

# OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO EN CAMIONES DEL NORTE S.A.



## GRUPO 8

- Chehin, Tomás Augusto 43566657
- Correa, Rosario 44919017
- Del Frari, María Carolina 44372936
- García Barraza, Lautaro María 43706953
- Horrach Affaticati, María Solana 43639236
- Palumbo, Martina Rosario 43965847
- Roldán, María Laura 43771658
- Rojas Wdoviak, Alejo 42499793



---

**Índice:**

<b>Resumen</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	4
<b>Situación Problemática</b> .....	5
<b>Preguntas de Investigación</b> .....	6
<b>Objetivo General</b> .....	6
<b>Objetivos Específicos</b> .....	6
<b>Marco Metodológico</b> .....	7
<b>Marco Teórico</b> .....	7
<b>Programación Lineal</b> .....	9
<b>Pronóstico</b> .....	10
<b>Aplicación</b> .....	11
<b>Paso 1: Recolección y análisis de datos.</b> .....	11
<b>Paso 2: Pronóstico Demanda.</b> .....	13
<b>Paso 3: Programación lineal entera y continua.</b> .....	17
<b>Paso 4: Resultados.</b> .....	18
<b>Recomendaciones</b> .....	20
<b>Conclusiones</b> .....	21
<b>Referencias</b> .....	22
<b>Anexo</b> .....	23



[tomichehin@gmail.com](mailto:tomichehin@gmail.com) - [correarosariocorrea@gmail.com](mailto:correarosariocorrea@gmail.com) -

[mariacarolinadelfrari@gmail.com](mailto:mariacarolinadelfrari@gmail.com) - [lautaromariagarcia@gmail.com](mailto:lautaromariagarcia@gmail.com) -

[solanahorrach@gmail.com](mailto:solanahorrach@gmail.com) - [mrpalumbo21@gmail.com](mailto:mrpalumbo21@gmail.com) - [roldanlaura7@gmail.com](mailto:roldanlaura7@gmail.com) -

[alejorojasw@gmail.com](mailto:alejorojasw@gmail.com)

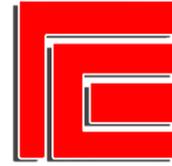
## **Resumen**

El presente trabajo se desarrolla en Camiones del Norte S.A., un concesionario de camiones con presencia en Tucumán, Salta y Jujuy, dedicado a la venta de unidades nuevas y usadas, así como a la prestación de servicios postventa, repuestos y asistencia técnica. La empresa atiende principalmente a empresas del rubro transporte, logística, construcción y agroindustria, y centraliza sus operaciones estratégicas desde la ciudad de San Miguel de Tucumán.

El análisis realizado en este trabajo de investigación se enfoca en el área de servicios, donde se identificaron desafíos relacionados con la organización de las tareas del taller y la previsión de la demanda de los distintos tipos de servicios. Ante esta situación, se propone aplicar herramientas de análisis cuantitativo con el fin de optimizar la asignación de recursos y mejorar la planificación operativa.

En particular, se utilizarán técnicas de pronóstico de demanda para estimar la cantidad de servicios requeridos, y programación lineal para modelar la asignación óptima de recursos del taller en función de la capacidad disponible y las necesidades operativas. El estudio se desarrollará a partir del análisis de una base de datos provista por la empresa, que contiene los ingresos al taller durante el año 2025.

Los resultados muestran que es posible optimizar la asignación de servicios sin agotar completamente los recursos disponibles, y que herramientas cuantitativas como las



utilizadas en este estudio son fundamentales para mejorar la toma de decisiones operativas en contextos con recursos limitados y demanda variable.

**Palabras clave:** programación lineal – pronóstico – análisis cuantitativo

## **Introducción**

En el entorno empresarial actual, las organizaciones enfrentan una creciente presión por optimizar sus procesos operativos para responder con agilidad a un mercado cada vez más dinámico y competitivo. En este contexto, detrás del movimiento de herramientas, diagnósticos y entregas, existe un factor silencioso pero determinante: la planificación. La organización eficiente de los recursos y la correcta anticipación de la demanda se han convertido en factores clave para sostener la productividad, minimizar costos y garantizar un servicio de calidad. La imprevisibilidad en la llegada de solicitudes, sumada a la limitada disponibilidad de recursos, plantea desafíos significativos para muchas empresas del sector servicios.

Particularmente en el rubro del transporte y mantenimiento de vehículos pesados, donde las tareas suelen requerir alta especialización técnica, tiempos variables y disponibilidad de repuestos, la necesidad de una gestión planificada es aún más crítica.

En este marco, el presente trabajo se enfoca en Camiones del Norte S.A., un concesionario con operaciones en Tucumán, Salta y Jujuy, que se dedica a la venta de unidades nuevas y usadas, así como a la provisión de servicios postventa, repuestos y asistencia técnica. En particular, se analiza el área de servicios de taller, donde actualmente las tareas se planifican de manera improvisada, sin herramientas sistemáticas que permitan anticipar la demanda ni organizar eficientemente la asignación diaria de trabajos.



Frente a esta situación, se propone aplicar técnicas de pronóstico de demanda y programación lineal entera con el objetivo de mejorar la planificación operativa y optimizar la asignación de recursos del taller, alineando las decisiones cotidianas con una gestión más estratégica y basada en datos.

Cada mañana, cientos de talleres mecánicos abren sus puertas con la esperanza de cumplir con una jornada eficiente, sin imprevistos ni cuellos de botella. Sin embargo, detrás del movimiento de herramientas, diagnósticos y entregas, existe un factor silencioso pero determinante: la planificación. Cuando la demanda es incierta y los recursos son limitados, incluso un pequeño desajuste puede generar retrasos, pérdidas económicas y clientes insatisfechos. En un entorno donde el tiempo es dinero y la eficiencia marca la diferencia, contar con herramientas que permitan anticipar, organizar y decidir con precisión se convierte en una necesidad estratégica.

### **Situación problemática**

El área de servicios del concesionario **Camiones del Norte S.A.** organiza y planifica las tareas del taller de manera improvisada. La demanda de los distintos tipos de servicios llega de forma aleatoria, lo que dificulta anticipar cuántos trabajos se realizarán y qué recursos serán necesarios cada día.

Esta falta de información influye en la asignación de personal, el uso del tiempo y la coordinación general de las actividades del área. Por eso, se considera necesario analizar alternativas que permitan mejorar la organización del trabajo, a partir de una planificación que tenga en cuenta la demanda esperada y las capacidades disponibles del taller, en función de las condiciones y restricciones propias del área.



### **Preguntas de investigación**

- ¿De qué manera la aplicación de técnicas de pronóstico basadas en datos históricos permite estimar con precisión la demanda futura de los distintos servicios del taller?
- ¿Cómo puede un modelo de programación lineal discreta mejorar la asignación de recursos en el taller, considerando sus restricciones operativas y prioridades actuales?
- ¿Qué estrategias de mejora pueden implementarse en la gestión del área de servicios a partir del análisis de la demanda proyectada y los resultados del modelo de optimización?

### **Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de mejora para la organización del área de servicios del taller de Camiones del Norte S.A., mediante la aplicación de herramientas de pronóstico de demanda y programación lineal entera, con el fin de optimizar la planificación operativa y la asignación de recursos.

### **Objetivos específicos**

- Estimar la demanda futura de los servicios del taller mediante técnicas de pronóstico basadas en datos históricos, para mejorar la planificación operativa.
- Desarrollar un modelo de programación lineal entera y continua que optimice la asignación de recursos, considerando restricciones y prioridades, y validarlo mediante simulaciones.



- Evaluar la relación entre la demanda proyectada y los resultados del modelo de optimización, con el fin de identificar oportunidades de mejora en la gestión del área de servicios.

### **Marco metodológico**

Este estudio utilizará un **enfoque cuantitativo** de diseño no experimental de corte transversal con alcance descriptivo-explicativo, ya que se trabajará con datos numéricos proporcionados por la empresa, durante el periodo 12 meses. Como técnicas de recolección se hará uso de:

- ▶ Datos secundarios (bases de datos suministradas por la empresa bajo análisis).
- ▶ Herramientas de Análisis Cuantitativo de Negocios I: **Programación lineal entera y continua**, además de **Pronóstico**.

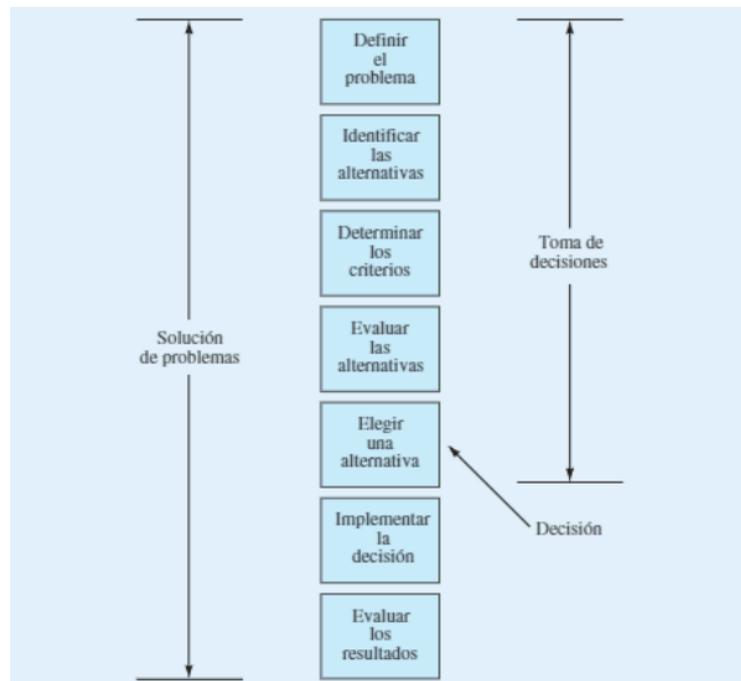
### **Marco teórico**

Análisis cuantitativo y toma de decisiones: Anderson, David R., Sweeney, Williams, Camm y Martin (2011) afirman que el análisis cualitativo se basa principalmente en el juicio y la experiencia del gerente; incluye la “intuición” del administrador respecto al problema y es más un arte que una ciencia. Si el administrador ha tenido experiencia con problemas parecidos, o si el problema es relativamente sencillo, puede hacer mucho énfasis en el análisis cualitativo.

Sin embargo, si el gerente tiene poca experiencia con problemas parecidos, o si el problema es muy complejo, entonces el análisis cuantitativo del problema puede ser una consideración especialmente importante en la decisión final del gerente. Cuando se utiliza el enfoque cuantitativo, el analista se concentrará en los hechos cuantitativos o datos asociados con el problema y desarrollará expresiones matemáticas que describen

los objetivos, restricciones y otras relaciones que existen en el problema. Por lo tanto, al utilizar uno o más métodos cuantitativos, el analista hará una recomendación con base en los aspectos cuantitativos del problema, lo que permitirá aumentar la efectividad de la toma de decisiones al aprender más sobre la metodología cuantitativa y comprender mejor su contribución al proceso de toma de decisiones.

**Figura n° 1: Relación entre la solución de problemas y la toma de decisiones**



**Fuente: Métodos cuantitativos para los negocios, 11va Ed. Render**

El enfoque del análisis cuantitativo consiste en definir un problema, desarrollar un modelo, obtener los datos de entrada, desarrollar una solución, probar la solución, analizar los resultados e implementarlos (Render, Stair, Hanna, 2013). A continuación se describirán las herramientas a utilizar en el presente trabajo:

- Programación lineal
- Pronósticos



## **Programación lineal**

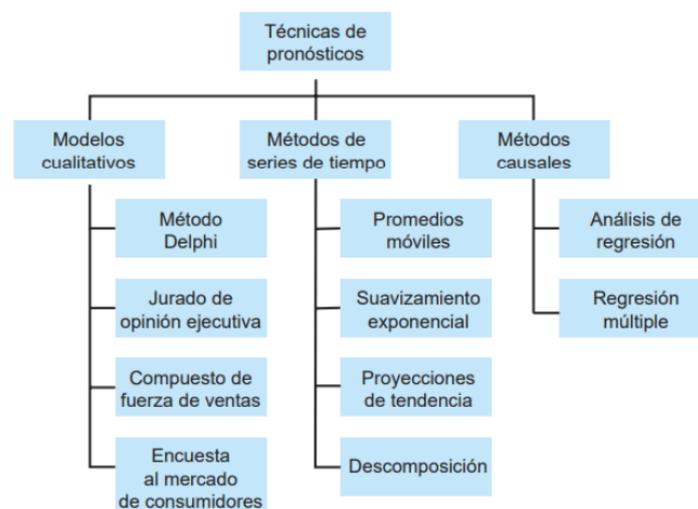
Render, Stair y Hanna (2013) describen a la programación lineal (PL) como una técnica de modelado matemático ampliamente utilizada, que está diseñada para ayudar a los gerentes en la planeación y toma de decisiones respecto a la asignación de recursos. Todos los problemas buscan maximizar o minimizar alguna cantidad, por lo general la utilidad o el costo. Nos referimos a esta propiedad como la función objetivo de un problema de PL. La segunda propiedad que los problemas de PL tienen en común es la presencia de limitaciones o restricciones, que acotan el grado en que se puede alcanzar el objetivo. Se deben expresar en términos de ecuaciones o desigualdades lineales. Las relaciones matemáticas lineales tan solo significan que todos los términos utilizados en la función objetivo y en las restricciones son de primer grado (es decir, no se elevan al cuadrado, al cubo o a una potencia mayor, ni se presentan más de una vez). La tercera propiedad tiene que ver con que deben existir cursos de acción alternativos para elegir. Se supone que existen condiciones de certeza, es decir, se conocen con certeza el número en el objetivo y en las restricciones, y no cambia durante el periodo de estudio. Se hace la suposición de divisibilidad: las soluciones no necesitan ser números enteros. Por el contrario, son divisibles y quizá tomen cualquier valor fraccionario. Sin embargo, en otros tipos de problemas, los valores fraccionarios no tienen sentido. Si una fracción de un producto no se puede comprar (digamos, un tercio de un submarino), existe un problema de programación entera. Por último, se supone que todas las respuestas o las variables son no negativas. Los valores negativos de las cantidades físicas son imposibles, pues sencillamente no se puede fabricar un número negativo de sillas, camisas, lámparas o computadoras. Los pasos en la formulación de un programa lineal son los siguientes:

1. Entender cabalmente el problema administrativo que se enfrenta.
2. Identificar el objetivo y las restricciones.
3. Definir las variables de decisión.
4. Utilizar las variables de decisión para escribir expresiones matemáticas de la función objetivo y de las restricciones.

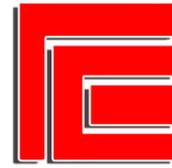
### Pronóstico

Un aspecto esencial de la administración de cualquier organización es la planeación del futuro. En efecto, el éxito a largo plazo de una organización depende de cuán bien la gerencia anticipa el futuro y elabora las estrategias apropiadas. El buen juicio, la intuición y tener conciencia del estado de la economía pueden dar a un gerente una idea aproximada o “intuición” de lo que es probable que suceda en el futuro. Sin embargo, con frecuencia es difícil convertir esta intuición en un número que pueda usarse, como el volumen de ventas del siguiente trimestre o el costo de la materia prima por unidad para el año próximo (Render, Stair y Hanna, 2013). Los métodos de elaboración de pronósticos se clasifican como cuantitativos o cualitativos:

**Figura n° 2: Modelos de pronósticos.**



**Fuente: Render, Stair y Hanna (2013, pág. 115).**



En el presente trabajo se aplicarán métodos cuantitativos de series de tiempo.

- Descomposición multiplicativa
- Suavizamiento exponencial

### **Aplicación**

Los servicios que se tendrán en cuenta para la aplicación de las herramientas de pronósticos y programación lineal serán los siguientes:

**S:** mantenimiento realizado a los 60.000 km. Cuenta con filtro de combustible, trampa de agua, engrase, filtro de habitáculo, cambio de aceite de motor y filtro de aceite de motor.

**X:** mantenimiento realizado a los 90.000 km. Cuenta con filtro de combustible, trampa de agua, engrase, filtro de habitáculo.

**M:** mantenimiento realizado a los 120.000 kilómetros. Contiene filtro de combustible, trampa de agua, engrase, filtro de habitáculo, cambio de aceite de motor y filtro - prefiltro de urea.

**L:** mantenimiento realizado a los 240.000 km. Cuenta con filtro de combustible, trampa de agua, engrase, filtro de habitáculo, cambio de aceite de motor, filtro de aceite de motor, filtro y prefiltro de urea, aceite y filtro de retarder, aceite y filtro de caja de cambios, aceite y filtro de diferencial, filtro secador de válvula APS, filtro de dirección hidráulica, filtro de aire de motor y parafiltro, regulación de válvulas e inyectores.

Los pasos a seguir serán los desarrollados a continuación:

**Paso 1: Recolección y análisis de datos.** La empresa nos proporcionó el siguiente registro de servicios realizados durante el periodo mayo 2024 y mayo 2025.



**Tabla N°1: Registro de servicios período mayo 2024/2025**

Personal/ Client	Dominio	Cliente/ Nombre/ Descrip	Fecha Ingreso	Hora Ing	Obs. Ingreso	Tipo de Mantenimiento
Camion / Bus	AC-782-QL	CASTRO AUGUSTO	6/5/2024	09:35:00	Balut S.A (SERVI)	S
Cliente Particular	AC-873-ZZ	FLORES ABRIL	6/5/2024	09:52:00	Hormeco SRL (SERVI)	X
Proveedor Extern	AG-440-SP	ORTIZ JOAQUIN	6/5/2024	14:12:00	Rosso Hnos SRL (Servi)	S
Cliente Particular	AC-221-TY	FERNÁNDEZ JOAQUIN	6/5/2024	16:56:00	Transporte Reinoso (Mantenimiento)	S
Proveedor Extern	AA-180-CE	FLORES HERNAN	7/5/2024	11:25:00	TUCUMANITO (SERVI)	S
Proveedor Extern	AD-649-HF	SILVA MARCELO	7/5/2024	13:41:00	REVISION COMPLETA	S
Camion / Bus	AB-437-WC	ALVAREZ OMAR	7/5/2024	15:43:00	Luis A. Carrizo (SERVI)	X
Camion / Bus	AC-708-YE	ORTIZ ALEXIS	7/5/2024	16:48:00	MICRO DE GIRA (SERVI)	S
Camion / Bus	AF-216-SO	MEDINA RAMIRO	8/5/2024	08:33:00	Balut S.A (SERVI)	S
Proveedor Extern	AA-227-UG	GONZÁLEZ PEDRO	8/5/2024	10:47:00	MICRO DE GIRA (SERVI)	X
Proveedor Extern	AB-520-CD	RAMÍREZ PEDRO	8/5/2024	11:52:00	INGRESO URGENTE	S
Proveedor Extern	AG-848-RW	FLORES JAVIER	8/5/2024	14:25:00	INGRESO URGENTE	S
Proveedor Extern	AD-331-AW	DÍAZ SEBASTIAN	9/5/2024	08:08:00	TS OASIS (Mantenimiento programado)	X
Cliente Particular	AA-356-QM	ACOSTA JULIO	9/5/2024	08:38:00	Micros de gira (SERVI)	S
Proveedor Extern	AG-351-CL	HERRERA AUGUSTO	9/5/2024	15:09:00	Operadores Turísticos (Mantenimiento)	S
Proveedor Extern	AC-840-VF	RUIZ GERONIMO	9/5/2024	16:06:00	Luis A. Carrizo (SERVI)	S
Camion / Bus	AB-245-UI	ROJAS BELEN	9/5/2024	16:30:00	Hormeco SRL (SERVI)	X
Cliente Particular	AF-410-TU	ACOSTA JOAQUIN	10/5/2024	08:09:00	INGRESO URGENTE	S
Proveedor Extern	AG-269-AQ	PÉREZ PEDRO	10/5/2024	09:20:00	Transporte Villagra (SERVI)	S
Proveedor Extern	AB-818-EA	DÍAZ LAUTARO	10/5/2024	10:15:00	Operadores Turísticos (SERVI)	X

**Fuente: empresa Camiones del Norte S.A**

Mediante un proceso de limpieza de datos, se obtuvo la siguiente información relevante para el análisis; se procedió a agruparlos de acuerdo al tipo de servicio para poder extraer la cantidad de los mismos por semana, obteniendo 52 semanas para analizar.

**Tabla N° 2: Servicios realizados por semana en el periodo 2024/2025**

	A	B	C	D	E
1	Semana	L	M	S	X
2	1	8	3	25	12
3	2	9	4	17	13
4	3	5	6	15	7
5	4	7	7	17	12
6	5	8	2	18	8
7	6	9	3	13	8
8	7	6	9	14	6
9	8	8	8	15	1
10	9	9	4	25	7
11	10	4	6	13	2
12	11	8	9	23	8
13	12	10	8	17	6
14	13	4	2	21	7
15	14	8	5	19	13
16	15	9	6	12	6
17	16	6	9	11	15
18	17	8	2	20	9
19	18	6	8	14	7
20	19	4	5	15	6

**Fuente: elaboración propia.**

Luego se calculó la utilidad obtenida por servicio, a partir de los datos de ingreso por servicio y costo que nos proporcionó la empresa.



**Tabla n° 3: Utilidad por servicio**

Servicio	Ingreso (USD)	Costo variable (USD)	Utilidad por servicio (USD)
S (60 km)	400	180	220
X (90 km)	850	300	550
M (120 km)	1.300	500	800
L (240 km)	1.600	600	1.000

**Fuente: elaboración propia**

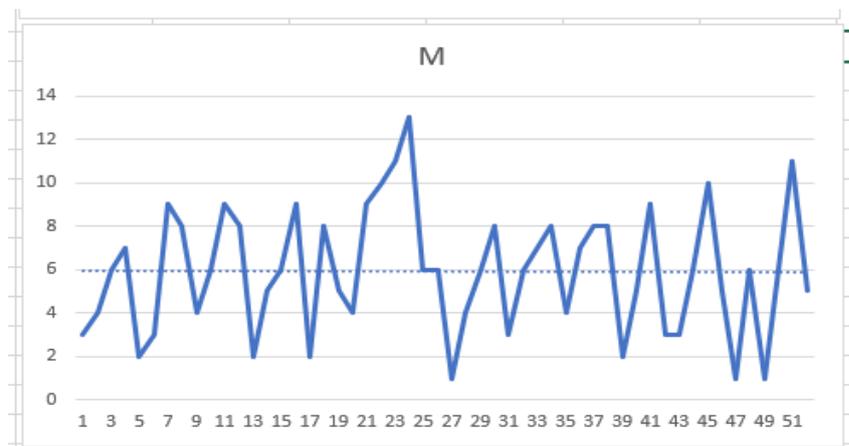
**Paso 2: Pronóstico demanda.** Previo a desarrollar la programación lineal se prosiguió con el pronóstico de la demanda de los distintos servicios. Todos los pronósticos fueron realizados con la herramienta QM, un software de apoyo para resolver problemas de investigación operativa. Cuando se graficó la serie, en un primer momento observamos que no presentaba evidencia de una estacionalidad marcada de forma visual. Para eso se optó por complementar el análisis mediante un gráfico de caja y bigotes por semana/servicio. Esta herramienta permitió explorar con mayor profundidad la distribución de los valores a lo largo del tiempo, identificando diferencias en la dispersión, valores atípicos y variaciones en la mediana según los distintos periodos analizados.

El box plot resultó útil para detectar patrones sutiles y posibles indicios de estacionalidad débil o intermitente que no se percibían directamente en la visualización de la serie. Además, facilitó la comparación entre semanas, permitiendo observar cómo varía la demanda de servicios no solo en promedio, sino también en términos de variabilidad e irregularidades.

Por lo tanto, su inclusión en el análisis se justifica como una herramienta complementaria de diagnóstico que nos permite ver con mayor claridad el comportamiento de la serie y respalda decisiones de pronóstico más robustas.

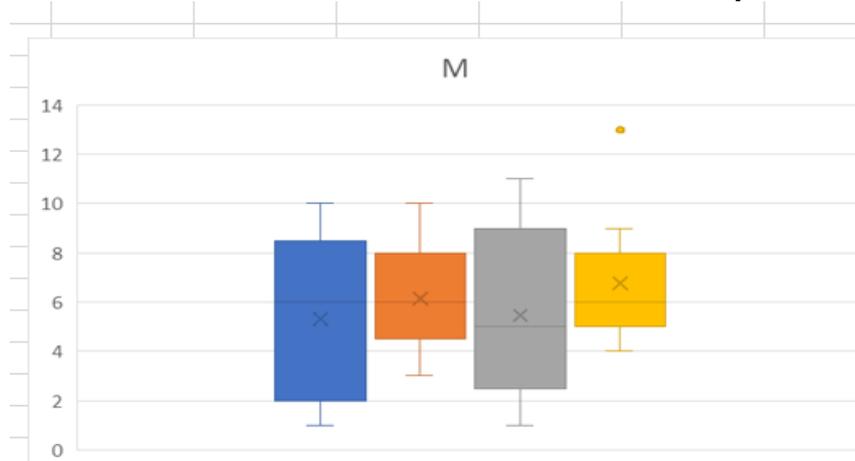
A continuación, a modo de ejemplificar, se muestran los gráficos del servicio “M”. Se realizó lo mismo con los 4 servicios de mantenimiento.

**Gráfico N° 1: Serie de tiempo demanda del servicio M**



**Fuente: elaboración propia.**

**Gráfico N° 2: Estacionalidad de la serie del servicio M por semana.**

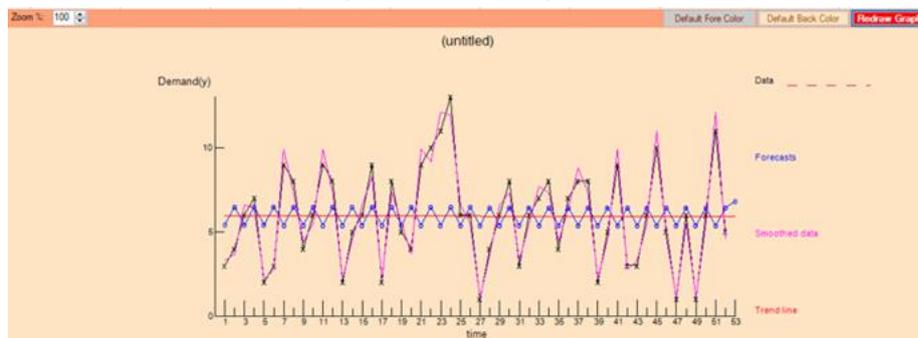


**Fuente: elaboración propia.**

A partir del análisis exploratorio de la serie y los gráficos obtenidos, inicialmente se optó por utilizar un modelo multiplicativo en QM, considerando que podrían existir variaciones

proporcionales en la tendencia o posibles patrones de comportamiento relacionados con la magnitud de los datos. Sin embargo, al aplicar dicho modelo, se observó que no lograba ajustarse adecuadamente a la serie por la poca cantidad de datos, presentando errores de estimación elevados y una baja capacidad para captar la dinámica real de la demanda.

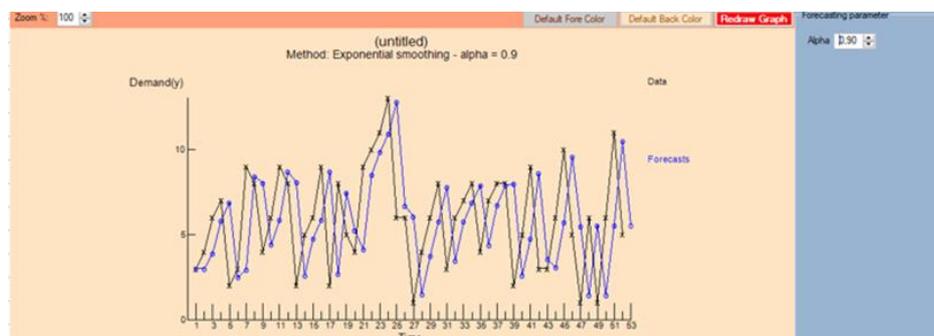
**Gráfico N°3: Pronóstico de la demanda del servicio M por método de descomposición multiplicativa.**



**Fuente: elaboración propia**

Frente a esta situación, se decidió emplear un modelo de suavizamiento exponencial, el cual mostró un mejor desempeño en términos de ajuste y precisión. Este método permitió capturar de manera más eficiente los cambios graduales de la serie, adaptándose mejor a su comportamiento sin necesidad de suponer una estructura estacional o una tendencia multiplicativa estricta.

**Gráfico N°4: Pronóstico de la demanda por suavizamiento exponencial, alfa=0.90. Servicio M.**



**Fuente: elaboración propia**



**Tabla N° 4: pronóstico de la demanda del servicio L**

Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	-0,023
MAD (Mean Absolute Deviation)	2,431
MSE (Mean Squared Error)	8,583
Standard Error (denom=n-2=49)	298,90%
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	54,24%
Forecast	
<b>next period</b>	<b>6,952</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 5: pronóstico de la demanda del servicio M**

Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	0,055
MAD (Mean Absolute Deviation)	3,146
MSE (Mean Squared Error)	13,488
Standard Error (denom=n-2=49)	3,747
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	92,21%
Forecast	
<b>next period</b>	<b>5,545</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 6: pronóstico de la demanda del servicio S**

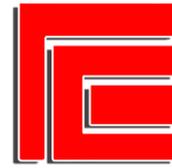
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	-0,188
MAD (Mean Absolute Deviation)	4,214
MSE (Mean Squared Error)	27,887
Standard Error (denom=n-2=49)	5,387
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	28,23%
Forecast	
<b>next period</b>	<b>16,361</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 7: pronóstico de la demanda del servicio X**

Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	-0,206
MAD (Mean Absolute Deviation)	4,216
MSE (Mean Squared Error)	27,203
Standard Error (denom=n-2=49)	5,321
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	101,78%
Forecast	
<b>next period</b>	<b>2,557</b>

Fuente: elaboración propia



**Tabla N° 8: demanda de servicio pronosticada 1° semana de junio 2025**

Servicio	L	M	S	X
<b>Pronostico 1° semana de Junio 2025</b>	7	6	16	3

**Fuente: elaboración propia**

**Paso 3: Programación lineal entera y continua.** En base a los resultados de la demanda estimada para la primera semana de Junio de 2025, se desarrolló una programación lineal entera (ya que se trabajó con servicios) y continua (para poder acceder a los análisis de sensibilidad, además de realizar una comparación con los resultados de la programación con números enteros) . A continuación se describen los elementos de la programación:

**Variables de decisión:**

**S:** cantidad de servicios de S realizados por semana.

**X:** cantidad de servicios de X realizados por semana.

**M:** cantidad de servicios de M realizados por semana.

**L:** cantidad de servicios de L realizados por semana.

**Función objetivo: maximizar la rentabilidad por servicio**

$$FO = 220 S + 550 X + 800 M + 1.000 L$$

**Restricciones (datos en USD):**

Demanda

Mediante los resultados del pronóstico de la demanda esperada para la primera semana de junio, se establecen las siguientes restricciones

$$R2: S \leq 16$$

$$R3: X \leq 3$$

$$R4: M \leq 6$$

$$R5: L \leq 7$$

### Capacidad

$$R1: 120S + 300X + 240M + 480L \leq 7200$$

$$R6: S + X + M + L \leq 50$$

$$R7: L \leq 10$$

### Política

$$R8: L \leq S + X$$

### Presupuesto

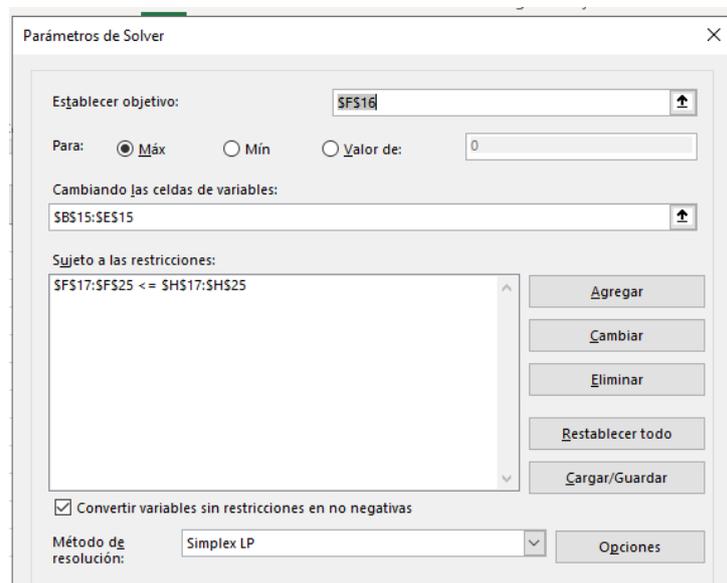
$$R9: 180S + 300X + 500M + 600L \leq 7200$$

### No negatividad

$$R10: S, X, M, L \geq 0$$

### **Paso 4: Resultados.**

**Imagen nº 1: Configuración de Restricciones y variables de solver**



**Fuente: elaboración propia**



**Imagen n° 2: solución de SOLVER, programación continua.**

		S	X	M	L			
14								
15	VD	11	3	6	7			
16	CO	220	550	800	1000	15772		
17	R1	120	300	240	480	6966,66667	<=	7200
18	R2	1				10,5555556	<=	16
19	R3		1			3	<=	3
20	R4			1		6	<=	6
21	R5				1	7	<=	7
22	R6	1	1	1	1	26,5555556	<=	50
23	R7				1	7	<=	10
24	R8	-1	-1		1	-6,5555556	<=	0
25	R9	180	300	500	600	10000	<=	10000

Fuente: elaboración propia

**Imagen n° 3: Análisis de sensibilidad**

Celdas de variables									
		Final	Reducido	Objetivo	Permisible	Permisible	Rango de optimalidad		
	Celda Nombre	Valor	Coste	Coficiente	Aumentar	Reducir			
9	\$B\$15 VD S	10,5555556	0	220	68	220	0		288
10	\$C\$15 VD X	3	0	550	1E+30	183,333333	366,66667		1E+30
11	\$D\$15 VD M	6	0	800	1E+30	188,888889	611,11111		1E+30
12	\$E\$15 VD L	7	0	1000	1E+30	266,666667	733,33333		1E+30
Restricciones									
	Celda Nombre	Final	Sombra	Restricción	Permisible	Permisible	Rango de factibilidad		
		Valor	Precio	Lado derecho	Aumentar	Reducir			
17	\$F\$17 R1	6966,66667	0	7200	1E+30	233,333333	6966,6667		1E+30
18	\$F\$18 R2	10,5555556	0	16	1E+30	5,44444444	10,555556		1E+30
19	\$F\$19 R3	3	183,333333	3	2,33333333	3	0		5,3333333
20	\$F\$20 R4	6	188,888889	6	2,36	1,96	4,04		8,36
21	\$F\$21 R5	7	266,666667	7	1,51282051	1,63333333	5,3666667		8,5128205
22	\$F\$22 R6	26,5555556	0	50	1E+30	23,44444444	26,555556		1E+30
23	\$F\$23 R7	7	0	10	1E+30	3	7		1E+30
24	\$F\$24 R8	-6,5555556	0	0	1E+30	6,5555556	-6,555556		1E+30
25	\$F\$25 R9	10000	1,22222222	10000	350	1180	8820		10350

Fuente: elaboración propia

**Imagen n° 4: Resultado de programación lineal con enteros**

		S	X	M	L			
2	VD	10	3	6	7			
3	CO	220	550	800	1000	15650		
4	R1	120	300	240	480	6900	<=	7200
5	R2	1				10	<=	16
6	R3		1			3	<=	3
7	R4			1		6	<=	6
8	R5				1	7	<=	7
9	R6	1	1	1	1	26	<=	50
10	R7				1	7	<=	10
11	R8	-1	-1		1	-6	<=	0
12	R9	180	300	500	600	9900	<=	10000

Fuente: elaboración propia



Se puede observar que el resultado obtenido por la programación lineal entera es levemente diferente que la continua, debido a que la programación continua la mezcla óptima indica que se deben realizar 11 servicios S y la programación entera indica que se deben realizar 10. Considerando que el resultado en la programación lineal continua es más representativo para los fines de este estudio ya que solo difiere en un servicio la mezcla óptima, es el elegido para interpretar el análisis de sensibilidad.

- La rentabilidad de la mezcla óptima de servicios será de 15.772 dólares.
- La mezcla óptima de servicios por semana será de: 11 servicios S, 3 servicios X, 6 servicios M y 7 servicios L.
- No se realizarán todos los servicios posibles del servicio S (holgura).
- Brindando todos los servicios, no se utilizará la toda la capacidad disponible por semana.
- Se obtiene de los rangos de optimalidad que, si todas las demás variables permanecen constantes y sólo se modifica la utilidad por servicio en 220 dólares, la mezcla óptima no cambiará. Lo que sí se modificará es la rentabilidad de la mezcla óptima de servicios.
- Cada aumento del lado derecho del servicio X generará un incremento de 183,33 en la FO y cada disminución producirá una disminución de la FO en -183,33.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda adoptar el modelo de planificación semanal obtenido por la programación lineal, para organizar los servicios según la demanda estimada y los recursos disponibles.
- Usar el pronóstico de la demanda como base para definir cuántos servicios realizar, evitando la improvisación.



- Capacitar al personal en herramientas básicas como Solver y PM-QM para permitir que el modelo pueda aplicarse en el taller sin depender de ayuda externa.
- Actualizar regularmente los datos de costos, tiempos de servicio y capacidad del taller para que el modelo siga siendo útil.
- Aprovechar los datos arrojados por el análisis de sensibilidad como el precio sombra y los rangos de optimalidad, para saber qué restricciones conviene ajustar en la búsqueda de mejorar los resultados.

### **Conclusiones**

- La aplicación de herramientas cuantitativas permitió transformar un proceso de planificación improvisado en uno estructurado y orientado a datos.
- Mediante modelos de series de tiempo, se obtuvieron pronósticos ajustados para los distintos tipos de servicios ofrecidos. Aunque inicialmente se evaluó un modelo de descomposición multiplicativa, el suavizamiento exponencial mostró mayor precisión, lo que permitió proyectar la demanda con mayor certeza para las semanas siguientes. Esta información resultó fundamental para definir restricciones realistas y fundamentadas dentro del modelo de optimización.
- La programación lineal permitió identificar una combinación óptima de servicios por semana que maximiza la rentabilidad, considerando simultáneamente la capacidad de trabajo, el presupuesto disponible y las políticas de la empresa. Esto permite aprovechar al máximo los recursos sin exceder los límites operativos.
- El análisis de sensibilidad brindó información adicional sobre el impacto que tienen pequeños cambios en parámetros clave (como la utilidad por servicio o la disponibilidad de horas de trabajo), facilitando la toma de decisiones futuras.



- El modelo desarrollado aporta una base sólida y replicable para futuras decisiones operativas, permitiendo actualizar las variables semana a semana y obtener soluciones eficientes rápidamente, lo que contribuye a una gestión más ágil y profesional del área de servicios. Esto impacta directamente en la satisfacción del cliente y en la imagen profesional de Camiones del Norte.

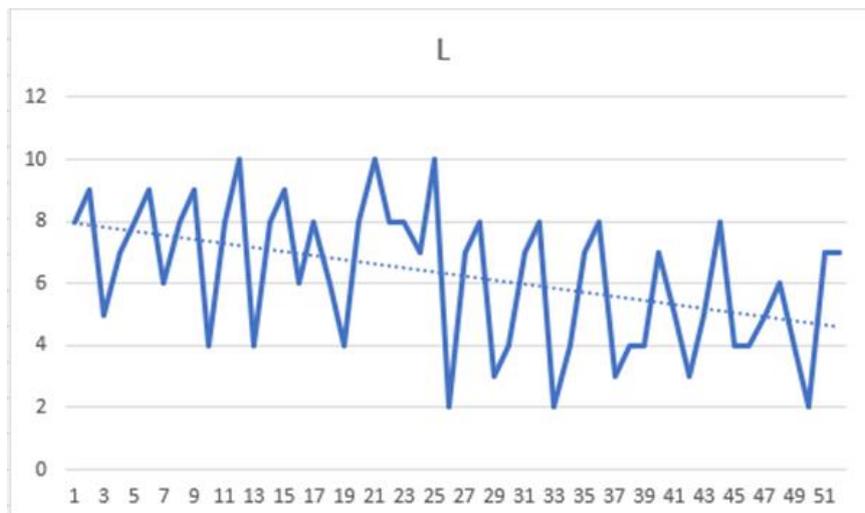
### **Referencias**

- Render, Stair, Hanna. Editorial Predice Hall (2013). Métodos cuantitativos para los negocios.
- Anderson, Sweeney, Williams, Camm Martin (2011). Métodos cuantitativos para los negocios, 11a Ed.
- Este trabajo utilizó como soporte al agente artificial ChatGPT, el cual nos permitió armonizar el contenido, enriquecer el análisis y agilizar la síntesis de la información disponible. Los aportes dados fueron revisados minuciosamente por el grupo de trabajo teniendo como respaldo el conocimiento adquirido en la materia, para asegurar la precisión, veracidad y consistencia sobre los resultados aquí presentados.

## Anexo

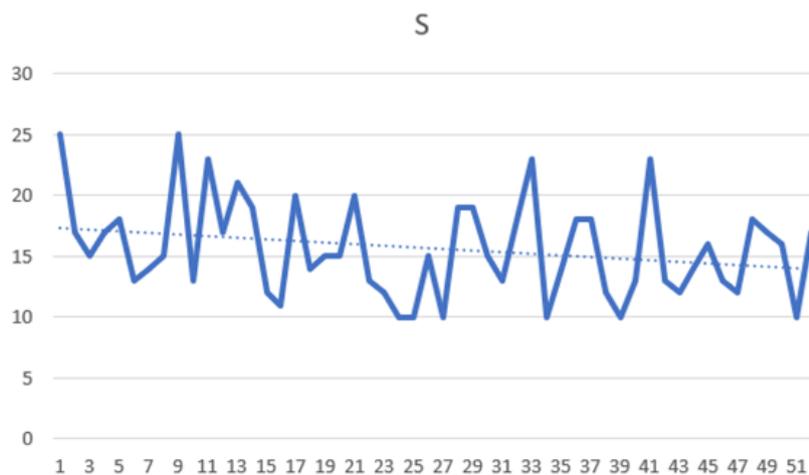
A continuación se presentan los gráficos de la serie y boxplot de cada servicio, junto con los de pronósticos por descomposición multiplicativa y suavizamiento exponencial.

**Gráfico n° 5: Serie de tiempo demanda del servicio L**



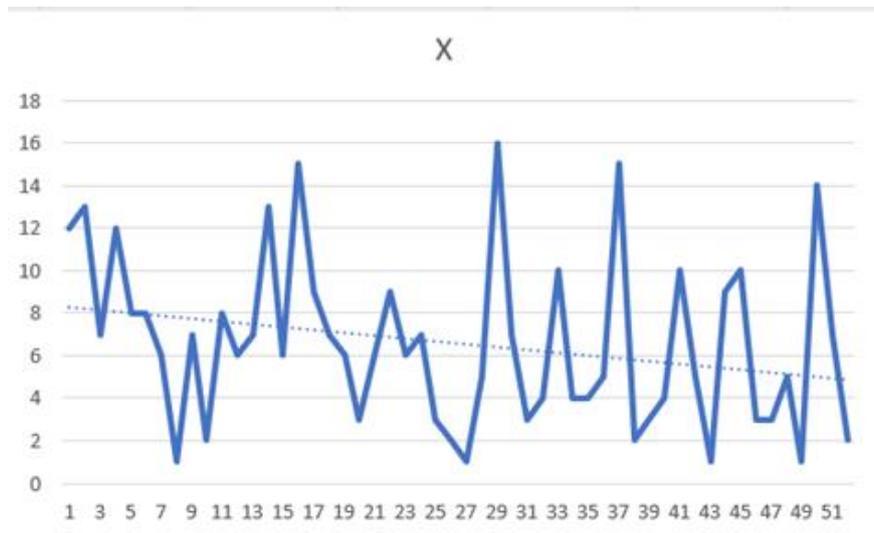
Fuente: elaboración propia

**Gráfico n° 6: Serie de tiempo demanda del servicio S**



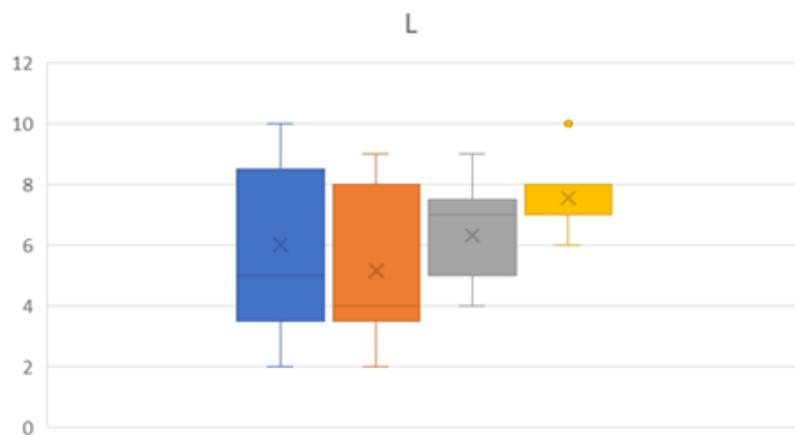
Fuente: elaboración propia

**Gráfico n° 7: Serie de tiempo demanda del servicio X**



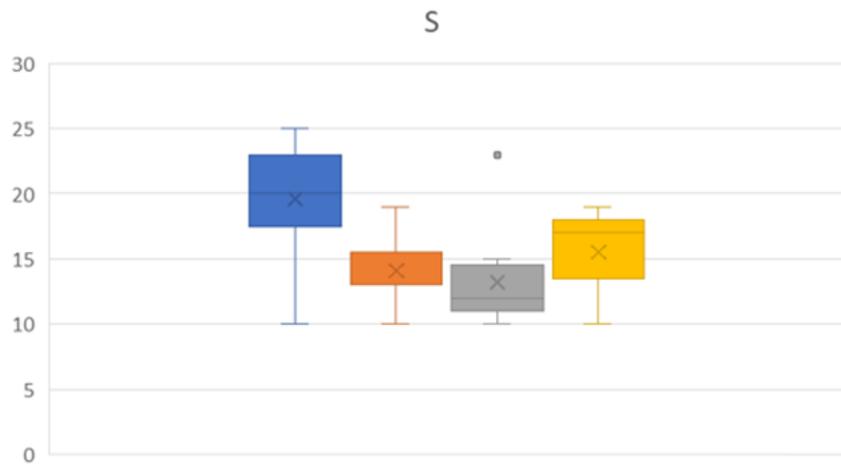
Fuente: elaboración propia.

**Gráfico n° 8: Estacionalidad de la serie del servicio L por semana**



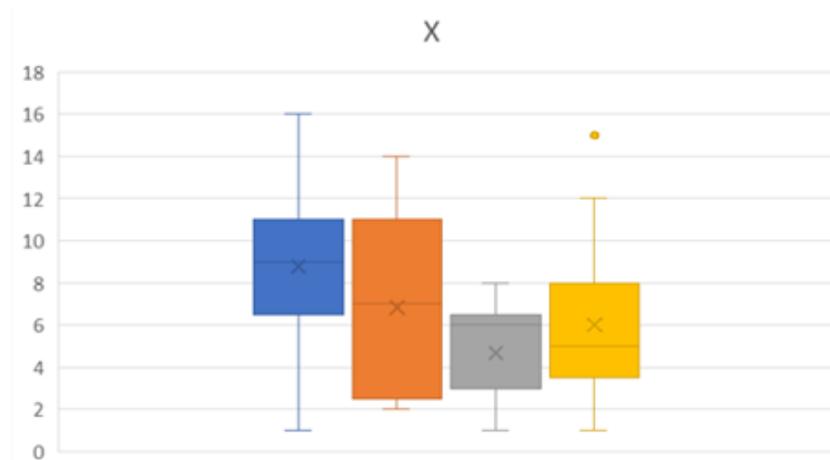
Fuente: elaboración propia.

**Gráfico n° 9: Estacionalidad de la serie del servicio S por semana**



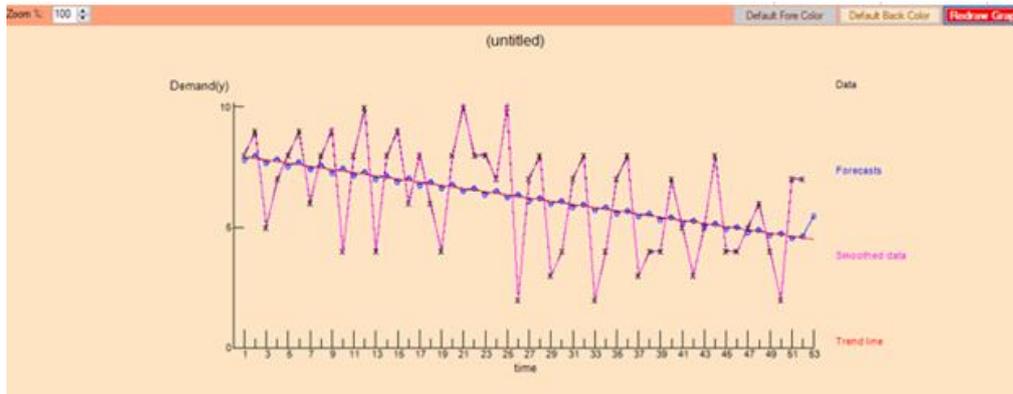
Fuente: elaboración propia.

**Gráfico n° 10: Estacionalidad de la serie del servidor X por semana.**



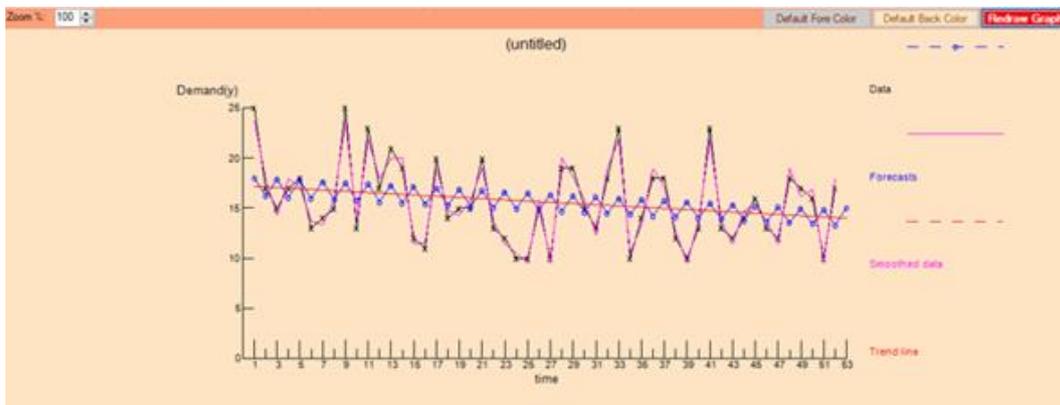
Fuente: elaboración propia.

**Gráfico n° 11: Pronóstico de la demanda del servicio L por método de descomposición multiplicativa.**



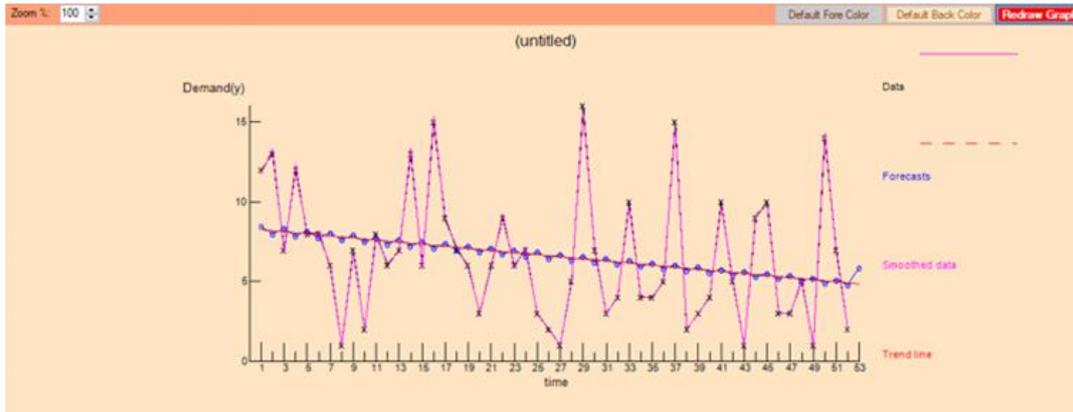
**Fuente: elaboración propia.**

**Gráfico n° 12: Pronóstico de la demanda del servicio S por método de descomposición multiplicativa.**



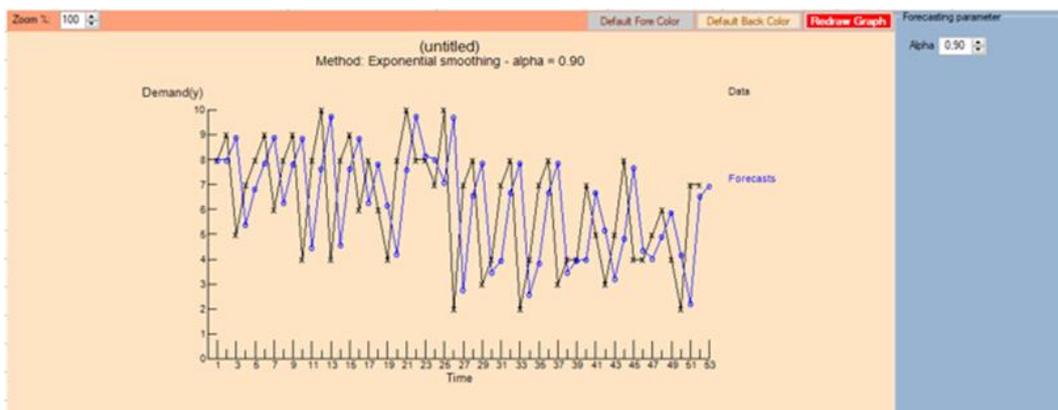
**Fuente: elaboración propia.**

**Gráfico n° 13: Pronóstico de la demanda del servicio X por método de descomposición multiplicativa.**



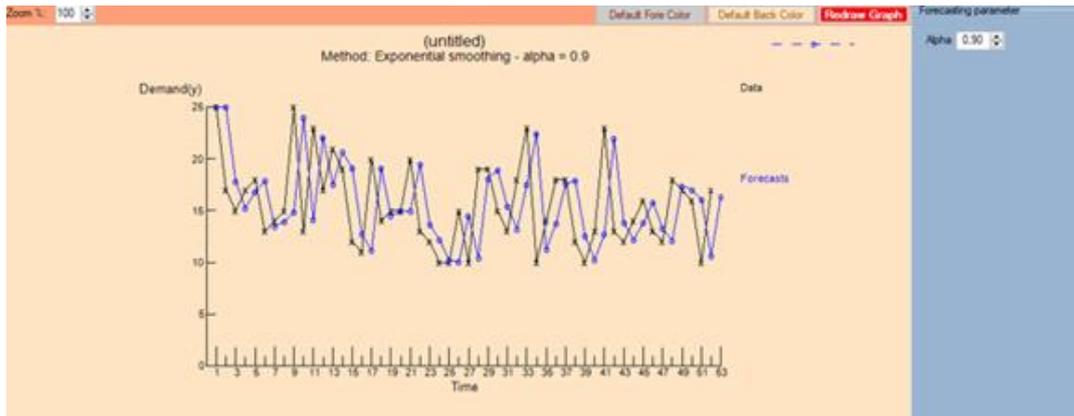
**Fuente: elaboración propia.**

**Gráfico n° 14: Pronóstico de la demanda por suavizamiento exponencial, alfa=0.90. Servicio L.**



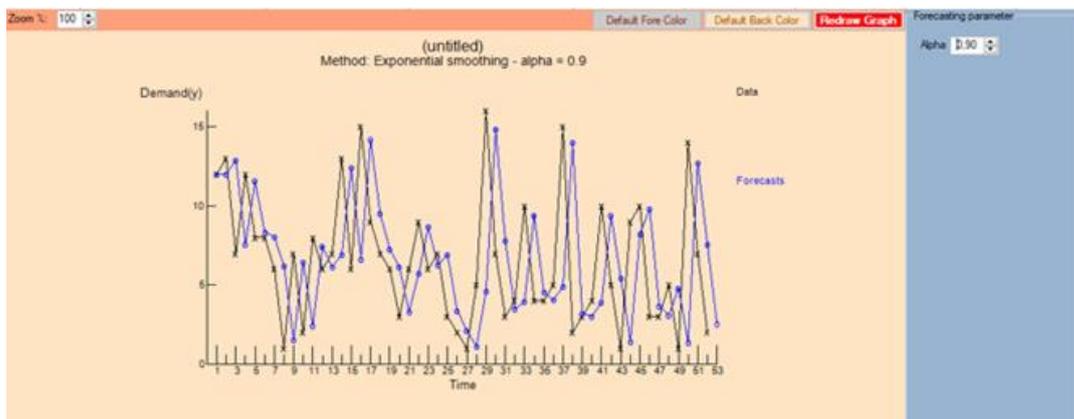
**Fuente: elaboración propia.**

**Gráfico n° 15: Pronóstico de la demanda por suavizamiento exponencial, alfa=0.90. Servicio S.**



Fuente: elaboración propia.

**Gráfico n° 16: Pronóstico de la demanda por suavizamiento exponencial, alfa=0.90. Servicio X.**



Fuente: elaboración propia.