

# Optimization of the use of support vehicles based on stochastic demand forecasts

De Santis Bermeo David, MSc<sup>1</sup>, Tigrero Carpio Darío, Ing.<sup>2</sup> and Calligana Chancay Roxanna, Ing.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador,  
dade@espol.edu.ec<sup>1</sup>, djtigrer@espol.edu.ec<sup>2</sup>, roxbcall@espol.edu.ec<sup>3</sup>

*Abstract– This paper seeks to propose a methodology that allows determining the optimal number of vehicles to hire, considering the following assumptions: stochastic demand, flexibility for vehicle contracting, homogeneous fleet of vehicles. The methodology is based on an analysis of qualitative and quantitative variables that represent the demand such as the number of clients to visit and the demand of each of these clients. We proposed the analysis using two approaches, one that took into account the days of the week and another that considers the date in calendar days. Based on this, a probability distribution model was found, which served us for the purification of the data. The selection of the best time series model was made, based on the predicted number of clients to visit. The clients were classified according to their demand and together with the forecast of the clients to visit, the number of vehicles that will be needed for each period was estimated. All this methodology is developed through a case study, where the savings generated are seen, comparing with the current situation.*

Keywords: Data cleaning, probabilistic models, demand forecasts, dimensioning of the fleet size.

Digital Object Identifier:  
ISSN, ISBN:

# Optimización del uso de vehículos de apoyo basados en pronósticos de demanda estocástica

De Santis Bermeo David, MSc<sup>1</sup>, Tigrero Carpio Darío, Ing.<sup>2</sup> and Calligana Chancay Roxanna, Ing.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador,  
dade@espol.edu.ec <sup>1</sup>, djtigrer@espol.edu.ec<sup>2</sup>, roxbcall@espol.edu.ec <sup>3</sup>

*Resumen— El presente trabajo busca proponer una metodología que permita determinar el número de óptimo de vehículos a contratar, considerando los siguientes supuestos: una demanda estocástica, flexibilidad para la contratación de vehículos, flota homogénea de vehículos, la metodología se basa en un análisis de las variables cualitativas y cuantitativas que representan a la demanda como lo son de la cantidad de clientes a visitar y la demanda de cada uno de estos clientes. Propusimos el análisis mediante el uso de dos enfoques, uno que tomaba en cuenta los días en la semana y otro que considera los días calendario. A partir de esto se encontró un modelo de distribución de probabilidad, que nos sirvió para la depuración de los datos, se realizó la selección del mejor modelo de serie de tiempo, con el cual pronosticó la cantidad de clientes a visitar. Se clasificó a los clientes en función de su demanda y junto con el pronóstico de los clientes a visitar se estimó la cantidad de vehículos que se necesitará para cada periodo de tiempo. Toda esta metodología se la desarrolla mediante un caso de estudio, donde puede observar el ahorro generado en comparación de la situación actual.*

Palabras Claves: Depuración de datos, modelos probabilísticos, pronósticos de la demanda, dimensionamiento del tamaño de flota.

Este paper está basado en el trabajo de titulación Determinación de vehículos de apoyo con demanda estocástica. Tigrero y Calligana (2021), debido a que utiliza la misma metodología, objetivos y datos presentados en la tesis original, y amplía el análisis y la discusión de los resultados obtenidos en la investigación. Además, es común que los autores de la tesis conviertan su trabajo en un artículo académico para difundir los resultados y contribuciones de su investigación a la comunidad científica.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el transporte está considerado como una de las actividades más relevante en la cadena de valor, pues afecta más del 50% de los costos logísticos de las organizaciones, pero, llegar a una adecuada gestión de transporte tiende a ser un desafío que posee un alto nivel de dificultad y gran parte de este reto se encuentra en el transporte de carga, área en que se encuentra el problema de asignación de transporte se analizó en este trabajo.

TRANSCAR.S. A, es una organización que está en alianza con un grupo de empresas dedicadas a la distribución de carga a nivel nacional en Ecuador, su matriz principal se encuentra ubicada en Guayaquil. En este grupo empresarial se unieron compañías de transporte que ofrecen servicios que se complementan entre sí al mismo. Específicamente la organización en la cual se desarrollará la presente investigación ofrece entre su gama de

servicios la administración de flotas, que brinda un servicio de transporte a varias empresas del Ecuador. Sin embargo, este trabajo se desarrollará con la flota destinada a atender a un cliente elite de su cartera de negocio.

Uno de los grandes retos de las grandes ciudades es el acceso de vehículos de gran tonelaje a ciertos sectores de la ciudad. Por otra parte, también suele suceder que, los transportes propios de la compañía no se abastecen para la demanda que está en crecimiento y algunas veces suele tener picos, que motiva a muchas compañías a subcontratar el servicio de entrega de última milla lo cual se denomina gestión de flota.

A pesar de que se subcontratan este servicio, la compañía no posee un sistema o una metodología de optimización de flota, que permitan la gestión de los vehículos subcontratados y en estos casos, el proveedor define cual será la ruta que deberán seguir sus camiones, sin considerar circunstancias externas como: Datos geográficos y demográficos, a pesar de saber que los clientes a visitar están ubicados en diferentes puntos de la ciudad de Guayaquil y la provincia del Guayas.

La empresa cuenta con vehículos de carga de ocho a diez toneladas para la distribución de los productos, sin embargo, por lo ya mencionado, se presenta un problema de accesibilidad por las dimensiones y el tonelaje de los vehículos y falta de equipamiento adecuado para visitar terrenos ~~completos~~ y zonas estrechas, es ahí donde se requiere de vehículos más livianos que normalmente son camionetas o minivans de carga.

Una de las restricciones municipales que se debe tener en consideración es: “El embarque y desembarque de productos y mercaderías en las calles con una alta afluencia en la ciudad, se aplica restricción de 10:00 a 17:00, si el largo del camión es mayor a 7,5 metros.” (El Universo, 2019). Por ello eventualmente se realiza un trasbordo en el cual se traspasa la mercadería desde el vehículo de carga pesada, hacia una flota de camionetas, el problema es que dichas camionetas no tienen una metodología de asignación óptima y eficiente, por lo que la planificación de entrega tiene complicaciones en cumplirse. La aleatoriedad de la demanda puede provocar circunstancias donde la capacidad de entrega contratada es mucho mayor la demanda de vehículos (subutilización), generando costos adicionales por subcontrataciones que podrían ser evitadas, y el caso contrario, donde la demanda de clientes excede a la capacidad del vehículo contratando y por lo tanto se da lugar a incumplimientos en la promesa de entrega

TRANSCAR S.A, que es como denominaremos a la empresa genera sus ganancias por mercadería entregada y si no es entregada entonces representará pérdidas para ambas compañías. Con ello mostramos que la problemática requiere de un análisis adecuado, el cual ayude a extraer información clave para las decisiones operacionales y tácticas como determinar el número óptimo de los vehículos auxiliares necesarios, para realizar la entrega de productos en zonas de difícil acceso. El estudio espera revelar métricas o parámetros que produzcan una mejora en la situación actual, y que las decisiones se basen en fundamentos matemáticos y estadísticos que sustenten a la opción elegida.

En el 2016 Zhang determinó el tamaño óptimo de la flota y estableció tarifas en los mercados emergentes de taxis con demanda estocástica. El autor desarrolla un marco de modelado que considera la demanda de taxis, el costo de operar un taxi y la disposición de los pasajeros a pagar por un viaje en taxi. Luego, el autor utiliza un enfoque basado en simulación para resolver el modelo y encontrar el tamaño de flota y la tarifa óptimos.

La solución de un modelo estocástico multiperíodo del tamaño de la flota de vagones de ferrocarril mediante la formulación de optimización en dos etapas de Sayarshad y Ghoseiri (2009) considera el problema de determinar el tamaño de flota óptimo para un sistema de vagones de ferrocarril con demanda estocástica. Los autores desarrollan un modelo de optimización estocástica de dos etapas que considera la demanda de vagones, el costo de operar un vagón y el costo de contratar vagones adicionales. Luego, los autores usan un algoritmo de ramificación y vinculación para resolver el modelo y encontrar el tamaño de flota óptimo.

Un enfoque basado en simulación para el diseño de flotas en un problema de despacho de técnicos con demanda estocástica de Corte, Gendreau, Leng y Weintraub (2007) considera el problema de determinar el tamaño de flota óptimo para un sistema de despacho de técnicos con demanda estocástica. Los autores desarrollan un enfoque basado en simulación que considera la demanda de técnicos, el costo de enviar a un técnico y el costo de esperar a que llegue un técnico. Luego, los autores utilizan el enfoque basado en la simulación para encontrar el tamaño óptimo de la flota.

Todos estos trabajos nos dieron una guía sobre el desarrollo de una metodología para determinar el tamaño óptimo de la flota para un sistema de transporte con demanda estocástica. Todos muestran que el tamaño óptimo de la flota es una función de la demanda esperada, la variación de la demanda y el costo de operación de un vehículo.

## 2. METODOLOGÍA

La esencia para encontrar una solución al problema ya identificado fue realizar pronósticos de la demanda, la cuál se va a basar en la estimación de la cantidad de clientes que se atienden por día para luego con el consumo histórico proyectar la demanda esperada. Cabe mencionar que la unidad de medida a utilizar al tratarse de bebidas de moderación serán los hectolitros. El análisis se basó en la información de la demanda de los clientes a atender de los dos meses previos a la fecha de realización del presente trabajo de investigación, enfocándonos en las variables:

- Cantidad de clientes atendidos por día
- Demanda generada por cada cliente

Todo esto representado a través de series de tiempo con una unidad de tiempo diaria.

Se escogieron estas variables debido a que el número de clientes que se logran atender con transportes auxiliares contratados tiene un impacto importante en los costos operativos y por supuesto una inadecuada gestión afecta la calidad de servicio. En esta sección se explica que herramientas, definiciones, áreas claves, datos, información y procesos que se utilizaron para el desarrollo la solución.

### Análisis de la base de datos

Previo al diseño de la solución se procedió hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de la base de datos proporcionada por la empresa, la cual fue depurada con la finalidad de cumplir con el objeto de encontrar información relevante que sea útil para el diseño de la solución y la ejecución de la solución.

### Modelos de distribución de probabilidad

El presente proyecto planteó dos diferentes enfoques con el objetivo de tener varios modelos, que me den un abanico de opciones para tener mejores opciones de encontrar un modelo probabilístico ajustado a la demanda estocástica, cumpliendo con el objetivo de hallar modelos que replique de manera muy aproximada el comportamiento de la demanda de Transcar S.A. A partir de la información se obtuvo una serie de tiempo la cual tuvo que ser depurada, eliminando los datos aberrantes; por su parte también fue necesario completar datos faltantes que no estaban registrados en la data proporcionada. Los datos faltantes fueron generados aleatoriamente, pero bajo el régimen de ocurrencia del modelo de distribución de probabilidades que explicaremos más adelante

### Series de tiempo

Para pronosticar la demanda, se revisaron varios modelos probabilísticos de serie de tiempo, mismos que tienen por objetivo generar un adecuado pronóstico de la demanda, los cuales fueron encontrados con funciones preprogramadas en el software R.

### Pronósticos de la demanda

Los modelos de probabilidad de la demanda fueron testeados por diferentes pruebas estadísticas como: el promedio de los errores y la suma de los errores para definir cuál es el modelo que tuvo más asertividad comparado con datos reales así como con los otros modelos propuestos.

## 2.1 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El planteamiento de la solución empieza con el pronóstico del número de clientes que se atiende cada día, con un periodo de revisión semanal, ya que un mismo cliente puede ser visitado en varias ocasiones la misma semana.

Esto nos permite plantear los parámetros del modelo de distribución de probabilidades de la demanda diaria de clientes y su comportamiento semanal. Luego se realizará la generación de pronósticos mediante series de tiempo.

Transcar S.A. proporcionó documentos sobre los viajes, fechas y vehículos asignados a las rutas de los meses: Septiembre y Octubre del 2021. Con esta se moldó los datos para obtener información útil, creando una nueva base de datos, pero esta última incluyo dos nuevos parámetros “Semana Día” y “Semana Num Día”. Esto nos dio pauta para analizar los datos en dos diferentes formas, dado que tenían enfoques distintos los cuales se explican a continuación:

### Enfoque I “Semana Día”

Se seccionó el mes en semanas, considerando cada lunes como una nueva semana y el sábado como el fin de cada periodo semanal, es decir en este desarrollo se analizará la semana, pero sin considerar el número correspondiente a ese día del mes, por ejemplo: El primer lunes del segundo mes en análisis fue lunes cuatro de octubre, en consecuencia, para el análisis, el primer periodo de ese mes inicia lunes, mas no el viernes primero de octubre.

### Enfoque II “Semana Num Día”

En este caso se dividió al mes en lapsos semanales, pero en este fue indiferente el día de la semana, se rigió en el número de días que tiene el mes, dividiendo los días de la siguiente forma:

- 1er periodo de uno al siete
- 2do periodo del ocho al quince
- 3er periodo del dieciséis al veintitrés
- 4to periodo del veinticuatro al treinta o treinta y uno.

## 2.2 MODELOS PROBABILÍSTICOS Y DEPURACIÓN DE LA DATA

La explicación de metodología utilizada para el desarrollo de los modelos probabilísticos, se lo realizará únicamente en el enfoque I, ya que el enfoque II utiliza la misma metodología, y en el enfoque II solo se comentará los principales resultados encontrados.

### Desarrollo enfoque I

Mediante tablas dinámicas se pudo visualizar cuantos pedidos por día y a la semana se atendieron, esto se logró a través del conteo de un código único de validación que se genera cuando se realiza la entrega a cada cliente.

En la tabla 2.1, se muestra cuantos de los clientes fueron visitados en cada día específico de la semana en el mes.

Tabla 2.1.  
RESUMEN DE CLIENTES VISITADOS POR DÍA.

Cuenta de Validar código	Mes		
SEMANA <sup>o</sup>	September	October	Total general
1	229		229
2	239		239
3	284		284
4	208	78	286
5		193	193
	Monday		
	Tuesday	28	28
	Wednesday	22	22
	Thursday	64	64
	Friday	56	56
	Saturday	23	23
6		242	242
7		247	247
8		294	294
<b>Total general</b>	<b>960</b>	<b>1054</b>	<b>2014</b>

### Modelo de distribución de probabilidad, enfoque I

Luego que se depuró la data, se procedió a encontrar modelos de distribución de probabilidades que se amolden al comportamiento de la demanda, para esto se dio uso del software R, el cual a través de la función “fitcon”, de la librería “riskDistributions”. Esta función analiza los datos ingresados y genera diferentes modelos de distribución para datos continuos, y muestra cuales son los que más se ajustan a los mismos.

En la figura 2.2, se puede apreciar el ajuste de los datos con diversos modelos

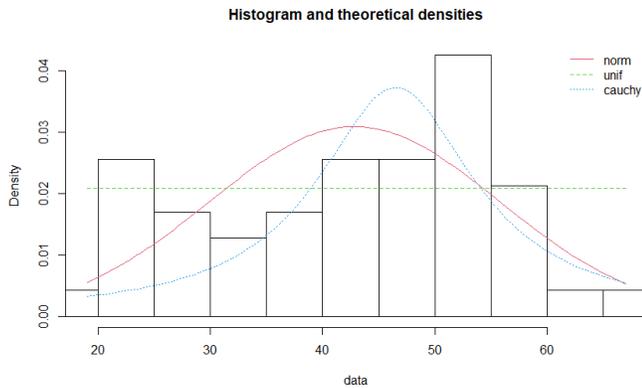


Fig. 2.2. Distribuciones de probabilidad que más se ajustan a los datos.

Para obtener el modelo que mejor se ajuste a la serie, se utilizó el test estadístico Goodness-of-fit comparando el AIC de ambos modelos, los cuales fueron 394.72 para la distribución normal y un 415.28 para la Cauch, por lo que se que los datos siguen una distribución normal con parámetros.

$$N(u = 42.85, \delta = 12.91).$$

### Depuración de los datos históricos, enfoque I

Debido a datos faltante y ante la posibilidad de datos aberrantes se procedió hacer una depuración mediante los criterios de límites superiores e inferiores obtenidos a partir de las fórmulas de rango intercuartílico.

Se calcularon límites superior e inferior para definir un rango aceptable de los datos a través del bloque de ecuaciones 2.1 y 2.2

$$L_s = Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1) \quad (2.1)$$

$$L_i = Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1) \quad (2.2)$$

Donde

$L_s$ : Límite superior

$L_i$ : Límite inferior

$Q_1$ : Cuartil 1

$Q_3$ : Cuartil 3

Las ecuaciones mostradas determinan el rango superior e inferior máximo para los datos en análisis, y todo dato fuera del mencionado rango será descartado.

Tabla 2.2.

DE PARÁMETROS CALCULADOS DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN NORMAL DEL ENFOQUE I

ESTADÍSTICOS DEL MODELO	
Q1	31
Q3	52,5
LQINF	-1,25
LQSUP	84,75
MEDIA	41,95833
DESV.EST	14,16857
IC95SUP	45,9255296
IC95INF	37,9911304

Luego de este proceso se realizó un algoritmo en Python, para depurar la data el cual solicita: el modelo de distribución de los datos con sus parámetros, la cantidad de números aleatorios que se necesita generar, para completar la serie, el rango del conjunto de datos. Este código, reemplaza los valores aberrantes por valores que se comporten acorde al modelo de distribución.

```
import numpy as np
k = int(input(print("Ingrese cuantos modelos de distribución necesita: ")))
for j in range(k):
    n = int(input(print("Ingrese cuantos numeros desea generar con la distribución", "j+1,": ")))
    print("Ingrese los parametros la distribución normal del numero")
    media = float(input("Media: "))
    desv = float(input("Desviación estandar: "))
    numero = numero = np.random.normal(media, desv, n)
    print(numero)
```

Fig. 2.2. Código que genera datos aleatorios.

Luego de ejecutar el código se obtuvo una serie de tiempo a partir de la cuál se van a generar los pronósticos.

### Desarrollo de Enfoque II

En este enfoque fue necesario completar la serie a través del modelo de probabilidad encontrado, ya que, aunque no hubo valores aberrantes si hubo faltantes para los primeros días del mes, es decir desde el 1 hasta el 5 de septiembre, pues la base de datos inicio un lunes 6. Lo descrito se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3.

RESUMEN DE VISITAS A CLIENTES POR SEMANA SEGÚN EL DÍA, SEMANAS 1 Y 2.

SEMANA	DIA	HISTORICO
1	01-sep	
	02-sep	
	03-sep	
	04-sep	
2	06-sep	27
	07-sep	44
	08-sep	45
	09-sep	47
	10-sep	43
	11-sep	23
	13-sep	24
	14-sep	46
	15-sep	43

La tabla 2.3 describe el conteo de los clientes por semana y por día bajo el enfoque II, como se puede observar existían datos faltantes, los cuales fueron completados a través de la función de probabilidad encontrada

### Modelo de distribución de probabilidad, enfoque 2

El modelo de probabilidad a utilizar será el mismo que el utilizado en el enfoque I, ya que el conjunto de datos es el mismo es decir la distribución a utilizar será:

$$N(u = 42.85, \delta = 12.91).$$

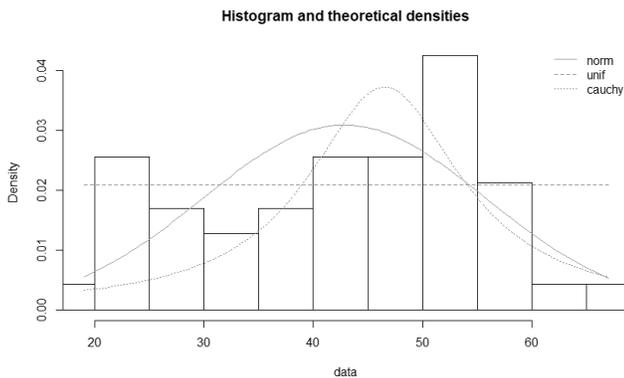


Fig. 2.3. Modelos de distribución para el enfoque 2 es el mismo que el Enfoque I.

### Depuración de los datos históricos, enfoque II

Como se mencionó anteriormente en este enfoque se tuvo varios valores faltantes y ningún aberrante, por eso se generaron a través del Python, los cuales se presentan en la tabla. 2.4

Tabla 2.4.  
DATA DEPURADA, ENFOQUE II, SEMANA 1

SEMANA	DIA	HISTORICO
1	01-sep	50
	02-sep	63
	03-sep	29
	04-sep	44
	06-sep	27
	07-sep	44

### 2.3 MODELOS DE SERIES DE TIEMPO

Mediante series de tiempo se generó pronósticos de la demanda a partir de los datos depurados como se indicó en el apartado previo. El proceso de selección del modelo de serie de tiempo se dividió en cuatro etapas:

1. Análisis de sensibilidad y comportamiento de la serie temporal.
2. Planteamiento de los parámetros para los modelos SARIMA.
3. Generación de pronósticos de los mejores modelos encontrados.
4. Evaluación de asertividad de los modelos.

#### Análisis de sensibilidad y comportamiento de la serie.

Para la selección del mejor modelo de pronóstico se consideró: la estacionariedad, estacionalidad, comportamiento gráfico y valores residuales. La gráfica 2.4, presenta las series temporal para los dos enfoques

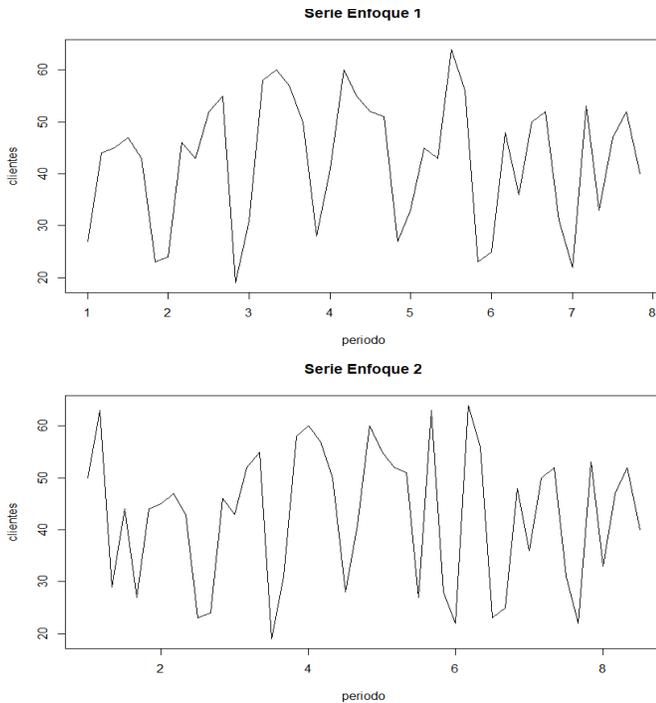


Figura 2.4. Gráfica de los datos de los dos enfoques.

Por el método de observación se puede inferir que modelos no tienen una tendencia clara por tener una media estable en términos generales, sin embargo, su varianza se mantiene, por lo que probablemente se trate de un modelo estacional, por ello se utilizó los modelos ARIMA (p, d, q).

En la figura 2.5 se confirma la estacionalidad de la serie, esta se la descompuso en tendencia, estacionalidad y aleatoriedad mediante el comando “decompose” de R

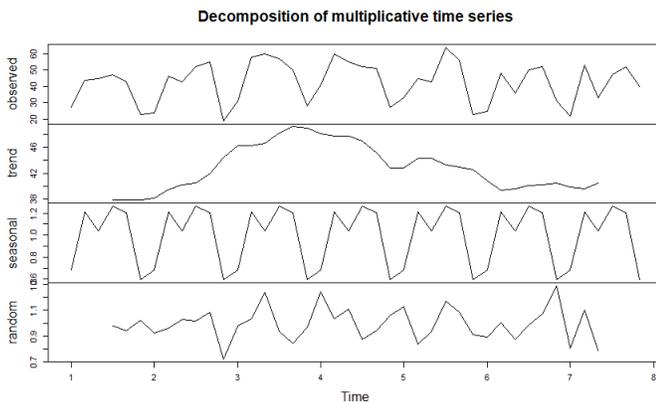


Figura 2.5. Gráfica los componentes de la serie, enfoque 1.

En la gráfica 2.5, se observa en el gráfico “Seasonal”, que la serie de temporal si tiene un comportamiento estacional, en cuyo caso el modelo podría ser un Sarima (p, d, q) (P, D, Q). Se tiene por consecuencia los parámetros (p, d, q), donde “p” representa los valores autorregresivos, “d” representa el número de diferenciaciones para que la serie de tiempo se convierta en estacionaria y “q” representa las medias móviles del modelo. Por otra parte (P, D, Q) son parámetros que definen la estacionalidad.

El parámetro de autorregresivos es establecido por el análisis de la autocorrelación parcial PACF, (No considera dependencia entre retardos) y el parámetro de medias móviles es fijado por el análisis de la autocorrelación simple ACF. (Villavicencio, 2011)

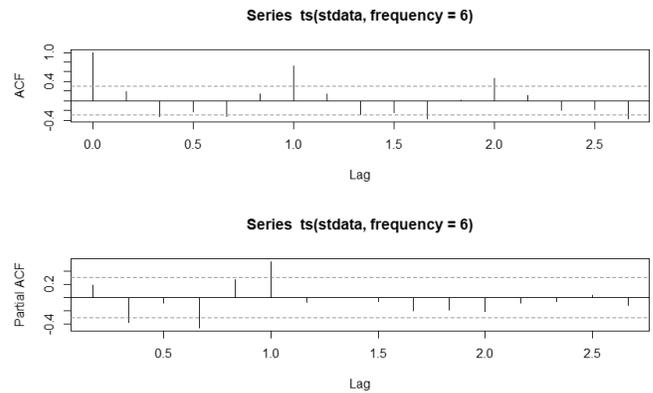


Fig. 2.6. Gráfica de las funciones ACF y PACF de la serie del enfoque 1.

En la figura 2.6 se puede observar que tres valores autorregresivos se encuentran fuera del rango en la función de autocorrelación parcial y cuatro medias móviles sobresalen en la función de autocorrelación. Según la teoría, se sugiere un modelo ARIMA (3, d, 4), donde el parámetro d se determinó utilizando la función "ndiffs ()" y la diferenciación estacional se definió como D=1. El modelo sugerido es ARIMA (3,0,4) (P,1, Q), y los valores sugeridos para P y Q se determinaron utilizando la función "autoarima ()", siendo P=0 y Q=1. Además, se realizó un tercer modelo utilizando un enfoque de prueba y error que resultó en el modelo ARIMA (3,0,4) (0,1,1).

## Generación de pronósticos

La generación de pronósticos se realizó con la finalidad de evaluar la efectividad de los modelos de series de tiempo y además poner a prueba los modelos probabilísticos encontrados. Para ello se utilizó la función "Forecast" de R, recordando que mientras más alejado sea el pronóstico, menos fiabilidad tiene por la naturaleza del método.

El proceso que se siguió fue realizar un pronóstico para la última semana de Octubre y comparar este pronóstico con los datos de número de clientes visitados durante esta semana de las serie, para así evaluar el pronóstico con los datos reales. Recordando que setiene dos enfoques y por cada enfoque se trabajó con a los 3 modelos de pronóstico. Los gráficos mostrados a continuación en las figuras 2.7, 2,8, muestran el comportamiento de los pronósticos generados.

### Enfoque I

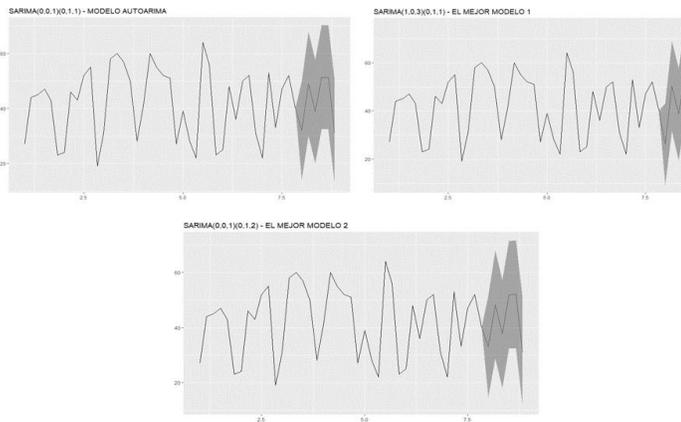


Fig. 2.7. Gráfica de los pronósticos de los mejores modelos del enfoque 1.

### Enfoque II

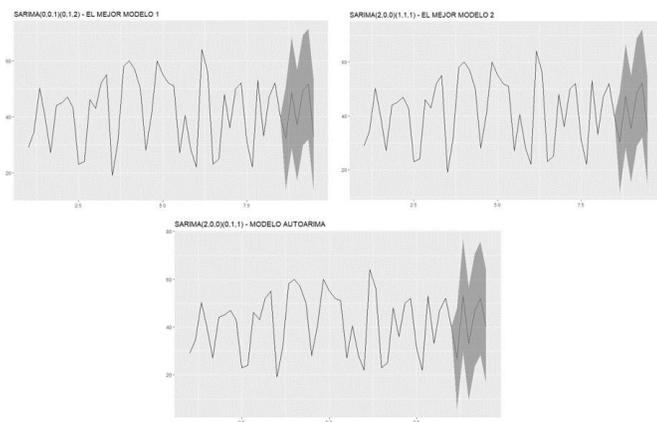


Fig. 2.8. Gráfica de los pronósticos de los mejores modelos del enfoque 2.

### Evaluación de su efectividad

La efectividad de los pronósticos se consideró evaluando la suma y el promedio de los errores con los datos reales, y se seleccionó el modelo con mejores resultados. Para el enfoque I, el modelo seleccionado fue el SARIMA (0,0,1) (0,1,1) con

270.96 y un BIC 275.70. Para el enfoque II, el mejor modelo encontrado fue SARIMA (0,0,1) (0,1,2) con un de AIC 302.46 y un BIC de 309.20

Tabla 2.5.

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS Y SUS ERRORES PARA EL ENFOQUE I

ENFOQUE I										
SEMANA	DIA	V_REAL	M1	EM1	MARG_EM1	EFFECTIVIDAD	M2	EM2	M3	EM3
8	25-Oct	36	32	4	10.23%	90%	30	6	27	9
	26-Oct	37	49	12	31.17%	131%	47	10	53	16
	27-Oct	54	37	17	31.44%	69%	35	19	33	21
	28-Oct	67	49	18	26.35%	74%	49	18	47	20
	29-Oct	55	52	3	6.18%	94%	52	3	52	3
	30-Oct	45	33	12	27.23%	73%	34	11	40	5
AIC		302.5					302.7		306.5	
BIC		309.2					311.2		309.9	
SUMA TOTAL ERRORES			65				67		74	
DESVIACION ABS MEDIA			10.9				11.2		12.4	
% DE ERROR MEDIO ABS			22.10%							

Tabla 2.6.

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS Y SUS ERRORES PARA EL ENFOQUE 2

ENFOQUE II											
	DIA	V_REAL	M1	EM1	M2	EM2	M3	EM3	MARG_EM3	EFFECTIVIDAD	
	lunes	36	26	10	32	4	33	3	8.08%	92%	
	martes	37	50	13	49	12	48	11	30.58%	131%	
	miercoles	54	39	15	39	15	38	16	30.37%	70%	
	jueves	67	56	11	51	16	52	15	22.59%	77%	
	viernes	55	48	7	51	4	52	3	5.33%	95%	
	sabado	45	30	15	31	14	31	14	31.19%	69%	
AIC		270.6				270.9		271.0			
BIC		280.1				277.3		275.7			
SUMA TOTAL ERRORES			71			64		63			
DESVIACION ABS MEDIA			11.8			10.7		10.5			
% DE ERROR MEDIO ABS								21.36%			

Finalmente, para el pronóstico del número de clientes a atender por día se trabajará con el enfoque I, ya que tiene un AIC y un BIC menor que el del enfoque II

### 2.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS

Se categorizó a los clientes en tres tipos, basado es el volumen promedio transportado, en hectolitros.. El rango de los datos fue de 15.84 y con una amplitud de 5.28. La tabla 2.7 muestra porcentaje de participación, así como el total de clientes y el consumo promedio por categoría, a partir de los cuales se calculó el promedio ponderado de hectolitros transportados por día.

Tabla 2.7.

TABLA DE CATEGORIZACIÓN DE CLIENTES

L_INFERIOR	L_SUPERIOR	FRECUENCIA	PORCENTAJE	CATEGORIA	PROMEDIO_VOL_DIARI O_CATEGORIA
0	5.28	2918	98.71%	Estándar	0.64
5.29	10.57	35	1.18%	Silver	6.75
10.58	15.86	3	0.10%	Premium	13.49

La clasificación de los clientes indicó que la mayoría se encuentran en la categoría "estándar", que abarca un rango de volumen de hectolitros entre 0 y 5.28, representando el 98.71% de la demanda total. Sin embargo, el promedio de hectolitros para esta categoría es de 0.64 hectolitros.

Para calcular el volumen promedio ponderado de hectolitros/día, se usó la siguiente fórmula:

$$VoT = \sum_{c \in Cat} V_c \cdot P_c \cdot X \quad (2.3)$$

Donde

VoT: Volumen total promedio diario

$V_c$ : Volumen diario promedio de consumo por clientes de categoría de c.

$P_c$ : Porcentaje de clientes en cada categoría c.

X: Número pronosticado de clientes por atender en el día de estudio

Después de calcular el volumen de consumo promedio diario transportado, se procedió a calcular el peso promedio diario transportado, teniendo en cuenta la densidad del objeto transportado es de 1010 kg/m<sup>3</sup>, utilizando la siguiente expresión:

$$PT = \rho \cdot VoT \quad (2.4)$$

Donde

PT: Es el peso promedio total transportado por día en m<sup>3</sup>

$\rho$ : La densidad del producto en kg/m<sup>3</sup>

Para usar la ecuación 2.4, se hizo una conversión en la unidad de medida de hectolitros a metros cúbicos, recordando que

$$1 \text{ Hl} = 0.1 \text{ m}^3$$

Con esta información, y considerando que la capacidad de carga de la flota de vehículos es de 1000 kg, determinamos el número total de viajes a realizar por día, utilizando la siguiente expresión:

$$VT = \frac{PT}{Cap} \quad (2.5)$$

Donde,

VT: Es el número total de viajes necesarios por día

Cap: La capacidad de carga de la flota de vehículos en kg

Finalmente, para determinar el número de vehículos necesarios para atender la demanda, considerando que la cantidad de viajes que puede realizar un vehículo por día (vd) es 3, utilizamos la siguiente expresión:

$$V = \frac{VT}{vd} \quad (2.6)$$

Donde

V: Es el número total de vehículos necesarios por día

vd: La cantidad de viajes que un vehículo puede hacer por día

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se mostrarán los resultados para el cálculo del número óptimo de vehículos a contratar y se realizará una comparación con la situación actual.

#### 3.1 CLIENTES Y VEHÍCULOS AUXILIARES

Considerando que la contratación de camionetas es diaria, se estimó que la demanda de transporte para los lunes, miércoles y sábado de la semana pronosticada se puede suplir con una sola camioneta, mientras que para los demás días se necesitan dos camionetas. Es importante señalar que la empresa suele utilizar dos o tres vehículos diariamente durante toda la semana. El gráfico 3.1 ilustra el número de vehículos pronosticado en el presente estudio.

Fig. 3.1. Gráfico de número de vehículos necesarios vs Hectolitros transportados.



#### 3.2 ANÁLISIS DE COSTOS

##### SITUACIÓN ACTUAL

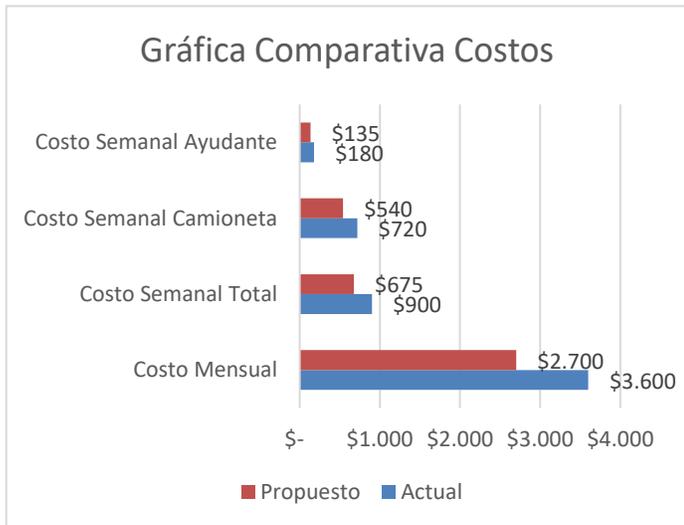
La empresa Transcar.S. A actualmente maneja diferentes rutas, sin embargo, cada ruta es cubierta por dos camionetas que generalmente son suficientes para suplir la demanda estocástica según detalla, las cuales tiene un costo de \$60 el día más \$15 para el, por lo que entonces el costo operativo de las camionetas es de \$150 diario y el costo operativo semanal, considerando seis días laborables es de \$900.

##### SITUACIÓN PROPUESTA

Mediante el pronóstico del número de vehículos auxiliares se determinó que algunos de los días de la semana no necesariamente requerían las dos camionetas para cubrir la demanda. Para el análisis se escogió a la semana 4 del mes de noviembre como referencia, donde se determinó que los días: 1, 3 y 6 solo requerían de un solo vehículo auxiliar lo cual tiene un impacto positivo en los costos, ya que 3 días de los 6 semanales

se pagaría la mitad tanto de alquiler de camioneta, como personal de apoyo. En valor monetario, el costo operativo semanal, incluyendo las mencionadas modificaciones en la contratación de los vehículos suman un valor total de \$675semanal.

Fig. 3.2. Gráfico comparativo de los costos de contratación de camionetas auxiliares



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### CONCLUSIONES

Si se toma como referencia la semana pronosticada y se realiza un cálculo de ahorros para la empresa se podría inferir que aproximadamente tendrían un ahorro \$900 mensuales.

La metodología de resolución aplicada en este proyecto puede usarse para que otras empresas con problemas de aplicación y asignación de transporte similares pueda tener bases técnicas y fundamentadas matemáticamente para optimizar sus modelos de negocios

Con la evaluación de los pronósticos se pudo determinar que enfoque más acertado fue el I

##### RECOMENDACIONES

Los modelos estocásticos y probabilísticos obtenidos, así como el cálculo del tamaño de flota, son una herramienta a tomar en cuenta para la contratación de vehículos auxiliares, sin embargo la decisión debe también considerar consideraciones

legales y de trabajo, así como información adicional no considerada en el presente trabajo de investigación.

#### REFERENCIAS

- Fontanelli, Oscar, Mansilla, Ricardo, & Miramontes, Pedro. (2020). Distribuciones de probabilidad en las ciencias de la complejidad: una perspectiva contemporánea. *Inter disciplina*, 8(22), 11-37. Epub 15 de enero de 2021. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2020.22.76416>
- Ortega, J. F. (2014). Dimensionamiento de las compañías de transporte de carga pesada Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8085/DIMENSIONAMIENTO%20DE%20LAS%20COMPA%C3%91%C3%8DAS%20DE%20TRANSPORTE%20DE%20CARGA%20PESADA%20EN%20EL%20ECUADOR..pdf?sequence=1>
- Phuc, P. N. K. (2022a). Stochastic programming for order allocation and production planning. *Computer Systems Science and Engineering*, 40(1), 75–85. <https://doi.org/10.32604/CSSE.2022.017793>
- Sayarshad, H. R., & Ghoseiri, K. (2009). Solving a multi periodic stochastic model of the rail-car fleet sizing by two-stage optimization formulation. *Applied Mathematical Modelling*, 34(5), 1164-1174. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.10.015>
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Triguero, Darío, and Roxana Calligana (2021). Determinación de vehículos de apoyo con demanda estocástica. Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Villavicencio, J. (2011). *Introducción a series de tiempo*.
- Zhang (2016). Optimal fleet size and fare setting in emerging taxi markets with stochastic demand. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31(1): 1-16