



PRONÓSTICO Y PROGRAMACIÓN LINEAL DE LA DEMANDA

EN UNA EMPRESA DE ALQUILER DE AUTOS

Ledesma, Guido - Salas Auad, Martin Jose - Zaya, Emilse

guido.ledesma@gmail.com-- salasaauad@email.com- zayaemilse@gmail.com

Resumen

El análisis cuantitativo aplicado al sector de alquiler de vehículos permite anticipar la demanda, optimizar recursos y mejorar la toma de decisiones. En una empresa con operaciones en Tucumán y Jujuy, se emplearon modelos de pronóstico para estimar la cantidad de alquileres mensuales por sucursal y se utilizó programación lineal entera para definir la asignación óptima de flota. A partir de registros históricos, se identificaron patrones de estacionalidad y tendencias, que sirvieron como base para proyectar la demanda del mes de mayo. Se propuso una solución que cubre completamente las necesidades operativas y se detectó capacidad ociosa. Este enfoque cuantitativo ofrece una base sólida para la planificación operativa y contribuye a una gestión más eficiente de los recursos disponibles.

Palabras Clave: Programación Lineal, Pronóstico de Demanda, Asignación, Rotación de Flota, Alquiler de Autos

Introducción

El análisis cuantitativo se ha convertido en una herramienta esencial para la toma de decisiones informadas. Este enfoque se basa en la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos con el fin de interpretar fenómenos complejos, identificar patrones y proponer soluciones eficientes. Como señalan Render, Stair y Hanna (2013), el uso de métodos cuantitativos permite a las organizaciones transformar datos en información valiosa, contribuyendo a la optimización de recursos y al diseño de estrategias operativas más precisas.

A partir de esta perspectiva, el presente trabajo se enfoca en el estudio de una empresa dedicada al alquiler de vehículos, la cual opera con dos sucursales principales ubicadas en las provincias de Tucumán y Jujuy. Cada una de estas sedes cuenta con dos puntos estratégicos de atención al cliente: uno en el aeropuerto y otro en un hotel. La flota disponible se encuentra segmentada en diversas categorías, que van desde vehículos económicos hasta modelos de gama media y alta.

El análisis se centra en comprender el comportamiento de la demanda histórica de alquileres, evaluar su evolución a lo largo del tiempo, y determinar criterios objetivos para lograr una asignación eficiente de la flota entre las distintas ubicaciones. Para ello, se utilizarán herramientas cuantitativas como modelos de pronóstico y técnicas de programación lineal entera, que permitirán anticipar necesidades futuras y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Este enfoque busca superar las limitaciones asociadas a la toma de decisiones basada únicamente en la intuición o en experiencias pasadas, aportando una base sólida y sistemática



para la mejora de los procesos operativos y estratégicos.

Situación Problemática

Actualmente, a la empresa le resulta muy difícil estimar la demanda para los próximos períodos, ya que no cuenta con una herramienta adecuada para lograrlo. Al no disponer de métricas ni indicadores, se generan de forma recurrente situaciones en las que algunas sucursales presentan exceso de oferta, mientras que otras no logran cubrir la demanda, lo que puede derivar en pérdidas económicas no detectadas.

Como consecuencia, la asignación de flota entre sucursales se ve afectada, generando una gestión ineficiente de los vehículos disponibles. En este contexto, las decisiones se toman con base en la intuición y no en datos concretos, lo que dificulta el control, el seguimiento y la mejora continua de la operación.

Preguntas de Investigación

1. ¿Cuál es el comportamiento histórico de la demanda en cada sucursal y cómo varía según la temporada o el período del año?
2. ¿Cómo asignar de manera eficiente la flota de cada sucursal?
3. ¿Cuántas serán las unidades demandadas en próximos períodos?

Objetivo General

Proponer criterios para una asignación más eficiente de la flota entre sucursales, basados en herramientas cuantitativas.

Objetivos Específicos

- Pronosticar la demanda de los próximos períodos en cada sucursal.
- Observar el comportamiento histórico de la demanda por sucursal, identificando patrones estacionales y variaciones mensuales.
- Identificar y proponer la mezcla óptima de utilización de vehículos para cada una de las sucursales.

Marco Metodológico

El presente estudio se enmarca en un enfoque de investigación **cuantitativo**, ya que se fundamenta en el análisis de datos numéricos con el objetivo de obtener resultados objetivos y medibles. Se adopta un **diseño no experimental de tipo longitudinal**, dado que no se manipulan las variables, sino que se analizan tal como se presentan en la realidad, a lo largo del tiempo (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

La fuente principal de información está constituida por **datos secundarios**, extraídos de los **registros históricos del sistema de reservas** de la empresa. Esta base de datos permite observar el comportamiento de la demanda en distintos períodos, identificar **patrones estacionales**, y aplicar técnicas analíticas que contribuyan a una mejor toma de decisiones estratégicas.

Se emplean herramientas cuantitativas, tales como **modelos de pronóstico y programación** lineal, que facilitan la evaluación de variables clave como la cantidad de alquileres, los tipos de vehículos solicitados, la duración de los contratos y la disponibilidad de la flota (Hanna, Render & Stair, 2013).



Por último, se utiliza un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, ya que la selección de los datos no responde a criterios de aleatoriedad, sino que se basa en la disponibilidad y pertinencia de los registros para los objetivos de la investigación

Marco

Teórico

Análisis cuantitativo de negocios

El análisis cuantitativo constituye una herramienta fundamental en la gestión empresarial moderna, ya que permite abordar la toma de decisiones mediante el estudio riguroso de datos numéricos. En el caso específico de una empresa dedicada al alquiler de vehículos, este enfoque resulta clave para optimizar recursos, anticipar tendencias de demanda y evaluar distintos escenarios operativos. De acuerdo con Render, Stair y Hanna (2012), el análisis cuantitativo combina métodos matemáticos y estadísticos con el fin de convertir datos históricos en información valiosa para mejorar la eficiencia y la rentabilidad organizacional.

Este enfoque permite a las organizaciones identificar patrones de comportamiento, realizar proyecciones futuras y diseñar estrategias basadas en evidencia concreta. En nuestro estudio, el análisis cuantitativo se implementa a través del uso de modelos de pronóstico y programación lineal, aplicados sobre el historial de reservas de vehículos en diferentes sucursales. Esto permite no sólo prever la demanda futura, sino también determinar la mejor forma de asignar la flota disponible entre las sedes de Tucumán y Jujuy.

Pronóstico:

En el ámbito organizacional, una de las principales preocupaciones de los directivos es anticipar el comportamiento futuro del mercado para tomar decisiones más informadas y reducir la incertidumbre operativa. Render (2012) señala que lograr previsiones precisas es una meta fundamental de la gestión empresarial, ya que permite estimar con mayor seguridad lo que ocurrirá en períodos futuros. Si bien muchas empresas basan sus decisiones en la intuición y la experiencia acumulada, existen diversos enfoques cuantitativos que ofrecen mayor objetividad al proceso de pronóstico, tales como promedios móviles, suavizamiento exponencial, análisis de tendencias y regresión lineal por mínimos cuadrados.

Entre estos métodos, se destaca el uso de modelos de series de tiempo, los cuales parten de la premisa de que el comportamiento futuro de una variable puede deducirse a partir de su comportamiento histórico. Esta característica resulta especialmente útil para organizaciones como empresas de alquiler de autos, donde las variaciones de la demanda suelen estar condicionadas por factores estacionales o por patrones que se repiten en ciertos períodos del año.

Para evaluar qué tan adecuado es un modelo de pronóstico, Render (2012) propone comparar los valores estimados con los reales mediante el cálculo del error de pronóstico, entendido como la diferencia entre el valor observado y el pronosticado. A partir de esta diferencia, se pueden aplicar indicadores de precisión como la desviación media absoluta (DMA), que resume el promedio de los errores absolutos, permitiendo determinar la fiabilidad del modelo utilizado.

Asimismo, el promedio móvil ponderado otorga mayor relevancia a las observaciones más recientes, permitiendo que el modelo reaccione más rápidamente ante cambios en el comportamiento de la serie. Este enfoque resulta particularmente útil en contextos dinámicos



donde la demanda puede alterarse bruscamente debido a factores como la estacionalidad, la inflación, o eventos turísticos.

Otra técnica ampliamente utilizada es el suavizamiento exponencial, un procedimiento computacionalmente eficiente que requiere mantener registros históricos y aplica una constante de suavizamiento (α) para ponderar la diferencia entre la demanda real y el pronóstico anterior. Valores de α cercanos a 1 otorgan mayor peso a las observaciones recientes, mientras que valores más bajos priorizan el historial más antiguo.

Por último, la **regresión lineal** constituye una herramienta estadística adecuada para analizar la relación entre variables. En contextos como la gestión de flotas de vehículos, puede usarse para evaluar cómo factores como el mes del año, la ubicación de la sucursal o la categoría del vehículo influyen en la cantidad de reservas. Esta técnica se representa gráficamente mediante un diagrama de dispersión y permite calcular la ecuación de la recta de ajuste, así como el coeficiente de determinación (R^2), que indica el grado de explicación que ofrece la variable independiente sobre la dependiente.

Programación Lineal

La programación lineal (PL) es una herramienta matemática de gran valor para la toma de decisiones en contextos donde es necesario asignar recursos limitados de manera eficiente. Este método permite identificar la mejor solución posible (óptima) a un problema determinado, siempre que dicho problema pueda expresarse mediante una función objetivo y un conjunto de restricciones lineales. En este caso, la programación lineal permite determinar cómo distribuir la flota de vehículos entre las distintas sucursales —ubicadas en Tucumán y Jujuy, tanto en oficinas como en aeropuertos— para satisfacer la demanda esperada con el mayor nivel de cobertura.

Render, Stair y Hanna (2012) definen a la programación lineal como una técnica orientada a apoyar decisiones administrativas, particularmente en lo referente a la asignación óptima de recursos escasos. Esta técnica parte de un enfoque cuantitativo, en el cual la realidad empresarial se traduce en un modelo matemático compuesto por cuatro elementos básicos: una función objetivo, restricciones, variables de decisión y relaciones lineales.

La **función objetivo** representa el criterio que se desea optimizar, ya sea minimizar un costo o maximizar un beneficio. Esta función se expresa como una combinación lineal de variables de decisión, ponderadas por coeficientes que reflejan su impacto en el objetivo general.

Las **variables de decisión** son los elementos que el tomador de decisiones puede controlar. En este estudio, las variables representan la cantidad de vehículos que deberían ser asignados a cada sucursal en un determinado período. A través del ajuste de estas variables, se busca alcanzar el objetivo definido, respetando las limitaciones impuestas por el entorno operativo.

Las **restricciones** reflejan los límites reales con los que opera la empresa, tales como la disponibilidad total de la flota, la capacidad de cada sucursal para albergar vehículos, la demanda mínima que se debe cubrir en cada punto de alquiler, o incluso políticas internas como mantener un stock de reserva. Cada restricción se expresa también como una relación lineal, y el conjunto de todas las restricciones determina el espacio de soluciones factibles del modelo.

La programación lineal se basa en varios supuestos fundamentales (Render, 2012):



- **Certeza:** Los coeficientes en la función objetivo y las restricciones son conocidos y constantes.
- **Proporcionalidad:** La contribución de cada variable a la función objetivo y las restricciones es proporcional a su valor. **Aditividad:** La función objetivo y las restricciones son la suma de las contribuciones individuales de cada variable.
- **Divisibilidad:** Las variables de decisión pueden tomar cualquier valor fraccionario, no necesariamente entero.
- **No Negatividad:** Los valores de las variables de decisión deben ser no negativos. Estos supuestos permiten la simplificación del modelo y su aplicación a una amplia gama de problemas empresariales, incluyendo la optimización de la mezcla de productos, que es el foco de nuestro estudio.

Una extensión relevante de la programación lineal es la **programación lineal entera**, la cual se aplica en situaciones donde las soluciones requeridas deben ser expresadas en números enteros. En estos casos, el supuesto clásico de divisibilidad, que permite valores fraccionarios en las variables de decisión, deja de ser válido. Esto resulta especialmente útil cuando se trabaja con unidades que no pueden dividirse, como ocurre al asignar cantidades discretas de recursos físicos.

Existen distintas variantes de este enfoque, según el tipo de restricción que se imponga sobre las variables:

- **Programación entera pura:** se utiliza cuando todas las variables del modelo deben adoptar valores enteros. Esto suele aplicarse en contextos donde cada decisión implica una cantidad indivisible de elementos.
- **Programación entera mixta:** en este caso, solo algunas de las variables están sujetas a la condición de enteridad, mientras que otras pueden asumir valores fraccionarios. Esta modalidad permite mayor flexibilidad y se adapta a situaciones donde conviven decisiones discretas y continuas.
- **Programación entera binaria o cero-uno:** las variables solo pueden tomar el valor 0 o 1, lo cual es útil en decisiones del tipo "sí/no", como por ejemplo si se debe o no asignar una determinada categoría de recurso a una ubicación específica.

Para el desarrollo del presente trabajo se aplicó un modelo de **programación lineal entera pura**, ya que todas las variables de decisión involucradas deben asumir valores enteros. Esta elección metodológica responde a la necesidad de modelar decisiones que no admiten fraccionamientos, como la cantidad de vehículos a asignar por sucursal.

Aplicación

Para comenzar con el trabajo, se utilizaron las bases de datos proporcionadas por la empresa, correspondientes a las sucursales ubicadas en las provincias de Tucumán y Jujuy. Los registros abarcan el período comprendido entre mayo de 2022 y abril de 2025, lo cual permite contar con una serie histórica de tres años de alquileres, clave para realizar un análisis representativo y confiable del comportamiento de la demanda a lo largo del tiempo.



Previo al análisis cuantitativo, fue necesario realizar un proceso de preparación y tratamiento de datos, aplicando una metodología ETL (Limpieza, Transformación y Extracción). En el caso de la información proveniente de la provincia de Tucumán, los datos se encontraban distribuidos en 36 archivos de Excel separados, uno por cada mes del período mencionado. Para unificar esta información de manera eficiente y minimizar errores de carga manual, se desarrolló un procedimiento automatizado utilizando el lenguaje de programación Python, que permitió extraer los datos relevantes de cada archivo, limpiarlos y consolidarlos en una única base estructurada.

Por otro lado, la información correspondiente a Jujuy se encontraba contenida en un único archivo, aunque presentaba una estructura más compleja. En este caso, fue necesario realizar una depuración selectiva de los datos, extrayendo solo las variables pertinentes para los objetivos del estudio, tales como fecha, punto de alquiler, categoría del vehículo y cantidad de contratos cerrados.

Figura 1: Alquileres en Tucumán.

FECHA SALIDA	HORA SALIDA	KMS SALIDA	FECHA RETORNO	HORA RETORNO	KMS RETORNO	KMS USADOS	DIAS	LUGAR SALIDA
2/5/2022	8.23	73041	3/5/2024	10.2	73566	525	1	AEROPUERTO
2/5/2022	14.29	111691	2/5/2024	14.29	113933	2242	0	AEROPUERTO
2/5/2022	17.58	39763	7/5/2024	10.3	40764	1001	5	AEROPUERTO
2/5/2022	18.42	16566	8/5/2024	9.5	16983	417	6	AEROPUERTO
2/5/2022	19.07	17093	3/5/2024	8.3	17149	56	1	AEROPUERTO
2/5/2022	11.02	38381	14/5/2024	11	40070	1689	12	OFICINA
2/5/2022	8.23	75018	4/5/2024	7.3	75189	171	2	OFICINA
2/5/2022	8.42	48791	3/5/2024	17.4	49441	650	2	OFICINA
2/5/2022	10.32	72153	3/5/2024	13	72243	90	2	OFICINA
2/5/2022	11.25	64190	7/5/2024	10	64452	262	5	OFICINA
2/5/2022	14.08	25775	13/5/2024	12.58	28279	2504	11	OFICINA
2/5/2022	15	73566	7/5/2024	18	74326	760	6	OFICINA
2/5/2022	17.05	72544	3/5/2024	18	72641	97	1	OFICINA
2/5/2022	11.18	55153	8/5/2024	8	56623	1470	6	AEROPUERTO
2/5/2022	10	66200	4/5/2024	19	67320	1120	3	AEROPUERTO
2/5/2022	11.55	15760	14/5/2024	11.3	17452	1692	12	AEROPUERTO
3/5/2022	9.18	132197	6/5/2024	19	132598	401	4	AEROPUERTO
3/5/2022	10.06	73992	10/5/2024	10	75440	1448	7	OFICINA
3/5/2022	11.37	25609	6/5/2024	8.4	25934	325	3	OFICINA
3/5/2022	8.3	17149	8/5/2024	8.44	17984	835	5	AEROPUERTO
3/5/2022	20.03	68636	10/5/2024	18.3	70235	1599	7	AEROPUERTO
3/5/2022	17.35	158098	6/5/2024	17.2	158399	301	3	OFICINA
4/5/2022	9.07	72255	6/5/2024	7.15	72661	406	2	AEROPUERTO
4/5/2022	9.42	112318	6/5/2024	7.2	112620	302	2	AEROPUERTO
4/5/2022	10.33	49452	6/5/2024	18.2	49841	389	3	AEROPUERTO

Fuente: base de datos proporcionada por la empresa correspondiente a Tucumán

Figura 2: Alquileres en Jujuy.



HORA SALIDA	KMS SALIDA	FECHA RETORNO	HORA RETORNO	KMS RETORNO	KMS USADOS	DIAS	LUGAR SALIDA
9.24	143120	5/5/2024	13	143921	801	735	AEROPUERTO
8.1	117128	6/5/2024	8	118407	1279	736	OFICINA
20.56	136985	5/5/2024	8.3	138783	1798	734	OFICINA
21.08	71794	5/5/2024	17.58	72668	874	734	AEROPUERTO
21.47	129474	6/5/2024	16.3	130232	758	735	AEROPUERTO
19.09	53805	8/5/2024	12	54811	1006	737	AEROPUERTO
11.38	65567	11/5/2024	11	67122	1555	740	AEROPUERTO
9.06	138676	11/5/2024	19.43	140286	1610	740	AEROPUERTO
7.55	134870	6/5/2024	13.3	135613	743	734	AEROPUERTO
10	34049	8/5/2024	20.3	34643	594	736	AEROPUERTO
9.14	79646	8/5/2024	10	80773	1127	736	AEROPUERTO
17.47	143240	8/5/2024	18	143884	644	736	OFICINA
7.42	49099	10/5/2024	7	50115	1016	738	AEROPUERTO
10.31	102790	10/5/2024	11.33	103932	1142	738	AEROPUERTO
8.35	32014	10/5/2024	18.15	32910	896	738	OFICINA
11.46	57599	10/5/2024	13.16	58502	903	738	AEROPUERTO
12.02	37559	10/5/2024	19.52	38789	1230	738	OFICINA
17	70639	6/5/2024	18	70985	346	733	OFICINA
11.25	142645	7/5/2024	18.35	143045	400	734	AEROPUERTO
9.3	48161	10/5/2024	19.16	49216	1055	737	OFICINA
10.46	69388	11/5/2024	9.3	70276	888	738	AEROPUERTO
8.3	57577	11/5/2024	9	58929	1352	737	OFICINA
11.03	76411	11/5/2024	16.3	78056	1645	737	AEROPUERTO

Fuente: base de datos proporcionada por la empresa correspondiente a Jujuy

Una vez obtenido los datos se pasó a realizar una limpieza de los mismos y posterior agrupamiento en base a los meses, obteniendo los siguientes resultados.

Figura 3: Agrupamiento de datos Jujuy y Tucumán.

Año	Mes	AEROPUERTO - JUJUY	OFICINA - JUJUY	AEROPUERTO - TUCUMAN	OFICINA - TUCUMAN
2022	Mayo	45	98	37	75
2022	Junio	48	66	45	60
2022	Julio	25	65	22	79
2022	Agosto	52	71	34	72
2022	Septiembre	51	62	49	68
2022	Octubre	70	66	41	79
2022	Noviembre	48	75	49	74
2022	Diciembre	41	67	24	77
2023	Enero	30	72	22	99
2023	Febrero	26	68	38	63
2023	Marzo	43	73	52	113
2023	Abril	57	64	76	99
2023	Mayo	65	61	67	81
2023	Junio	87	55	67	109
2023	Julio	39	37	47	97
2023	Agosto	55	47	51	85
2023	Septiembre	66	51	48	94
2023	Octubre	114	55	63	116
2023	Noviembre	133	54	59	97
2023	Diciembre	70	59	45	87
2024	Enero	59	57	27	134
2024	Febrero	69	51	28	90
2024	Marzo	100	32	73	90
2024	Abril	129	33	88	95
2024	Mayo	133	43	88	82

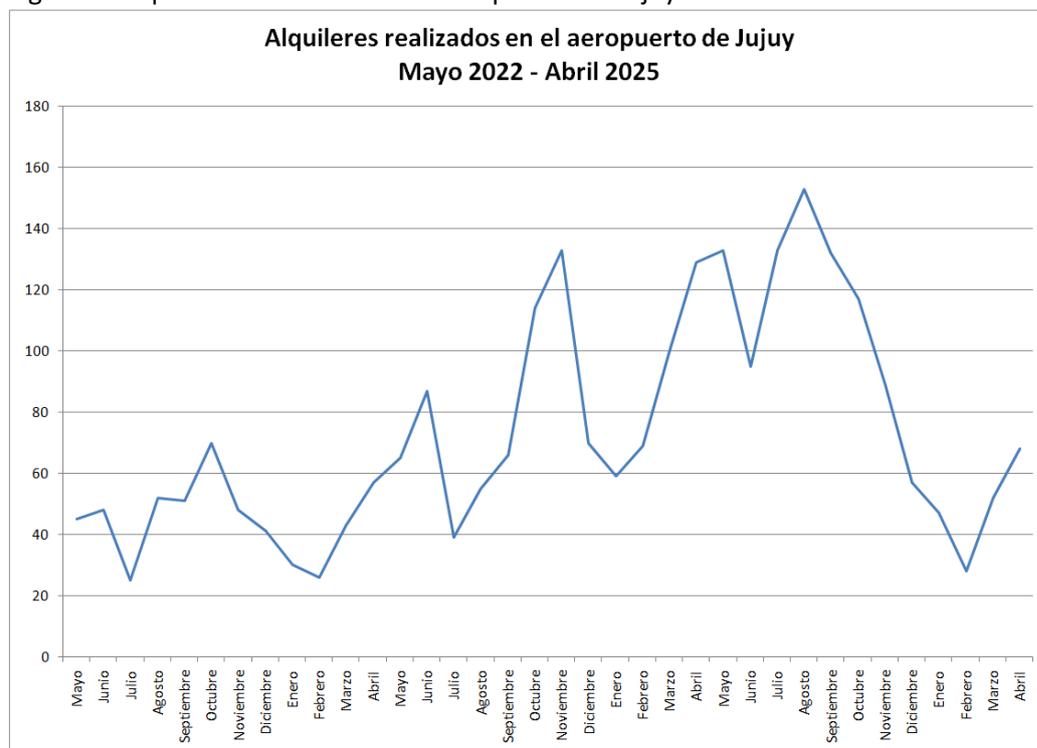


Fuente: Elaboración propia

Pronóstico

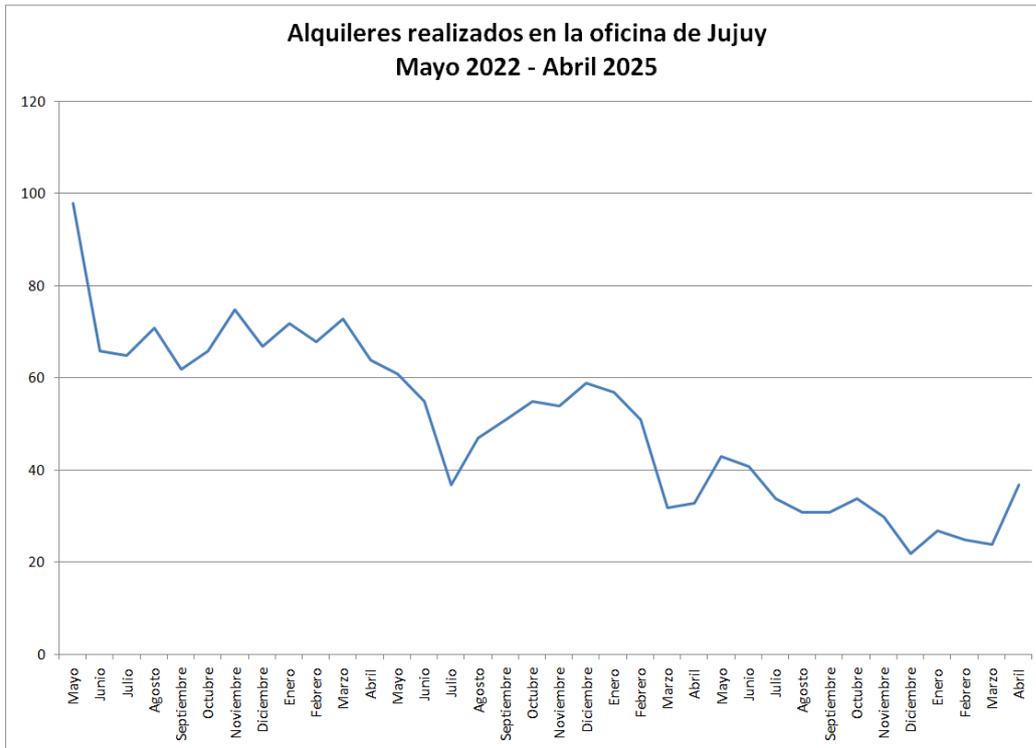
Previo a realizar el pronóstico de la demanda se realizaron gráficos de la demanda de cada sucursal para conocer el comportamiento de cada una de ellas y elegir el mejor método para realizar los pronósticos. Para ello se examinará si existen componentes de tendencia, estacionalidad, ciclo e irregularidad.

Figura 4: Alquileres realizados en el aeropuerto de Jujuy.



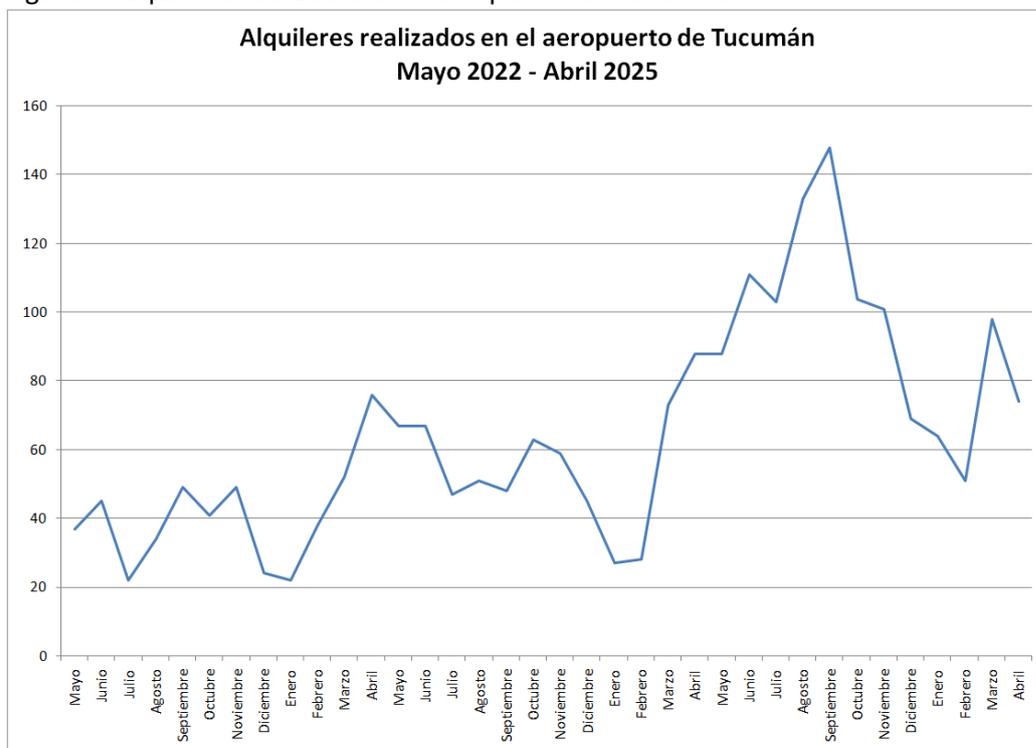
Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Alquileres realizados en la oficina de Jujuy.

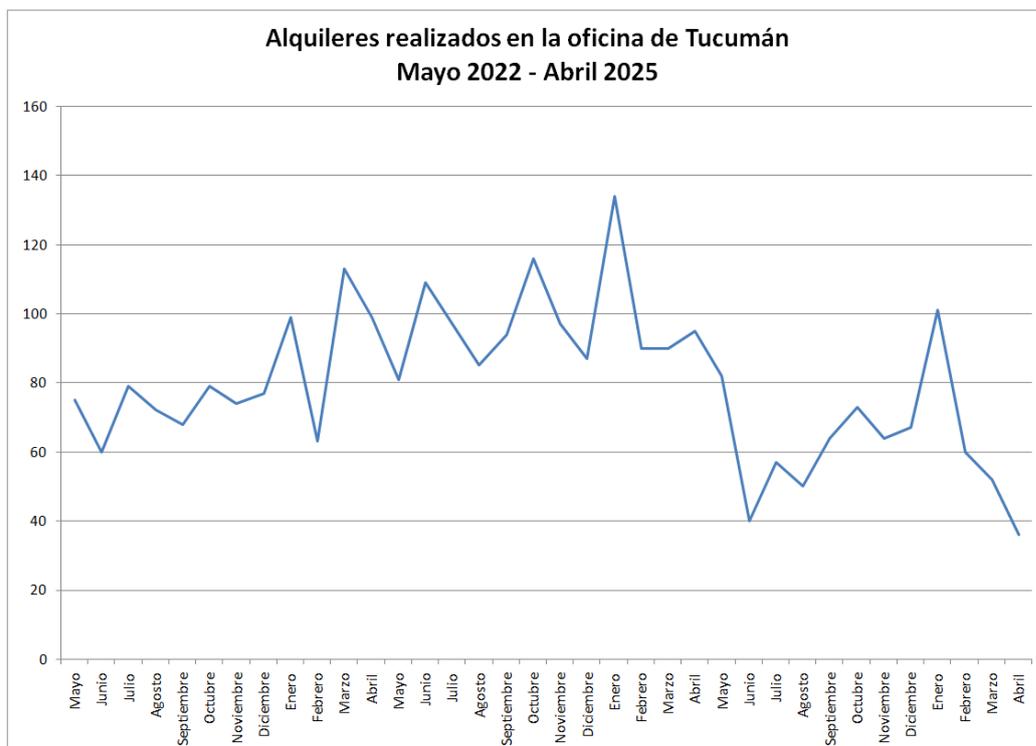


Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Alquileres realizados en el aeropuerto de Tucumán.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Para los alquileres realizados en el aeropuerto de Jujuy se observa que existe una cierta estacionalidad en los datos, pero no se observa un componente de tendencia por lo cual lo mejor es desarrollar un **Índice Estacional** y luego utilizarse un **Promedio Móvil Simple** o un **Promedio Móvil Ponderado**.

Utilizando el software **QM for Windows** se pasaron las 36 datos correspondientes a los alquileres de Mayo 2022 a Abril 2025, para luego obtener los índices estacionales y los correspondientes alquileres desestacionalizados.

Figura 7: Alquileres desestacionalizados aeropuerto Jujuy.

Año	Mes	AEROPUERTO - JUJUY	Indices Estacionales	Aquileres desestacionalizados
2022	Mayo	45	1.11	40.525
2022	Junio	48	1.051	45.67
2022	Julio	25	0.9	27.771
2022	Agosto	52	1.188	43.767
2022	Septiembre	51	1.138	44.821
2022	Octubre	70	1.375	50.891
2022	Noviembre	48	1.234	38.904
2022	Diciembre	41	0.768	53.406
2023	Enero	30	0.621	48.272
2023	Febrero	26	0.562	46.257
2023	Marzo	43	0.891	48.256
2023	Abril	57	1.161	49.108
2023	Mayo	65	1.11	58.536
2023	Junio	87	1.051	82.776
2023	Julio	20	0.9	22.222

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los alquileres desestacionalizados se utilizó un **Promedio Móvil Simple** y un **Promedio Móvil Ponderado**. Para el caso del Promedio Móvil Ponderado se utilizaron las siguientes ponderaciones: 3 para el mes más próximo, 2 para el siguiente y 1 para el último obteniendo los siguientes resultados.

Figura 8 : Promedio Móvil Simple

Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	1.284
MAD (Mean Absolute Deviation)	14.129
MSE (Mean Squared Error)	389.773
Standard Error (denom=n-2=31)	20.37
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	18.782%
Forecast	
next period	55.586

Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Promedio Móvil Ponderado

Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	1.173
MAD (Mean Absolute Deviation)	13.229
MSE (Mean Squared Error)	349.792
Standard Error (denom=n-2=31)	19.297
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	17.849%
Forecast	
next period	57.047

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados se comparará con la DMA (Desvío Medio Absoluto) o MAD en el software eligiendo la que sea menor, en este caso el Promedio Móvil Ponderado es quien tiene menor DMA por lo cual se elige este método para pronosticar el siguiente período:

- Mayo: 55,58567

Una vez obtenido este pronóstico se lo estacionaliza con el índice correspondiente al mes de Mayo que es de 1,11 para así obtener el pronóstico estacionalizado

- Mayo con estacionalidad: 61,70

Para los alquileres correspondientes a la oficina de Jujuy se observa que existe una cierta tendencia decreciente de los alquileres por lo cual lo mejor sería aproximarse a través de un **Regresión de Mínimos Cuadrados**.

Para esto se realiza un análisis de regresión utilizando la correspondiente herramienta de Excel obteniendo los siguiente resultados.

Figura 10: Análisis de regresión



Resumen									
<i>Estadísticas de la regresión</i>									
Coefficiente de correlación múltiple	0.901742913								
Coefficiente de determinación R ²	0.813140282								
R² ajustado	0.807644408								
Error típico	8.026028895								
Observaciones	36								
ANÁLISIS DE VARIANZA									
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>				
Regresión	1	9530.81725	9530.81725	147.954679	6.17959E-14				
Residuos	34	2190.18275	64.4171398						
Total	35	11721							
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>	
Intercepción	79.47619048	2.73207033	29.0900969	1.3124E-25	73.92395559	85.0284254	73.9239556	85.0284254	
Variable X 1	-1.566280566	0.12876719	-12.163662	6.1796E-14	-1.827966973	-1.3045942	-1.827967	-1.3045942	

Fuente: elaboración propia

Analizando los resultados tenemos un R² aproximadamente del 81% y un valor crítico de F menor al 0.05 por lo cual se puede decir que el modelo de regresión es apropiado y significativo para explicar los datos.

A partir de estos datos se obtiene la recta de regresión que tendrá la siguiente fórmula

$$y = -1566x + 79,47$$

De esta manera se pronostican los alquileres para los próximos períodos

- Mayo: 21,523
- Junio: 19,958
- Julio: 19,391

En cuanto a los alquileres realizados en el aeropuerto de Tucumán se observa que existe componentes de estacionalidad y una cierta tendencia creciente por lo cual el método a elegir sería el de **Descomposición**, el cual consiste en calcular un **Promedio Móvil Centrado**, para luego calcular los Índices Estacionales y tener los Alquileres Desestacionalizados

Figura 11: Alquileres desestacionalizados en aeropuerto de Tucumán



Año	Mes	AEROPUERTO - TUCUMAN	Promedio Móvil Centrado	Indices estacionales	Alquileres Desestacionalizados
2022	Mayo	37		1.174	31.524
2022	Junio	45		1.271	35.393
2022	Julio	22		1.009	21.814
2022	Agosto	34		1.193	28.489
2022	Septiembre	49		1.225	40.005
2022	Octubre	41		1.117	36.69
2022	Noviembre	49	42	1.109	44.186
2022	Diciembre	24	44.167	0.654	36.69
2023	Enero	22	46.125	0.453	48.59
2023	Febrero	38	47.875	0.601	63.28
2023	Marzo	52	48.542	1.014	51.293
2023	Abril	76	49.417	1.304	58.273
2023	Mayo	67	50.75	1.174	57.084
2023	Junio	67	52.042	1.271	52.697
2023	Julio	47	53.125	1.009	46.602
2023	Agosto	51	52.917	1.193	42.734
2023	Septiembre	48	53.375	1.225	39.188
2023	Octubre	63	54.75	1.117	56.377
2023	Noviembre	59	56.125	1.109	53.204
2023	Diciembre	45	58.833	0.654	68.793
2024	Enero	27	63	0.453	59.633
2024	Febrero	28	68.75	0.601	46.628
2024	Marzo	73	76.333	1.014	72.007

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los alquileres desestacionalizados será posible pronosticar los alquileres para los próximos períodos, los cuales se les deberá aplicar la estacionalidad para así tener los alquileres estacionalizados

Año	Mes	AEROPUERTO - TUCUMAN	Promedio Móvil Centrado	Indices estacionales	Alquileres Desestacionalizados	Pronostico	Alquileres estacionalizados
2025	Febrero	51		0.601	84.929	98.931	
2025	Marzo	98		1.014	96.667	101.148	
2025	Abril	74		1.304	56.74	103.365	
2025	Mayo			1.174		105.581	123.923
2025	Junio			1.271		107.798	137.057
2025	Julio			1.009		110.015	110.955

- Mayo: 123,923
- Junio: 137,057
- Julio: 110,955

Por último, para los alquileres realizados en la oficina de Tucumán se observa que existe una cierta estacionalidad en los datos, pero no se observa un componente de tendencia por lo cual lo mejor es desarrollar un **Índice Estacional** y luego utilizarse un **Promedio Móvil Simple** o un **Promedio Móvil Ponderado**.

Figura 12: Alquileres desestacionalizados en oficina de Tucumán



Año	Mes	OFICINA - TUCUMAN	Indices Estacionales	Alquileres desestacionalizados	
2022	Mayo		75	0,992	75,604
2022	Junio		60	0,871	68,876
2022	Julio		79	0,971	81,345
2022	Agosto		72	0,863	83,449
2022	Septiembre		68	0,942	72,187
2022	Octubre		79	1,117	70,722
2022	Noviembre		74	0,98	75,548
2022	Diciembre		77	0,963	79,972
2023	Enero		99	1,392	71,113
2023	Febrero		63	0,888	70,961
2023	Marzo		113	1,063	106,316
2023	Abril		99	0,959	103,269
2023	Mayo		81	0,992	81,652
2023	Junio		109	0,871	125,124
2023	Julio		97	0,971	99,879

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los alquileres desestacionalizados se utilizó un **Promedio Móvil Simple** y un **Promedio Móvil Ponderado**. Para el caso del Promedio Móvil Ponderado se utilizaron las siguientes ponderaciones: 3 para el mes más próximo, 2 para el siguiente y 1 para el último, en el cual arrojó que el Promedio Móvil Simple tiene menor MAD que el otro método, teniendo como pronóstico sin estacionalizar el siguiente valor para el mes de Mayo

- Mayo: 51,35266

Una vez obtenido el pronóstico se le aplica el índice de estacionalidad correspondiente al mes de Mayo que en este caso es de 0,992 por lo cual el pronóstico para el mes de Mayo con estacionalidad es el siguiente

- Mayo con estacionalidad: 50,9413

Programación Lineal

Con el objetivo de determinar la asignación óptima de vehículos a cada sucursal para el mes de mayo, se planteó un modelo de programación lineal entera pura. A continuación, se detalla su construcción paso a paso:

1. Variables de decisión

- X: cantidad de vehículos asignados al **aeropuerto de Tucumán**
- Y: cantidad de vehículos asignados a la **oficina de Tucumán**
- W: cantidad de vehículos asignados al **aeropuerto de Jujuy**
- Z: cantidad de vehículos asignados a la **oficina de Jujuy**



Estas variables representan la cantidad de autos destinados a cada sucursal, y deben tomar valores enteros positivos.

2. Función objetivo

Se busca minimizar la cantidad total de vehículos en uso operativo, es decir:

$$\text{Min } Z = X + Y + W + Z$$

Este planteo tiene como finalidad cubrir la demanda proyectada en cada punto de atención utilizando la menor cantidad de vehículos posible, promoviendo así una distribución eficiente de la flota entre las distintas sucursales.

3. Restricciones

Para determinar cuántos vehículos se necesitan para cubrir la demanda mensual de alquileres, se calculó un índice de rotación mensual, que indica cuántas veces en promedio un auto puede ser alquilado en el mes.

Este índice se obtiene mediante:

$$\frac{\text{Días del mes}}{\text{Promedio días de alquiler} + \text{Días de limpieza/mantenimiento}} = \text{índice de rotación}$$

Dado que mayo tiene 31 días y se consideraron 1 día de limpieza/mantenimiento por unidad alquilada, los índices resultaron:

Centro	Promedio días de alq	Dias de limpieza/mant	Índice de rotación
APO Tucuman	4	1	6,2
OFI Tucuman	4	1	6,2
APO Jujuy	5	1	5,2
OFI Jujuy	4	1	6,2

Según el pronóstico para mayo, se estimaron las siguientes demandas de alquiler por sucursal:



- Aeropuerto Tucumán: 124 alquileres
- Oficina Tucumán: 51 alquileres
- Aeropuerto Jujuy: 61 alquileres
- Oficina Jujuy: 22 alquileres

Restricciones del Modelo

R1 a R4: Restricciones de cobertura de demanda

Cada sucursal debe contar con suficientes vehículos para cubrir su demanda mensual, asegurando que cada sucursal tenga la capacidad de cubrir la demanda con la rotación real de su flota.

R1:	$6,2X \geq 124$		
R2:	$6,2X$	\geq	51
R3:	$5,2X$	\geq	124
R4:	$6,2X$	\geq	124

R5 y R6: Límite de vehículos por provincia

R5:	Tucumán	X	+	Y	\leq	38
R6:	Jujuy	W	+	Z	\leq	28

R7 y R8: Asignación mínima a aeropuertos (por política interna)

La empresa exige que cierta proporción de los vehículos de cada provincia se asignen al aeropuerto:

- En **Tucumán**, al menos el 60% de los autos deben ir al aeropuerto:

$$X \geq 0,6(x+y) \Rightarrow x - 0,6x - 0,6y \geq 0 \Rightarrow 0,4x - 0,6y \geq 0$$

- En **Jujuy**, al menos el 55% deben ir al aeropuerto:

$$w \geq 0,55(w+z) \Rightarrow 0,45w - 0,55z \geq 0$$

R9: Disponibilidad total de la flota

La empresa cuenta con 66 vehículos en total, pero sólo el 90% está disponible para alquilar (el 10% restante está en reparación o mantenimiento). Por lo tanto:

$$x+y+w+z \leq 59$$

Como los vehículos no pueden dividirse, las variables deben ser enteras y no negativas:

$$X, Y, W, Z \in Z^+ (\text{enteros positivos})$$



Una vez formulado y resuelto el modelo de programación lineal entera pura, se obtuvo una propuesta de asignación óptima de vehículos entre las distintas sucursales operativas de la empresa para el mes de mayo. La solución indica que es posible cubrir la demanda proyectada de alquileres utilizando un total de **45 vehículos**, distribuidos de la siguiente manera:

- **Aeropuerto de Tucumán:** 20 vehículos
- **Oficina de Tucumán:** 9 vehículos
- **Aeropuerto de Jujuy:** 12 vehículos
- **Oficina de Jujuy:** 4 vehículos

Recomendaciones

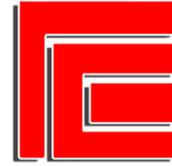
1. Asignación operativa sugerida para el próximo período
Según el modelo de programación lineal aplicado para el mes de mayo, se recomienda asignar la flota de la siguiente manera:

- Aeropuerto de Tucumán: 20 vehículos
- Oficina de Tucumán: 9 vehículos
- Aeropuerto de Jujuy: 12 vehículos
- Oficina de Jujuy: 4 vehículos

Esta distribución permite cubrir la demanda proyectada utilizando solo 45 de los 66 vehículos disponibles, manteniendo una reserva operativa útil.

2. Implementar estrategias para disminuir la capacidad ociosa
Dado que el 25% de la flota quedó sin uso operativo en el período analizado, se sugiere:

- Ofrecer promociones especiales o descuentos en las sedes con menor rotación (por ejemplo, la oficina de Jujuy).
- Implementar alianzas estratégicas con hoteles, agencias de turismo o eventos locales que incrementen el flujo de clientes en zonas de baja demanda.
- Incorporar servicios de entrega a domicilio o devolución en otra sede, como beneficio adicional para fomentar alquileres.
- Evaluar la relocalización temporal de parte de la flota hacia sedes con mayor proyección estacional.



- 3. Revisar la rotación de vehículos periódicamente**
Monitorear mensualmente el índice de rotación real por sucursal permitirá ajustar la planificación operativa y anticipar desvíos. Es recomendable establecer un sistema de alertas operativas cuando una unidad permanezca inactiva más de un umbral determinado (ej. 10 días).
- 4. Automatizar el análisis de demanda con pronósticos mensuales**
Establecer un flujo de trabajo automático de análisis de series temporales usando herramientas como Excel, Python y QM for Windows permitirá generar pronósticos para cada punto de alquiler, anticipando las necesidades reales de cada sede.
- 5. Evaluar ajustes estructurales de flota a mediano plazo**
Si se constata una persistencia de la capacidad ociosa en los próximos períodos, se sugiere analizar:
 - La posibilidad de vender o relocalizar vehículos.
 - Incorporar modelos de menor costo operativo para mitigar el impacto financiero de unidades no utilizadas.

Conclusiones

El uso de herramientas cuantitativas es clave para mejorar la toma de decisiones en la gestión de la flota de una empresa de alquiler de autos. El análisis de series temporales permitió pronosticar con precisión la demanda de cada sucursal, teniendo en cuenta factores estacionales y tendencias históricas. Por otro lado, la aplicación de un modelo de programación lineal entera, en función de los datos analizados, permitió optimizar la distribución de los vehículos, minimizando el número total de unidades necesarias y respetando tanto las restricciones operativas como las de políticas internas.

Una de las principales contribuciones del estudio fue evidenciar que es posible satisfacer la demanda proyectada utilizando 45 de los 60 vehículos disponibles, es decir, el 75% de la flota. Esto revela una capacidad ociosa del 25%, lo que representa una oportunidad estratégica para reorientar esos recursos hacia tareas de mantenimiento, cobertura ante picos imprevistos de demanda, o incluso evaluar una reducción de flota si dicha ociosidad se mantiene en el tiempo.

Además, la automatización del tratamiento de datos y el uso de herramientas como Excel, Python y QM for Windows facilitaron el análisis y aumentan la confiabilidad de los resultados.

Referencias

- Hernández Sampieri. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta edición. Editorial McGraw Hill.
- Render, Stair, Hanna. (2012). Métodos cuantitativos para los negocios. Undécima edición. Editorial Pearson



Apéndice

Figura 1: Visualización de limpieza de datos.

```

.rename(columns={'DIAS': 'DIAS_PROMEDIO'})

# 2) Cantidad de alquileres por agrupación
df_cantidad_alquileres = (
    df_clean
    .groupby(group_cols)
    .size()
    .reset_index(name='CANTIDAD_ALQUILERES')
)

# Mostrar resultados
print("=== Promedio de Días por Categoría / Mes / Año / Provincia / Lugar ===")
display(df_promedio_dias)

print("=== Cantidad de Alquileres por Categoría / Mes / Año / Provincia / Lugar ===")
display(df_cantidad_alquileres)
    
```

=== Promedio de Días por Categoría / Mes / Año / Provincia / Lugar ===

PROVINCIA	LUGAR SALIDA	AÑO_ALQUILER	MES_ALQUILER	CATEGORIA	DIAS_PROMEDIO	
0	JULIUV	APO	2021	12	C	4.666667
1	JULIUV	APO	2021	12	N	10.000000
2	JULIUV	APO	2022	1	B	4.000000
3	JULIUV	APO	2022	1	C	6.545455
4	JULIUV	APO	2022	1	D	6.812500
...	
1072	TUCUMAN	OFI	2025	4	E	3.000000
1073	TUCUMAN	OFI	2025	4	F	3.500000
1074	TUCUMAN	OFI	2025	4	I	2.000000
1075	TUCUMAN	OFI	2025	12	A	2.000000
1076	TUCUMAN	OFI	2025	12	F	3.000000

1077 rows x 6 columns

=== Cantidad de Alquileres por Categoría / Mes / Año / Provincia / Lugar ===

PROVINCIA	LUGAR SALIDA	AÑO_ALQUILER	MES_ALQUILER	CATEGORIA	CANTIDAD_ALQUILERES	
0	JULIUV	APO	2021	12	C	3
1	JULIUV	APO	2021	12	N	1
2	JULIUV	APO	2022	1	B	2
3	JULIUV	APO	2022	1	C	11
4	JULIUV	APO	2022	1	D	16
...	
1072	TUCUMAN	OFI	2025	4	E	1
1073	TUCUMAN	OFI	2025	4	F	2
1074	TUCUMAN	OFI	2025	4	I	1
1075	TUCUMAN	OFI	2025	12	A	1
1076	TUCUMAN	OFI	2025	12	F	1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 2: Resolución de la modelización mediante Excel

Columna1	APO Tucuman	OFI Tucuman	APO Jujuy	OFI Jujuy		Mes	Dias
Pronostico	124	51	61	22		Mayo	31
Promedio dias de alq	4	4	5	4			
Dias de limpieza/mant	1	1	1	1			
	x	y	w	z			
Variables de decision	20	9	12	4			
Coefficientes	1	1	1	1	45		
Restricciones							
R1	6,2				124	>=	124
R2		6,2			55,8	>=	51
R3			5,16666667		62	>=	61
R4				6,2	24,8	>=	22
R5	1	1			29	<=	38
R6			1	1	16	<=	28
R7	0,4	-0,6			2,6	>=	0
R8			0,45	-0,55	3,2	>=	0
R9	1	1	1	1	45	<=	59,4



Fuente:

Elaboración

Propia