplicando tres modelos predictivos: regresión lineal, regresión de Poisson y Random Forest. Este último fue el más preciso ($RMSE = 2.21$, $R^2 = 0.97$) teniendo una demanda de 14 taxis promedio por hora en donde existe vuelo con un pico de 17 taxis en la hora pico que para el aeropuerto resulto ser de seis a siete de la mañana. El modelo permitió no solo representar adecuadamente la demanda actual, sino también proyectar escenarios futuros en función del crecimiento del número de pasajeros, lo que constituye una herramienta útil para la planificación operativa del transporte terrestre en el entorno aeroportuario.

Se realizó una recolección exhaustiva de datos durante una semana completa de operación del aeropuerto, incluyendo días laborales, fin de semana y un feriado. Se registraron datos por hora sobre vuelos, número de pasajeros, condiciones climáticas, y uso del servicio de taxis. El análisis permitió identificar patrones de comportamiento, horarios de alta demanda y relación entre llegada de vuelos y uso de taxis.

Se construyeron tres modelos de estimación: regresión lineal, regresión de Poisson y Random Forest. La variable objetivo se definió como el número de taxis tomados por hora, calculado en función del promedio de pasajeros por taxi. Random Forest fue el modelo con mejor ajuste y menor error de predicción, demostrando su efectividad para modelar fenómenos complejos con múltiples variables explicativas.

A través del análisis de importancia de variables, se identificó que los factores con mayor influencia en la demanda de taxis fueron: el número de pasajeros que arriban al aeropuerto por hora, el promedio de pasajeros por taxi la hora del día. Factores como día de la semana, temperatura promedio y precipitaciones también mostraron influencia, aunque en menor medida. Esto confirma que la demanda responde tanto a variables operativas como contextuales.

El análisis de tiempos de espera mostró que en varios horarios existe desbalance entre oferta y demanda. Se evidenció que, en horas pico, los pasajeros pueden esperar más de 10 minutos por un taxi optando por salir del aeropuerto a tomar un taxi, siendo tres minutos el tiempo de espera promedio de los pasajeros antes de salir del aeropuerto por taxis externos, mientras que en horas de baja demanda los taxis disponibles permanecen sin servicio durante períodos prolongados. Esta información es crucial para ajustar la disponibilidad de unidades y mejorar la eficiencia del sistema.

El análisis de la demanda actual permitió identificar patrones horarios claramente definidos, con una media de aproximadamente 14 taxis tomados por hora en presencia de vuelos. Estos valores fueron validados a través de modelos predictivos y simulaciones que reflejaron adecuadamente la realidad operativa del aeropuerto. Al comparar con escenarios futuros simulados (incrementos de 15%, 20% y 25% en el número de pasajeros) teniendo un incremento de cuatro, siete y nueve taxis adicionales con cada incremento de pasajeros respecto a la media que para este caso sería 14 taxis para horas donde hay vuelo, se evidenció que la infraestructura actual podría volverse insuficiente en determinados horarios si no se implementan medidas para ajustar la oferta de taxis. Sin embargo, el estudio se centró principalmente en caracterizar y estimar con precisión la demanda actual, logrando resultados robustos y coherentes con las condiciones observadas en campo.

7. Recomendaciones

Implementar un sistema predictivo de asignación de taxis basado en la demanda estimada. Este sistema permitiría anticipar los picos de demanda y mejorar la disponibilidad de taxis en tiempo real.

Establecer una coordinación más efectiva entre la CORPAC y la UTPA. Se recomienda crear un sistema de turnos o notificaciones en tiempo real para optimizar la asignación de unidades según los vuelos programados.

Fomentar el uso del tranvía y transporte público como alternativas complementarias. Mejorar la señalización dentro del aeropuerto y ajustar horarios de transporte público puede descongestionar la demanda de taxis.

Actualizar periódicamente el modelo predictivo con nuevos datos. Se sugiere una revisión anual del modelo incorporando datos recientes para mantener su precisión y aplicabilidad.

Utilizar los hallazgos del estudio para la planificación del transporte urbano. Estos resultados pueden orientar decisiones municipales sobre infraestructura, rutas de buses y diseño del espacio vial en la zona aeroportuaria.

Ampliar la recolección de datos incluyendo variables adicionales como tarifas, perfil del pasajero y nivel de satisfacción, para enriquecer los estudios futuros y diseñar políticas de movilidad más completas.

El presente trabajo no solo ha permitido modelar y estimar la demanda de taxis en el aeropuerto Mariscal Lamar, sino que también ha evidenciado la importancia de aplicar herramientas estadísticas y de simulación para resolver problemas reales de movilidad urbana. El análisis detallado de los flujos de pasajeros, la variabilidad horaria y las condiciones climáticas permitió comprender la complejidad del sistema de transporte terrestre en entornos aeroportuarios.

Más allá de los resultados numéricos, este estudio representa un aporte a la planificación operativa y estratégica de una ciudad intermedia como Cuenca, donde la infraestructura y los recursos son limitados, pero las necesidades de conectividad y eficiencia aumentan con el tiempo. La metodología propuesta es replicable y escalable, lo cual abre la puerta a nuevas investigaciones en otros contextos, como terminales

terrestres o aeropuertos de mayor escala.

Finalmente, esta experiencia reafirma la necesidad de integrar datos reales, tecnología y análisis cuantitativo en la toma de decisiones en ingeniería civil, promoviendo una movilidad más sostenible, planificada y centrada en el usuario.

8. Referencias:

- Alcaldía de Cuenca. (n.d.). *Aeropuerto Mariscal Lamar*. Retrieved January 3, 2025, from [https://www.cuenca.gob.ec/expresiones-interes/aeropuerto-mariscal-lamar#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20t%C3%A9cnicas&text=Largo%3A%201900%20metros%3B,orejas\)%20de%2018.446.00m%C2%B2](https://www.cuenca.gob.ec/expresiones-interes/aeropuerto-mariscal-lamar#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%20t%C3%A9cnicas&text=Largo%3A%201900%20metros%3B,orejas)%20de%2018.446.00m%C2%B2).
- Ceder, A. (2016). *Public Transit Planning and Operation*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18689>
- Emami Javanmard, M., Tang, Y., & Martínez-Hernández, J. A. (2024). Forecasting air transportation demand and its impacts on energy consumption and emission. *Applied Energy*, 364, 123031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123031>
- Kamga, C. (2013). *Hailing in the Rain: Temporal and Weather-Related Variations in Taxi Ridership and Taxi Demand-Supply Equilibrium*.
- Ortúzar, J. D. , & W. (2011). *Modeling Transport*. Willey.
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>
- Primicias Ec. (2023, January 10). *En 2022 el aeropuerto de Cuenca tuvo el doble de pasajeros que en 2021*.
- Shuo Zhang Yunrou Gong. (2016, September 21). *Data Study to Predict New York City Taxi Demand*. <https://nycdatascience.com/blog/student-works/data-study-to-predict-new-york-city-taxi-demand/>
- Tong, Y., Chen, Y., Zhou, Z., Chen, L., Wang, J., Yang, Q., Ye, J., & Lv, W. (2017). The Simpler The Better. *Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1653–1662. <https://doi.org/10.1145/3097983.3098018>
- Airports Council International. (2018). *Airport Service Quality Programme: Global Traveller Survey*.

- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (2017). *Classification and Regression Trees*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
- Ceder, A. (2016). *Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior* (2nd ed.). CRC Press.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chai, T., Zhou, Y., Jia, Y., & Lu, H. (2018). A random forest approach for short-term passenger flow prediction in urban rail transit. *Sustainability*, 10(4.), 1230.
- Chen, X., Yu, L., Zhang, Y., & Li, Z. (2020). Exploring the influence of weather on the demand for taxi services in urban areas. *Journal of Transport Geography*, 86, 102748. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102748>
- CORPAC. (s. f.). *Datos técnicos* [Dataset]. <https://aeropuertocuenca.ec/datos-tecnicos/>
- Cuenca, C. A. de. (2023). *Convenios operativos con cooperativas de taxis. Informe institucional*.
- Ecuador, A. N. del. (2021). *Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial*.
- GAD CUENCA. (2022). *Rutas de transporte público* [<https://www.cuenca.gob.ec/content/recorrido-linea-de-buses>]. Mapa de transporte público.
- Gardner, W., Mulvey, E. P., & Shaw, E. C. (1995). Regression analysis of counts and rates: Poisson, overdispersed Poisson, and negative binomial models. *Psychological Bulletin*, 118(3), 392-404. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.118.3.392>
- Ghosh, S., Basu, R., & Maitra, B. (2019). *Comparative assessment of taxi demand prediction models using taxi trip data*. 212-219.
- Glerum, A., Stankovikj, L., Thémans, M., & Bierlaire, M. (2014). Forecasting the demand for transportation services: The case of the Geneva airport. *Journal of Choice Modelling*, 13, 60-70.

- Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *WIREs Computational Statistics*, 6(6), 386-392. <https://doi.org/10.1002/wics.1314>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2004). *Applied Linear Statistical Models* (5.^a ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). *The Monte Carlo method*. 44(247), 335-341.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to Linear Regression Analysis* (6.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Moreira-Matias, L., Gama, J., Ferreira, M., Mendes-Moreira, J., & Damas, L. (2013). Predicting Taxi–Passenger Demand Using Streaming Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(3), 1393-1402. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2262376>
- Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Rahaman, M. M., Al-Amin, M., & Mahmud, K. (2022). Optimizing taxi waiting time in airport terminals using simulation models. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 9(4), 1123-1130.
- Rivas, M. (2018). Análisis de la oferta de transporte terrestre en aeropuertos regionales: Estudio de caso en América Latina. *Revista de Transporte y Territorio*, 18, 55-72.
- Simplified Transport Demand Models. (2011). En *Modelling Transport* (pp. 429-459). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119993308.ch12>
- Ver Hoef, J. M., & Boveng, P. L. (1997). Poisson regression: Basics. *Ecological Bulletin*, 81(4), 716-728.
- Wang, H., He, S.-Y., & Leung, Y. (2018). Applying mobile phone data to travel behaviour research: A literature review. *Travel Behaviour and Society*, 11, 141-155. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.02.005>
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>

- Zhang, J., Zheng, Y., & Qi, D. (2017a). Deep Spatio-Temporal Residual Networks for Citywide Crowd Flows Prediction. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.10735>
- Zhang, J., Zheng, Y., & Qi, D. (2017b). Deep Spatio-Temporal Residual Networks for Citywide Crowd Flows Prediction. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.10735>
- Zhang, W., Li, Z., & Lin, Y. (2019). Exploring the impact of airport location and public transit service on mode choice of airport access: A case study in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 130, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.09.004>

9. ANEXOS:

Anexo A: Solicitud de autorización para realizar conteo en el Aeropuerto

Cuenca, 7 de marzo de 2025

Sr. Pablo Moscoso
Gestor de Seguridad AVSEC

Lic. María Rodas
Jefa de Seguridad AVSEC

Presente. -

Asunto: Solicitud de autorización para conteo de taxis y emisión de TCA de visitante

Estimados Sr. Moscoso y Lic. Rodas,

Por medio de la presente, me dirijo a ustedes con el fin de solicitar autorización para realizar el conteo de taxis en las instalaciones durante la semana del 10 al 16 de marzo, como parte del trabajo de titulación que estoy desarrollando. Para ello, cuento con la aprobación respectiva, la cual adjunto para su conocimiento y respaldo.

Asimismo, solicito se me facilite una Tarjeta de Circulación Aeroportuaría (TCA) de visitante para poder llevar a cabo dicha actividad sin inconvenientes, garantizando el cumplimiento de los procedimientos y normativas de seguridad establecidas.

Quedo atento a su respuesta y a cualquier requisito adicional que deba cumplir para la gestión de esta solicitud. Agradezco de antemano su tiempo y colaboración.

Atentamente,

Edwin Buri

Edwin Humberto Buri Guamán
Ci: 0302889852
edwin.buri@ucuenca.edu.ec


AUTORIZADO
TCA VISITANTE
DEL 10-16 MARZO

Anexo B: Solicitud de Información para trabajo de titulación

Cuenca, 27 de febrero de 2025

Abg. José Luis Aguilar
Director Ejecutivo
Corporación Aeroportuaria de Cuenca (CORPAC)

Asunto: Solicitud de Información para Trabajo de Titulación

Estimado Abogado Aguilar,

Reciba un cordial saludo. Mi nombre es Edwin Humberto Buri Guamán, estudiante de la carrera de ingeniería civil en la Universidad de Cuenca, actualmente desarrollando mi trabajo de titulación llamado "Estimación de la demanda de taxis en el Aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca", bajo la tutoría del Ing. Diego Correa Barahona PhD.

Para llevar a cabo este estudio, solicito amablemente el acceso a la siguiente información:

1. **Itinerario de vuelos** (llegadas y salidas) correspondientes al Aeropuerto Mariscal Lamar.
2. **Datos sobre el parqueadero**: capacidad, tiempos de uso y tarifas.
3. **Información sobre flujo de pasajeros**: Datos de demanda por aerolínea y vuelos respectivos.
4. **Autorización para realizar un conteo manual y clasificado de taxis** en la terminal durante la semana del 10 al 16 de marzo de 2025 desde las 6:00 hasta 22:00, con el fin de analizar la oferta actual del servicio para lo cual solicito comedidamente me faciliten una TCA de visitante.

Dicha información es clave para mi investigación, ya que permitirá realizar un análisis detallado de la demanda de taxis en el aeropuerto además de compartir los resultados obtenidos lo cual les permitirá tener un diagnóstico de la demanda actual y futura y proponer mejoras en la planificación del servicio.

Cuento con el respaldo de mi tutor, el PhD. Diego Correa, y me comprometo a utilizar los datos exclusivamente con fines académicos, garantizando la confidencialidad y el manejo responsable de la información proporcionada.

Agradecería mucho su apoyo en esta solicitud y quedo a su disposición para coordinar cualquier trámite necesario.

Quedo atento/a a su pronta respuesta y agradezco de antemano su tiempo y colaboración.

Atentamente,

Edwin Buri

Edwin Buri Guzman
Ci. 0302889852
0999010868
edwin.buri@ucuenca.edu.ec

 Corporación
Aeroportuaria
SECRETARIA

27 FEB 2025

HORA: 13:10
RECIBIDO POR: Carlos Acuña
F.: Diego Correa



Diego Correa Barahona
Ci. 0301695300
0998887464
diego.correa@ucuenca.edu.ec

Anexo C: Aceptación para realizar conteo de taxis en el aeropuerto



Oficio Nro. DTH-2025-0010

Cuenca, 06 de marzo de 2025

Señor
Edwin Buri
Estudiante
Presente.

De mi consideración:

En respuesta a lo solicitado en oficio sin número, de fecha 27 de febrero del 2025, en el que requiere que, el Sr. Edwin Humberto Buri Guamán, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, pueda realizar su proyecto de titulación en la institución, informo que la solicitud ha sido **ACEPTADA**.

El estudiante deberá cumplir con los requisitos y permisos necesarios para permanecer dentro de la corporación, en la Dirección Comercial y su tutor será el Ing. Juan Pablo Tamayo Veintimilla, Director Comercial de la CORPAC.

Para tales efectos, sírvase coordinar detalles pertinentes para el ingreso a la institución con la funcionaria, Claudia Zhañay con número de celular 0983018044.

Atentamente,



Dra. María Fernanda Astudillo Pesantez
DIRECTOR DE TALENTO HUMANO

Referencias:
- DIRE-AST-2025-0051

Anexos:
- DIRE-AST-2025-0051.pdf

NUT: CORPAC-2025-0413

CZI



Anexo D: Información de pasajeros proporcionada por la CORPAC



ALCALDÍA DE
CUENCA



Oficio Nro. DIR-OPS-ING-2025-002

Cuenca, 22 de mayo de 2025

Ingeniero
Diego Correa Barahona
Docente
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Señor
Edwin Buri
Estudiante
En su Despacho.

De mi consideración:

En respuesta al oficio recibido con fecha 7 de mayo de 2025, donde se solicita información relacionada a los vuelos que operan en la ciudad de Cuenca, y posterior a la reunión de coordinación entre el Estudiante y el Director de Operaciones, Ingeniería e Infraestructura, me permito presentar el detalle de vuelos en las fechas requeridas:

Del 10 al 15 de marzo de 2025

| COMPAÑIA | RUTA | CANT VUELOS | ADULTOS (>12 AÑOS) | MEDIOS (ENTRE 2 A 12 AÑOS) | INFANTES (< 2 AÑOS) | TOTAL PASAJEROS TRANSPORTADOS | PROMEDIO DE PASAJEROS POR VUELO |
|--------------|-------------|-------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| LATAM | UIO-CUE-UIO | 50 | 4806 | 92 | 38 | 4936 | 99 |
| LATAM | GYE-CUE-GYE | 8 | 835 | 26 | 3 | 864 | 108 |
| AVIANCA | UIO-CUE-UIO | 28 | 2798 | 123 | 15 | 2936 | 105 |
| TOTAL | | 86 | 8439 | 240 | 56 | 8736 | |

Del 11 de abril de 2025

| COMPAÑIA | RUTA | CANT VUELOS | ADULTOS >12 AÑOS | MEDIOS ENTRE 2 A 12 AÑOS | INFANTES < 2 AÑOS | TOTAL PASAJEROS TRANSPORTADOS | PROMEDIO DE PASAJEROS POR VUELO |
|--------------|-------------|-------------|------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| LATAM | UIO-CUE-UIO | 8 | 843 | 15 | 7 | 865 | 108 |
| LATAM | GYE-CUE-GYE | 2 | 176 | 8 | 4 | 188 | 94 |
| AVIANCA | UIO-CUE-UIO | 4 | 429 | 21 | 0 | 450 | 112 |
| TOTAL | | 86 | 8439 | 240 | 56 | 1503 | |

Nota: Tanto los vuelos como los pasajeros, son las cantidades totales, que consideran las operaciones en salidas y arribos.

Es todo cuanto puedo informar, en atención a su solicitud, y como se había indicado en la reunión referida, la Corporación Aeroportuaria de Cuenca, no dispone de la información personal de los

CORPORACIÓN
AEROPORTUARIA
DE CUENCA

Av. España y Ella Luján
Teléfono: (07) 2862095 / 2867120
Cuenca, Ecuador
www.aerpuertocuenca.ec

@Aeropuerto_CUE
 AeropuertoCuenca



ALCALDÍA DE
CUENCA



CORPORACIÓN
AEROPORTUARIA

Oficio Nro. DIR-OPS-ING-2025-002

Cuenca, 22 de mayo de 2025

pasajeros, siendo esta competencia de las Aerolíneas.

Finalmente, en caso de requerir alguna aclaración sobre la información proporcionada, se proporciona el siguiente contacto:

- Tnlg. Andrés Martínez, Coordinador de Operaciones, 0985941866, andres.martinez@corpac.ec

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,



ITALO ROMÁN
MOGROVEJO PEÑALOZA

Ing. Italo Román Mogrovejo Peñaloza

**DIRECTOR DE OPERACIONES, INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURA DE
AERÓDROMO (E)**

Copia:

Doctor en Jurisprudencia
José Luis Aguilar Hernández
Director Ejecutivo Corporación Aeroportuaria de Cuenca
CORPORACIÓN AEROPORTUARIA

Tecnólogo
Raúl Andrés Martínez Jara
Coordinador Técnico de Operaciones
CORPORACIÓN AEROPORTUARIA

NUT: CORPAC-2025-0942



**CORPORACIÓN
AEROPORTUARIA
DE CUENCA**

Av. España y Elia Llut
Teléfono: (07) 2862095 / 2867120
Cuenca, Ecuador
www.aeropuertocuenca.ec

@Aeropuerto_CUE
 AeropuertoCuenca

Anexo E Información de pasajeros proporcionada por la CORPAC

| Fecha | Hora | Ciudad | Aerolinea | Tipoaeronave | Vuelo | Total_pas | dia de la semana |
|-----------|-------|--------|-----------|--------------|---------|-----------|------------------|
| 10/3/2025 | 06:10 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 96,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 06:33 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 80,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 13:40 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 79,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 18:30 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 91,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 21:24 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 93,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 06:44 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 62,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 10:31 | UIO | AVIANCA | A 319 | AV-1608 | 102,00 | lunes |
| 10/3/2025 | 19:00 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 61,00 | lunes |
| 11/3/2025 | 06:13 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 77,00 | martes |
| 11/3/2025 | 13:43 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 66,00 | martes |
| 11/3/2025 | 16:22 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 80,00 | martes |
| 11/3/2025 | 21:25 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 134,00 | martes |
| 11/3/2025 | 06:40 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 95,00 | martes |
| 11/3/2025 | 19:35 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 96,00 | martes |
| 12/3/2025 | 06:09 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 69,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 09:12 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1376 | 128,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 13:09 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 67,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 14:57 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 109,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 19:56 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 94,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 21:16 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 122,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 06:43 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 104,00 | miercoles |
| 12/3/2025 | 19:37 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 60,00 | miercoles |
| 13/3/2025 | 06:09 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 29,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 07:38 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1387 | 101,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 13:17 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 86,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 18:06 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 116,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 18:44 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 104,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 21:50 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 104,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 06:50 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 54,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 10:31 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1664 | 69,00 | jueves |
| 13/3/2025 | 19:05 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 43,00 | jueves |
| 14/3/2025 | 06:14 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 114,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 15:40 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 133,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 18:38 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 124,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 18:51 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 126,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 21:22 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 129,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 06:40 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 134,00 | viernes |
| 14/3/2025 | 19:24 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 159,00 | viernes |

| | | | | | | | |
|-----------|-------|-----|---------|-------|---------|--------|---------|
| 15/3/2025 | 06:11 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 62,00 | sabado |
| 15/3/2025 | 17:27 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 101,00 | sabado |
| 15/3/2025 | 21:14 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 87,00 | sabado |
| 15/3/2025 | 06:51 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 110,00 | sabado |
| 15/3/2025 | 18:59 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 86,00 | sabado |
| 16/3/2025 | 06:13 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 71,00 | domingo |
| 16/3/2025 | 16:28 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 100,00 | domingo |
| 16/3/2025 | 18:25 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 91,00 | domingo |
| 16/3/2025 | 19:17 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 85,00 | domingo |
| 16/3/2025 | 21:21 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 103,00 | domingo |
| 16/3/2025 | 19:04 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 105,00 | domingo |
| 17/3/2025 | 06:12 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 121,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 06:46 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 79,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 13:55 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 91,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 18:36 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 86,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 21:25 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 98,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 06:52 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 111,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 10:15 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1608 | 65,00 | lunes |
| 17/3/2025 | 19:11 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 101,00 | lunes |
| 11/4/2025 | 06:15 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1407 | 61,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 16:02 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1401 | 132,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 18:01 | GYE | LATAM | A-319 | XL-1369 | 92,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 19:54 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1403 | 133,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 21:24 | UIO | LATAM | A-319 | XL-1405 | 129,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 06:55 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1604 | 66,00 | viernes |
| 11/4/2025 | 19:49 | UIO | AVIANCA | A-320 | AV-1606 | 156,00 | viernes |

Anexo F: Datos de temperatura proporcionados por la Universidad del Azuay estación calle larga

| timestamp | Hora | id_nombre | avgTC | maxTC | minTC |
|----------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|
| 10/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 12,31 | 12,61 | 12,15 |
| | 7:00:00 | | 12,28 | 13,12 | 11,21 |
| 10/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,81 | 18,97 | 15,93 |
| 10/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 21,39 | 23,97 | 19,67 |
| 10/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,2 | 24,76 | 23,59 |
| | 11:00:00 | | 23,54 | 23,85 | 23,31 |
| 10/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,95 | 25,34 | 24,49 |
| 10/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 25,14 | 25,33 | 24,72 |

| | | | | | |
|----------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|
| 10/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,54 | 24,29 | 21,01 |
| | 15:00:00 | | 19,64 | 20,55 | 19,01 |
| 10/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 18,38 | 19,81 | 17,55 |
| 10/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,22 | 17,64 | 16,71 |
| 10/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,07 | 16,46 | 15,86 |
| 10/3/2025 0:00 | 19:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,78 | 16,01 | 15,56 |
| 10/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,36 | 15,85 | 14,92 |
| 10/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,53 | 14,67 | 14,4 |
| 11/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 12,83 | 12,96 | 12,69 |
| | 7:00:00 | | 12,18 | 12,83 | 11,71 |
| 11/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,63 | 15,55 | 13,95 |
| 11/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,04 | 17,94 | 15,86 |
| 11/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 18,96 | 19,98 | 17,8 |
| | 11:00:00 | | 18,14 | 18,92 | 16,99 |
| 11/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,84 | 23,5 | 22,05 |
| 11/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,45 | 22,8 | 21,86 |
| 11/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,28 | 22,49 | 22,11 |
| | 15:00:00 | | 21,9 | 22,14 | 21,47 |
| 11/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,31 | 20,77 | 18,32 |
| 11/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,51 | 18,02 | 16,94 |
| 11/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,47 | 17,03 | 15,99 |
| | 19:00:00 | | 14,64 | 14,89 | 14,06 |
| 11/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,12 | 15,45 | 14,85 |
| 11/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,45 | 14,62 | 14,13 |
| 12/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 12,14 | 12,32 | 11,99 |
| | 7:00:00 | | 11,06 | 11,44 | 10,64 |
| 12/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,88 | 14,66 | 13,27 |

| | | | | | |
|----------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|
| 12/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,56 | 18,46 | 15,04 |
| 12/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,55 | 21,55 | 19,08 |
| | 11:00:00 | | 20,4 | 21,73 | 18,74 |
| 12/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,95 | 23,35 | 22,52 |
| 12/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 23,63 | 24,68 | 22,91 |
| 12/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,82 | 25,63 | 24,21 |
| | 15:00:00 | | 25,19 | 26,56 | 23,21 |
| 12/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,18 | 20,46 | 18,64 |
| 12/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,92 | 18,47 | 17,59 |
| 12/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,04 | 17,72 | 16,24 |
| | 19:00:00 | | 15,54 | 16,16 | 14,74 |
| 12/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,08 | 16,24 | 15,98 |
| 12/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,95 | 16,14 | 15,83 |
| 13/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,35 | 15,49 | 15,23 |
| | 7:00:00 | | 13,98 | 14,18 | 13,84 |
| 13/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,36 | 18,96 | 15,95 |
| 13/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,4 | 19,61 | 18,87 |
| 13/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,84 | 21,88 | 19,55 |
| | 11:00:00 | | 19,72 | 20,86 | 19,2 |
| 13/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,04 | 24,49 | 23,6 |
| 13/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 23,89 | 25,02 | 23,19 |
| 13/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 18,25 | 22,52 | 14,75 |
| 13/3/2025 0:00 | 15:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,51 | 14,51 | 14,51 |
| 13/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,69 | 13,86 | 13,44 |
| 13/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,12 | 14,32 | 13,78 |
| 13/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,21 | 14,25 | 14,17 |
| 13/3/2025 0:00 | 19:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,23 | 14,23 | 14,23 |

| | | | | | |
|----------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|
| 13/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,97 | 14,01 | 13,9 |
| 13/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,93 | 14,01 | 13,87 |
| 14/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 12,86 | 12,94 | 12,69 |
| 14/3/2025 0:00 | 7:00:00 | SCP04_Calle Larga | 12,87 | 12,87 | 12,87 |
| 14/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,53 | 18,61 | 15,98 |
| 14/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,1 | 20,18 | 18,29 |
| 14/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,82 | 21,35 | 19,94 |
| 14/3/2025 0:00 | 11:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,96 | 19,96 | 19,96 |
| 14/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,12 | 22,83 | 21,29 |
| 14/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 23,58 | 24,25 | 23,08 |
| 14/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,65 | 23,99 | 20,01 |
| 14/3/2025 0:00 | 15:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,99 | 19,99 | 19,99 |
| 14/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 18,17 | 18,84 | 17,58 |
| 14/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,93 | 17,14 | 16,77 |
| 14/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,23 | 16,66 | 15,75 |
| 14/3/2025 0:00 | 19:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,39 | 15,39 | 15,39 |
| 14/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,11 | 15,44 | 14,84 |
| 14/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,59 | 15,69 | 15,45 |
| 15/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,67 | 14,05 | 13,44 |
| 15/3/2025 0:00 | 7:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,87 | 13,87 | 13,87 |
| 15/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,84 | 15,22 | 14,44 |
| 15/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,77 | 16,2 | 15,48 |
| 15/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,72 | 18,74 | 16,78 |
| 15/3/2025 0:00 | 11:00:00 | SCP04_Calle Larga | 18,81 | 18,81 | 18,81 |

| | | | | | |
|----------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|
| 15/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,94 | 20,34 | 19,54 |
| 15/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,25 | 20,76 | 19,91 |
| 15/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,84 | 21,24 | 20,25 |
| 15/3/2025 0:00 | 15:00:00 | SCP04_Calle Larga | 21,21 | 21,21 | 21,21 |
| 15/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,23 | 20,41 | 20,01 |
| 15/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,04 | 19,74 | 18,38 |
| 15/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,67 | 18,17 | 17,3 |
| 15/3/2025 0:00 | 19:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,3 | 17,3 | 17,3 |
| 15/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,05 | 15,1 | 14,94 |
| 15/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 14,92 | 15,2 | 14,69 |
| 16/3/2025 0:00 | 6:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,83 | 13,92 | 13,72 |
| 16/3/2025 0:00 | 7:00:00 | SCP04_Calle Larga | 13,62 | 13,62 | 13,62 |
| 16/3/2025 0:00 | 8:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,22 | 24,18 | 20,56 |
| 16/3/2025 0:00 | 9:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,91 | 25,63 | 24,21 |
| 16/3/2025 0:00 | 10:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,97 | 25,63 | 24,61 |
| 16/3/2025 0:00 | 11:00:00 | SCP04_Calle Larga | 24,34 | 24,34 | 24,34 |
| 16/3/2025 0:00 | 12:00:00 | SCP04_Calle Larga | 21,36 | 21,55 | 21,26 |
| 16/3/2025 0:00 | 13:00:00 | SCP04_Calle Larga | 19,12 | 20,74 | 17,04 |
| 16/3/2025 0:00 | 14:00:00 | SCP04_Calle Larga | 20,65 | 23,11 | 18,27 |
| 16/3/2025 0:00 | 15:00:00 | SCP04_Calle Larga | 22,4 | 23,2 | 20,4 |
| 16/3/2025 0:00 | 16:00:00 | SCP04_Calle Larga | 17,14 | 17,35 | 16,98 |
| 16/3/2025 0:00 | 17:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,6 | 17,07 | 16,37 |
| 16/3/2025 0:00 | 18:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,57 | 16,75 | 16,41 |
| 16/3/2025 0:00 | 19:00:00 | SCP04_Calle Larga | 16,4 | 16,68 | 15,96 |

| | | | | | |
|----------------|----------|----------------------|-------|-------|-------|
| 16/3/2025 0:00 | 20:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,79 | 15,87 | 15,72 |
| 16/3/2025 0:00 | 21:00:00 | SCP04_Calle Larga | 15,37 | 15,72 | 15,09 |

Anexo G: Información de precipitación proporcionada por el departamento PROMAS de la Universidad de Cuenca

| timestamp | |
|-----------------|----------|
| 10/3/2025 0:00 | 6:00:00 |
| | 7:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 8:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 9:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 10:00:00 |
| | 11:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 12:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 13:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 14:00:00 |
| | 15:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 16:00:00 |
| timestamp | Hora |
| 10/3/2025 0:00 | 6:00:00 |
| | 7:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 8:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 9:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 10:00:00 |
| | 11:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 12:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 13:00:00 |
| 10/3/2025 0:00 | 14:00:00 |
| 10/3/2025 20:00 | 0 |
| 10/3/2025 21:00 | 0,8 |
| 10/3/2025 22:00 | 0,6 |
| 10/3/2025 23:00 | 0,2 |
| 11/3/2025 0:00 | 0 |
| 11/3/2025 1:00 | 0 |
| 11/3/2025 2:00 | 0,8 |

| | |
|-----------------|-----|
| 11/3/2025 3:00 | 0,6 |
| 11/3/2025 4:00 | 0,2 |
| 11/3/2025 5:00 | 0,2 |
| 11/3/2025 6:00 | 0 |
| 11/3/2025 7:00 | 0 |
| 11/3/2025 8:00 | 0 |
| 11/3/2025 9:00 | 0 |
| 11/3/2025 10:00 | 0 |
| 11/3/2025 11:00 | 0 |
| 11/3/2025 12:00 | 0 |
| 11/3/2025 13:00 | 0 |
| 11/3/2025 14:00 | 0 |
| 11/3/2025 15:00 | 0 |
| 11/3/2025 16:00 | 0 |
| 11/3/2025 17:00 | 0 |
| 11/3/2025 18:00 | 0 |
| 11/3/2025 19:00 | 0 |
| 11/3/2025 20:00 | 0 |
| 11/3/2025 21:00 | 0 |
| 11/3/2025 22:00 | 0 |
| 11/3/2025 23:00 | 0 |
| 12/3/2025 0:00 | 0 |
| 12/3/2025 1:00 | 0 |
| 12/3/2025 2:00 | 0 |
| 12/3/2025 3:00 | 0 |
| 12/3/2025 4:00 | 0 |
| 12/3/2025 5:00 | 0 |
| 12/3/2025 6:00 | 0 |
| 12/3/2025 7:00 | 0 |
| 12/3/2025 8:00 | 0 |
| 12/3/2025 9:00 | 0 |
| 12/3/2025 10:00 | 0 |
| 12/3/2025 11:00 | 0 |
| 12/3/2025 12:00 | 0 |
| 12/3/2025 13:00 | 0 |
| 12/3/2025 14:00 | 0 |
| 12/3/2025 15:00 | 0 |
| 12/3/2025 16:00 | 0 |
| 12/3/2025 17:00 | 0,6 |
| 12/3/2025 18:00 | 0 |
| 12/3/2025 19:00 | 1,6 |
| 12/3/2025 20:00 | 0 |
| 12/3/2025 21:00 | 0 |
| 12/3/2025 22:00 | 0 |
| 12/3/2025 23:00 | 0 |

| | |
|-----------------|-----|
| 13/3/2025 0:00 | 0 |
| 13/3/2025 1:00 | 0,2 |
| 13/3/2025 2:00 | 0 |
| 13/3/2025 3:00 | 0 |
| 13/3/2025 4:00 | 0 |
| 13/3/2025 5:00 | 0 |
| 13/3/2025 6:00 | 0 |
| 13/3/2025 7:00 | 0,2 |
| 13/3/2025 8:00 | 0 |
| 13/3/2025 9:00 | 0 |
| 13/3/2025 10:00 | 0 |
| 13/3/2025 11:00 | 0 |
| 13/3/2025 12:00 | 0 |
| 13/3/2025 13:00 | 0 |
| 13/3/2025 14:00 | 0 |
| 13/3/2025 15:00 | 3,8 |
| 13/3/2025 16:00 | 6,4 |
| 13/3/2025 17:00 | 2,6 |
| 13/3/2025 18:00 | 0,2 |
| 13/3/2025 19:00 | 0,2 |
| 13/3/2025 20:00 | 0 |
| 13/3/2025 21:00 | 0,2 |
| 13/3/2025 22:00 | 0 |
| 13/3/2025 23:00 | 0 |
| 14/3/2025 0:00 | 0 |
| 14/3/2025 1:00 | 0 |
| 14/3/2025 2:00 | 0 |
| 14/3/2025 3:00 | 0 |
| 14/3/2025 4:00 | 0 |
| 14/3/2025 5:00 | 0 |
| 14/3/2025 6:00 | 0 |
| 14/3/2025 7:00 | 0 |
| 14/3/2025 8:00 | 0 |
| 14/3/2025 9:00 | 0 |
| 14/3/2025 10:00 | 0 |
| 14/3/2025 11:00 | 0 |
| 14/3/2025 12:00 | 0 |
| 14/3/2025 13:00 | 0 |
| 14/3/2025 14:00 | 0 |
| 14/3/2025 15:00 | 0 |
| 14/3/2025 16:00 | 0 |
| 14/3/2025 17:00 | 0 |
| 14/3/2025 18:00 | 0 |
| 14/3/2025 19:00 | 0 |
| 14/3/2025 20:00 | 0 |

| | |
|-----------------|-----|
| 14/3/2025 21:00 | 0 |
| 14/3/2025 22:00 | 0 |
| 14/3/2025 23:00 | 0 |
| 15/3/2025 0:00 | 0 |
| 15/3/2025 1:00 | 0 |
| 15/3/2025 2:00 | 0 |
| 15/3/2025 3:00 | 0 |
| 15/3/2025 4:00 | 0 |
| 15/3/2025 5:00 | 0 |
| 15/3/2025 6:00 | 0 |
| 15/3/2025 7:00 | 0 |
| 15/3/2025 8:00 | 0 |
| 15/3/2025 9:00 | 0 |
| 15/3/2025 10:00 | 0 |
| 15/3/2025 11:00 | 0 |
| 15/3/2025 12:00 | 0 |
| 15/3/2025 13:00 | 0 |
| 15/3/2025 14:00 | 0 |
| 15/3/2025 15:00 | 0 |
| 15/3/2025 16:00 | 0 |
| 15/3/2025 17:00 | 0 |
| 15/3/2025 18:00 | 0 |
| 15/3/2025 19:00 | 0 |
| 15/3/2025 20:00 | 0,8 |
| 15/3/2025 21:00 | 0 |
| 15/3/2025 22:00 | 0 |
| 15/3/2025 23:00 | 0 |
| 16/3/2025 0:00 | 0 |
| 16/3/2025 1:00 | 0 |
| 16/3/2025 2:00 | 0 |
| 16/3/2025 3:00 | 0 |
| 16/3/2025 4:00 | 0 |
| 16/3/2025 5:00 | 0 |
| 16/3/2025 6:00 | 0 |
| 16/3/2025 7:00 | 0 |
| 16/3/2025 8:00 | 0 |
| 16/3/2025 9:00 | 0 |
| 16/3/2025 10:00 | 0 |
| 16/3/2025 11:00 | 0 |
| 16/3/2025 12:00 | 0 |
| 16/3/2025 13:00 | 0 |
| 16/3/2025 14:00 | 0,4 |
| 16/3/2025 15:00 | 0 |
| 16/3/2025 16:00 | 0 |
| 16/3/2025 17:00 | 0,2 |

| | |
|-----------------|-----|
| 16/3/2025 18:00 | 0 |
| 16/3/2025 19:00 | 0 |
| 16/3/2025 20:00 | 0 |
| 16/3/2025 21:00 | 0 |
| 16/3/2025 22:00 | 0,2 |
| 16/3/2025 23:00 | 0 |
| 17/3/2025 0:00 | 0 |
| 17/3/2025 1:00 | 0 |
| 17/3/2025 2:00 | 0 |
| 17/3/2025 3:00 | 0 |
| 17/3/2025 4:00 | 0 |
| 17/3/2025 5:00 | 0 |
| 17/3/2025 6:00 | 0 |
| 17/3/2025 7:00 | 0 |
| 17/3/2025 8:00 | 0 |
| 17/3/2025 9:00 | 0 |
| 17/3/2025 10:00 | 0 |
| 17/3/2025 11:00 | 0 |
| 17/3/2025 12:00 | 0 |
| 17/3/2025 13:00 | 0 |
| 17/3/2025 14:00 | 0,4 |
| 17/3/2025 15:00 | 0 |
| 17/3/2025 16:00 | 0 |
| 17/3/2025 17:00 | 0 |
| 17/3/2025 18:00 | 0 |
| 17/3/2025 19:00 | 0 |
| 17/3/2025 20:00 | 0 |
| 17/3/2025 21:00 | 0 |
| 17/3/2025 22:00 | 0 |
| 17/3/2025 23:00 | 0 |

| | |
|-----------------|-----|
| 11/4/2025 0:00 | 0 |
| 11/4/2025 1:00 | 1 |
| 11/4/2025 2:00 | 2 |
| 11/4/2025 3:00 | 0,6 |
| 11/4/2025 4:00 | 0,2 |
| 11/4/2025 5:00 | 0 |
| 11/4/2025 6:00 | 0 |
| 11/4/2025 7:00 | 0 |
| 11/4/2025 8:00 | 0 |
| 11/4/2025 9:00 | 0 |
| 11/4/2025 10:00 | 0 |
| 11/4/2025 11:00 | 0 |
| 11/4/2025 12:00 | 0 |
| 11/4/2025 13:00 | 0 |

| | |
|-----------------|-----|
| 11/4/2025 14:00 | 0 |
| 11/4/2025 15:00 | 0 |
| 11/4/2025 16:00 | 0,2 |
| 11/4/2025 17:00 | 0 |
| 11/4/2025 18:00 | 0 |
| 11/4/2025 19:00 | 0 |
| 11/4/2025 20:00 | 0 |
| 11/4/2025 21:00 | 0 |
| 11/4/2025 22:00 | 0 |
| 11/4/2025 23:00 | 0 |

Anexo H: Itinerario de vuelos proporcionada por la CORPAC

Lunes 10/03/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:10:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 06:00:00 | 06:33:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 06:43:00 |
| AVIANCA | AV 1608 | UIO-CUE | 09:25:00 | 10:27:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 12:59:00 | 13:47:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 17:45:00 | 18:31:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:02:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:23:00 |

Martes 11/3/2025

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:12:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 07:02:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 12:32:00 | 13:43:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 15:40:00 | 16:22:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:37:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:22:00 |

Miércoles 12/3/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:08:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 06:42:00 |
| LATAM | LA 1376 | UIO-CUE | 08:15:00 | 09:12:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 12:32:00 | 13:13:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 14:17:00 | 14:57:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 17:08:00 | 18:04:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:16:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:31:00 |

Jueves 13/3/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:15:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 07:02:00 |
| LATAM | LA 1387 | UIO-CUE | 06:49:00 | 07:45:00 |
| AVIANCA | AV 1664 | UIO-CUE | 09:40:00 | 10:38:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 12:32:00 | 13:28:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 17:16:00 | 18:02:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 17:20:00 | 18:16:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:16:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:31:00 |

Viernes 14/3/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:15:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 07:02:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 15:00:00 | 15:56:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 16:56:00 | 17:42:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 18:06:00 | 19:02:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:16:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:31:00 |

Sábado 15/3/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:15:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 07:02:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 16:45:00 | 17:41:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:16:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:31:00 |

Domingo 16/3/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:19:00 | 06:15:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 15:19:00 | 16:15:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 17:44:00 | 18:30:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 18:17:00 | 19:13:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:16:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:35:00 | 21:31:00 |

Viernes 11/4/2025

Arribos (Arrivals)

| AEROLINEA | VUELO | RUTA | SALIDA | LLEGADA |
|-----------|---------|---------|----------|----------|
| LATAM | LA 1407 | UIO-CUE | 05:18:00 | 06:14:00 |
| AVIANCA | AV 1604 | UIO-CUE | 06:00:00 | 07:05:00 |
| LATAM | LA 1401 | UIO-CUE | 15:15:00 | 16:11:00 |
| LATAM | LA 1369 | GYE-CUE | 17:10:00 | 17:57:00 |
| AVIANCA | AV 1606 | UIO-CUE | 18:18:00 | 19:18:00 |
| LATAM | LA 1403 | UIO-CUE | 19:05:00 | 20:01:00 |
| LATAM | LA 1405 | UIO-CUE | 20:34:00 | 21:30:00 |

Anexo I: Diagrama de flujo aplicado para determinación de demanda de taxis

