



CASO DE ESTUDIO DE PRONÓSTICO Y MEZCLA DE ACEITES EN ROJO LUBRICENTRO

Análisis Cuantitativo de Negocios 2025

Apas Julian - Choque Mario - Coronel Maria Eugenia - Grellet
Maximiliano - Liquin Maximiliano - Lopez Gabriel - Simonetto Alejo

julianapas99@gmail.com - marioch230396@gmail.com -
marucoronel94@gmail.com - maxigrellet@gmail.com -
maxiliquin@gmail.com - gablopezk@gmail.com -
alejosimonetto@gmail.com



Contenidos

Resumen	3
Introducción.....	3
Situación Problemática	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Marco Metodológico	5
Marco Teórico	6
Aplicación	7
1. Presentación y preparación de datos	7
2. Análisis Exploratorio de la Serie Temporal	10
3. Aplicación de modelos de pronóstico.....	10
3.1. Metodología de pronósticos	10
3.2. Aplicación y evaluación de los modelos.....	11
3.3 Comparación de modelos	14
4. Programación Entera.....	14
4.1 Análisis de Sensibilidad.....	18
4.2 Informe de Respuestas	20
4.3 Informe de Límites	21
Conclusiones	21
Referencias	23



Resumen

El presente trabajo aborda la necesidad de profesionalizar la toma de decisiones en pequeñas y medianas empresas mediante la aplicación de análisis cuantitativo de negocios. Se focaliza en el caso del Rojo Lubricentro, una empresa familiar de San Miguel de Tucumán que, a pesar de contar con registros de ventas históricos, opera principalmente bajo decisiones basadas en la intuición, lo que limita su capacidad para anticipar la demanda y optimizar la rentabilidad de su mix de productos.

El estudio se estructuró en dos fases metodológicas. En la primera, se aplicaron técnicas de pronóstico de series temporales a los datos de asistencia diaria de vehículos (autos, motos y camionetas) a través de dos modelos: la Descomposición Multiplicativa y el Suavizamiento Exponencial de Holt. El modelo de Descomposición Multiplicativa demostró ser el más preciso para la demanda total, capturando eficazmente la estacionalidad y tendencia.

Con base en el modelo de Descomposición Multiplicativa, se pronostica una demanda total de 1504 vehículos que demandarían bidones de aceite para enero de 2025, distribuidos en 978 para autos, 451 para camionetas y 75 para motos.

En la segunda fase, se desarrolló un modelo de programación entera con el objetivo de maximizar la contribución marginal total del lubricentro, considerando las 12 variedades de aceites de mayor rotación y las restricciones operativas de presupuesto, política, espacio de almacenamiento, proporción mínima de ventas para camionetas, y límites de stock por producto, además de la demanda pronosticada. La aplicación de este modelo reveló la combinación óptima de productos para enero de 2025, lo que resultaría en una contribución marginal total de \$41.777.103 para el período.

En conclusión, este estudio demuestra cómo la aplicación de herramientas cuantitativas como el pronóstico de demanda y la programación lineal puede transformar la toma de decisiones intuitiva en una gestión estratégica basada en datos. Los resultados obtenidos proporcionan al Lubricentro Rojo una base sólida para optimizar sus niveles de inventario, maximizar su rentabilidad y planificar de manera más efectiva sus operaciones de cara a la demanda futura.

Palabras Clave: análisis cuantitativo, pronóstico, programación entera, toma de decisiones

Introducción

En el contexto actual, la toma de decisiones basadas en datos se ha convertido en una herramienta crucial para el crecimiento y la sostenibilidad organizacional. El uso de técnicas cuantitativas permite anticiparse a la demanda, optimizar la asignación de recursos, aumentar la eficiencia operativa y mejorar la rentabilidad. No obstante, muchos pequeños negocios en Argentina aún no han integrado este enfoque de forma sistemática.

En el país, más del 90% de las empresas integran el sector de las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMES), muchas de las cuales son gestionadas por sus propios dueños, quienes suelen tomar decisiones basadas en la experiencia y la intuición, dejando de lado valiosas herramientas de análisis. Esto genera una brecha significativa entre la información disponible y su aprovechamiento efectivo para la planificación y optimización del negocio.

Un ejemplo concreto de esta situación se observa en “Rojo Lubricentro”, una empresa familiar ubicada en San Miguel de Tucumán fundada en 1989. Tradicionalmente, su actividad principal ha sido la venta y cambio de aceites y filtros para vehículos particulares. Aunque la administración ha estado históricamente en manos de la familia fundadora y muchas decisiones



comerciales se basan en la intuición, la empresa ha registrado la cantidad diaria de ventas desde 2022, lo que ofrece una base significativa para la utilización de herramientas formales de análisis.

Este trabajo, en el marco de la asignatura Análisis Cuantitativo de Negocios, propone un enfoque integrado en dos etapas: la aplicación de técnicas de pronóstico (utilizando el software QM) para estimar la demanda futura, y basándose en esta proyección, el uso de programación lineal para determinar la combinación óptima de aceites que maximice la contribución marginal, bajo ciertas restricciones. Este enfoque busca profesionalizar la toma de decisiones comerciales mediante el uso de herramientas cuantitativas.

Situación Problemática

A pesar de contar con registros diarios de ventas desde 2022, Rojo Lubricentro no ha capitalizado esta información incorporando herramientas que le permitan anticipar la demanda ni tomar decisiones estratégicas en torno a qué productos priorizar para mejorar su rentabilidad.

Actualmente, el negocio enfrenta limitaciones en el presupuesto para la adquisición de mercadería y en el espacio físico disponible para almacenamiento. A su vez, existen diferencias considerables entre los productos en cuanto a precios de venta, costos y niveles de contribución marginal. Por esta razón, una adecuada combinación de productos podría mejorar significativamente los resultados económicos del lubricentro.

La ausencia de una estimación confiable de la demanda futura, sumada a la falta de un análisis de rentabilidad detallado por tipo de producto, limita la capacidad de planificación y optimización de los recursos disponibles. En este contexto, se vuelve necesario implementar un enfoque integrado que combine técnicas de pronóstico de demanda con modelos de programación lineal con la finalidad de definir una política de compras y ventas que maximice la contribución marginal, cumpliendo con las restricciones operativas del negocio.

A partir de lo anterior, se plantean las siguientes **preguntas de investigación**:

1. ¿Cuál es el modelo más adecuado para estimar de manera confiable la demanda de aceites según los datos históricos del lubricentro?
2. ¿Cómo se puede estructurar un modelo que ayude a decidir qué aceites comprar, considerando el presupuesto disponible y el espacio para almacenar productos?
3. ¿Qué combinación de aceites le permitiría al lubricentro obtener la mayor ganancia posible, en función de la demanda proyectada y los recursos con los que cuenta?

Objetivo General

Proponer una metodología basada en el uso conjunto de pronóstico de demanda y programación lineal, orientada a la mejora de la toma de decisiones sobre la combinación de aceites lubricantes en Rojo Lubricentro, bajo restricciones operativas y económicas correspondientes al mes de enero de 2025.

Objetivos Específicos

1. Identificar el modelo de pronóstico que mejor se ajuste a los datos históricos de ventas, con el fin de estimar de forma precisa la demanda de aceites para motos, autos y camionetas en enero de 2025, utilizando el software QM.

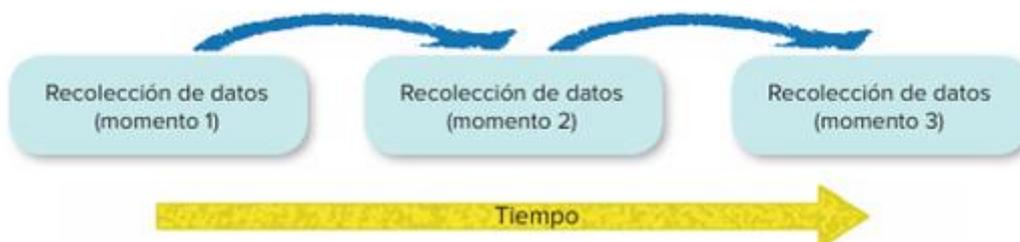
2. Diseñar un modelo de programación lineal que considere las restricciones reales del negocio y permita representar de manera clara el problema de combinación de productos.
3. Determinar cuál es la mejor combinación de aceites que el lubricentro debería adquirir para obtener el mayor beneficio posible, cumpliendo con la demanda proyectada y las restricciones del negocio.

Marco Metodológico

La presente investigación adopta un **enfoque cuantitativo**, con un **diseño no experimental, longitudinal de tendencia y de carácter exploratorio**. Se optó por el enfoque cuantitativo por su capacidad para describir de manera objetiva y sistemática el comportamiento de la demanda, facilitando la identificación de variaciones, tendencias y patrones recurrentes a través del análisis estadístico de datos numéricos. Como señala Arroyo Morales (2014), este enfoque “facilita la recolección y el análisis de información de forma objetiva y controlada”, lo cual resulta especialmente útil en estudios orientados a describir comportamientos observables dentro de una población o fenómeno específico.

El **diseño no experimental** permite observar y analizar la demanda sin intervenir en las variables, preservando así el fenómeno en su contexto natural. Asimismo, se emplea un **diseño longitudinal de tendencia**, ya que los datos analizados corresponden a distintos momentos en el tiempo, lo que posibilita un análisis dinámico de la evolución de la demanda y proporciona una visión más completa del comportamiento observado.

Gráfico 1: Esquematación de recolección de datos en diseños longitudinales



Fuente: Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed., p. 180). McGraw-Hill.

El estudio posee además un carácter **exploratorio**, ya que se orienta a examinar un fenómeno poco abordado previamente, con incertidumbre sobre sus características y escasa información sistematizada. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), este tipo de diseño “se utiliza cuando el problema de investigación no está claramente definido y se busca obtener un mayor conocimiento y comprensión del mismo”.

La recolección de datos se realizó mediante un **muestreo no probabilístico por conveniencia**, utilizando una base de datos con registros históricos de ingresos diarios de vehículos al lubricentro. Además, se nos proporcionó una segunda base de datos que contenía una serie de lubricantes disponibles, junto con sus respectivos precios de venta y costos de adquisición.

Para el **análisis de los datos** se utilizó el software Microsoft Excel, que permitió estructurar y organizar la información, mientras que QM de Windows fue empleado para aplicar técnicas de pronóstico de series temporales, facilitando así la identificación de tendencias y la estimación de la demanda futura.



Marco Teórico

El **Análisis Cuantitativo de Negocios (ACN)** es, según Render, Stair y Hanna (2013), un enfoque matemático (científico) para la toma de decisiones gerenciales. Su propósito central es transformar datos en información significativa, lo cual resulta esencial para la planificación y optimización de las operaciones empresariales. El punto de partida del análisis cuantitativo serán los datos, cuyo procesamiento conduce a la información, proceso que representa la esencia del ACN.

Los gerentes, al abordar un problema, deben considerar tanto factores cualitativos (que aportan contexto y experiencia) como cuantitativos (que ofrecen una base objetiva y medible). Debido a la importancia de los factores cualitativos, el papel del análisis cuantitativo en el proceso de toma de decisiones podría variar. Cuando no haya factores cualitativos, y cuando el problema, el modelo y los datos de entrada permanezcan iguales, los resultados del análisis cuantitativo pueden automatizar el proceso de toma de decisiones.

El proceso de aplicación, denominado **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. No es necesario que un paso termine por completo antes de comenzar el siguiente (Render, Stair & Hanna, 2013).

Dentro del Análisis Cuantitativo de Negocios, un **modelo** se define como una representación (casi siempre matemática) de una situación real (Render, Stair & Hanna, 2013). Los modelos matemáticos, en particular, son conjuntos de relaciones expresadas comúnmente como ecuaciones y desigualdades. Estos modelos permiten simplificar la realidad con la finalidad de predecir comportamientos y optimizar resultados. Los componentes fundamentales de un modelo cuantitativo incluyen:

Variables: Cantidades medibles que pueden cambiar o están sujetas a modificaciones. Render, Stair y Hanna (2013) distinguen entre variables controlables (también conocidas como variables de decisión), que son aquellas que están bajo la esfera del gerente que toma las decisiones, y variables no controlables, sobre las cuales el gerente no tiene influencia directa.

Parámetros: Cantidades medibles que son inherentes al problema y que permanecen constantes dentro del modelo (Render, Stair & Hanna, 2013).

Métodos cuantitativos: Se basan en procedimientos mecánicos o modelos matemáticos que se apoyan en datos históricos o en variables causales para producir resultados cuantitativos. Algunos ejemplos son:

- Análisis de series temporales.
- Modelos de regresión.
- Modelos econométricos.
- Indicadores económicos.
- Efecto de sustitución.

El proceso del pronóstico

Generalmente, un pronóstico se elabora siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- Formulación del problema y recolección de datos.
- Manipulación y limpieza de datos.
- Construcción y evaluación del modelo.



- Evaluación del pronóstico.

Los **pronósticos** son herramientas esenciales en la gestión empresarial, cuyo objetivo primordial es reducir la incertidumbre y proporcionar estimaciones fundamentadas sobre eventos futuros (Render, Stair & Hanna, 2013). Son la base para el establecimiento de objetivos a corto y largo plazo y para el desarrollo de planes estratégicos en todas las áreas de una organización, incluyendo la planificación de la producción, el control de inventarios y la asignación de recursos.

Dentro de los métodos cuantitativos de pronóstico, los **modelos de series temporales** son particularmente relevantes cuando la predicción se basa en datos históricos de la misma variable a lo largo del tiempo. Render, Stair y Hanna (2013) destacan entre ellos técnicas avanzadas que permiten capturar diferentes patrones en los datos:

- **Suavizamiento Exponencial de Holt (Doble Suavizamiento Exponencial):** Este método es una extensión del suavizamiento exponencial simple, diseñado específicamente para series de tiempo que exhiben una tendencia. Utiliza dos parámetros de suavizamiento: α (alfa) para el componente de nivel y β (beta) para el componente de tendencia. Al considerar tanto el nivel como la tendencia de los datos históricos, los pronósticos de Holt pueden adaptarse mejor a series con crecimientos o decrecimientos consistentes, ofreciendo una mayor precisión para proyecciones a corto y mediano plazo.
- **Descomposición Multiplicativa:** Este enfoque de pronóstico se basa en la idea de que una serie de tiempo puede descomponerse en sus componentes fundamentales: tendencia (T), estacionalidad (S) y error/residual (E). En un modelo multiplicativo, estos componentes se combinan de forma que el valor de la serie en un momento dado es el producto de estos factores. Este método es especialmente útil cuando la magnitud de las fluctuaciones estacionales aumenta o disminuye con la tendencia general de la serie, lo que es común en datos de ventas. Permite aislar y proyectar cada componente por separado antes de recombinarlos para obtener el pronóstico final.

Aplicación

1. Presentación y preparación de datos

Para el presente estudio, se analizó una base de datos que contiene el registro de las ventas diarias prestadas por *Rojo Lubricentro* desde enero de 2022 hasta diciembre de 2024. Esta información, de naturaleza cuantitativa y discreta, fue el punto de partida para el análisis de la demanda. En primera instancia, se presenta una visualización de los datos en su formato original.

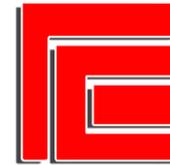


Figura 1: Base de datos de ventas de aceite lubricantes brindados por día de Rojo Lubricentro

ROJO														
Lubricantes														
	1/1/2021	2/1/2021	3/1/2021	4/1/2021	5/1/2021	6/1/2021	7/1/2021	8/1/2021	9/1/2021	10/1/2021	11/1/2021	12/1/2021	13/1/2021	14/1/2021
2021	VIERNES	SÁBADO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES
2022	1/1/2022	2/1/2022	3/1/2022	4/1/2022	5/1/2022	6/1/2022	7/1/2022	8/1/2022	9/1/2022	10/1/2022	11/1/2022	12/1/2022	13/1/2022	14/1/2022
	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	-	-	86	92	78	73	77	56	-	76	73	66	77	70
2023	1/1/2023	2/1/2023	3/1/2023	4/1/2023	5/1/2023	6/1/2023	7/1/2023	8/1/2023	9/1/2023	10/1/2023	11/1/2023	12/1/2023	13/1/2023	14/1/2023
	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	-	79	84	81	89	80	43	-	91	83	76	73	85	50
2024	1/1/2024	2/1/2024	3/1/2024	4/1/2024	5/1/2024	6/1/2024	7/1/2024	8/1/2024	9/1/2024	10/1/2024	11/1/2024	12/1/2024	13/1/2024	14/1/2024
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
	-	70	67	61	78	42	-	75	71	51	54	61	43	-

Fuente: Rojo Lubricentro

Durante el análisis preliminar, se identificó que la estructura de la base podría optimizarse para facilitar su interpretación. Por ello, se procedió a reorganizar los datos en un formato tabular más adecuado para el análisis: se dispuso una columna con las fechas correspondientes y otra con la cantidad de ventas diarias concretadas. Esta reorganización tuvo como objetivo mejorar la claridad de la información y permitir un tratamiento más eficiente de los datos. Posteriormente, se calcularon los totales mensuales de ventas, lo que permitió construir la siguiente tabla:



Tabla 1: Cantidad de lubricantes vendidos (Enero 2022 - Diciembre 2024)

Año	Mes	Cantidad de Bidones de Aceite Vendidos
2022	1	1659
	2	1359
	3	1337
	4	1213
	5	1273
	6	1331
	7	1411
	8	1293
	9	1207
	10	1242
	11	1312
	12	1584
2023	13	1835
	14	1268
	15	1313
	16	1246
	17	1331
	18	1333
	19	1479
	20	1291
	21	1259
	22	1228
	23	1150
	24	1255
2024	25	1446
	26	1208
	27	1048
	28	999
	29	1108
	30	1157
	31	1321
	32	1163
	33	1144
	34	1277
	35	1200
	36	1278
Total General		46558

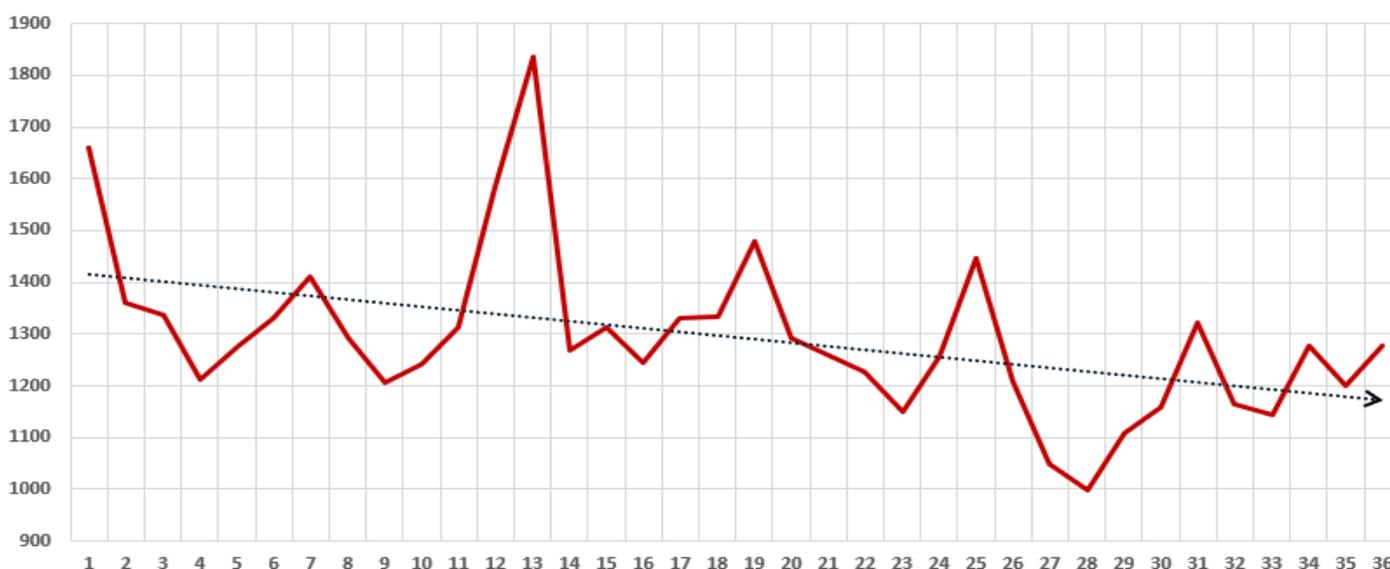
Fuente: Elaboración Propia

2. Análisis Exploratorio de la Serie Temporal

El análisis de la serie de demanda mensual, compuesta por 36 observaciones correspondientes a tres años de datos históricos, revela la existencia de fluctuaciones regulares que podrían atribuirse a factores estacionales. A partir del gráfico de la serie, se observan picos y valles recurrentes, lo que indica que la demanda no se mantiene estable a lo largo del año y varía según la época. Este comportamiento sugiere la necesidad de aplicar un enfoque de pronóstico que contemple tanto la estacionalidad como la tendencia de la serie.

A su vez, el análisis gráfico reveló una tendencia con pendiente levemente negativa, lo que sugiere una disminución progresiva en la cantidad de ventas mensuales a lo largo del período. La ecuación que representa dicha recta es: $y = -31,51x + 4084,7$, confirma esta observación. Esta combinación de estacionalidad y tendencia justifica la selección de modelos de pronóstico capaces de descomponer la serie y analizar sus componentes por separado, con el fin de obtener una estimación más precisa y realista de la demanda futura.

Gráfico 2: Serie de tiempo de ventas mensuales (Enero 2022 - Diciembre 2024)



Fuente: Elaboración Propia

3. Aplicación de modelos de pronóstico

3.1. Metodología de pronósticos

Dado el comportamiento observado en la serie temporal (presencia de estacionalidad y tendencia), se optó por dos modelos de pronóstico cuantitativos: la **Descomposición Multiplicativa** y el **Suavizamiento Exponencial de Holt**.

El modelo de descomposición multiplicativa permite desagregar la serie en tres componentes fundamentales: tendencia (T), estacionalidad (E) e irregularidad (I). Esta elección se justifica en función de las características propias de los datos, en los cuales se observa que las fluctuaciones estacionales y aleatorias no se presentan con una magnitud constante, sino que tienden a variar proporcionalmente según el nivel general de la serie. En este sentido, el modelo de descomposición multiplicativa resulta especialmente adecuado para capturar la dinámica de los



datos, ya que permite representar cómo las variaciones estacionales y las perturbaciones aleatorias se intensifican o atenúan en relación con el comportamiento general de la serie.

Por otro lado, se aplicó el modelo de suavizamiento exponencial de Holt. Este modelo es capaz de capturar tanto el nivel como la tendencia de los datos a lo largo del tiempo. Aunque en la serie analizada se identifica un marcado componente estacional —lo cual haría más pertinente el uso del modelo de Holt-Winters— la elección del modelo de Holt responde a restricciones metodológicas y herramientas disponibles. Aun así, el modelo de Holt ofrece una aproximación razonable para observar y proyectar la tendencia subyacente en la serie, aportando una base analítica válida dentro del marco de las posibilidades técnicas disponibles. Esta elección, aunque limitada, permite continuar con el estudio del comportamiento general de la demanda mensual sin omitir su evolución temporal más significativa.

3.2. Aplicación y evaluación de los modelos

Descomposición Multiplicativa

La metodología permitió proyectar la serie original a partir de la combinación de sus tres componentes: tendencia, estacionalidad e irregularidad. La tendencia fue estimada a través de una regresión lineal sobre los valores suavizados, mientras que la estacionalidad se extrajo de los factores estacionales calculados para cada posición relativa en el ciclo. El pronóstico no ajustado se obtuvo mediante la extrapolación de la tendencia lineal, al cual luego se aplicaron los factores estacionales correspondientes para obtener el pronóstico ajustado.

Los resultados muestran que el modelo genera valores de pronóstico que siguen de forma razonable el comportamiento esperado de la serie. En cuanto a la evaluación del modelo, los indicadores de error reportan un desempeño satisfactorio. El sesgo es prácticamente nulo (-1,25), lo que sugiere que el modelo no tiende a sobrestimar ni subestimar sistemáticamente la demanda. El MAD (Desviación Media Absoluta) se ubica en 61,30, mientras que el MSE (Error Cuadrático Medio) es de 5.594,85, y el Error Estándar asociado al modelo se sitúa en 95,68. Además, el MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) alcanza un valor de 4,68 %, lo cual indica un nivel de error bajo en términos relativos. Estos valores reflejan una adecuada capacidad predictiva, especialmente si se considera la variabilidad presente en la serie.

Finalmente, el coeficiente de correlación (r) entre los valores observados y ajustados alcanza 0,884, lo que implica una fuerte asociación lineal, y el coeficiente de determinación (r^2) de 0,782 indica que aproximadamente el 78% de la variabilidad en los datos puede explicarse por el modelo.



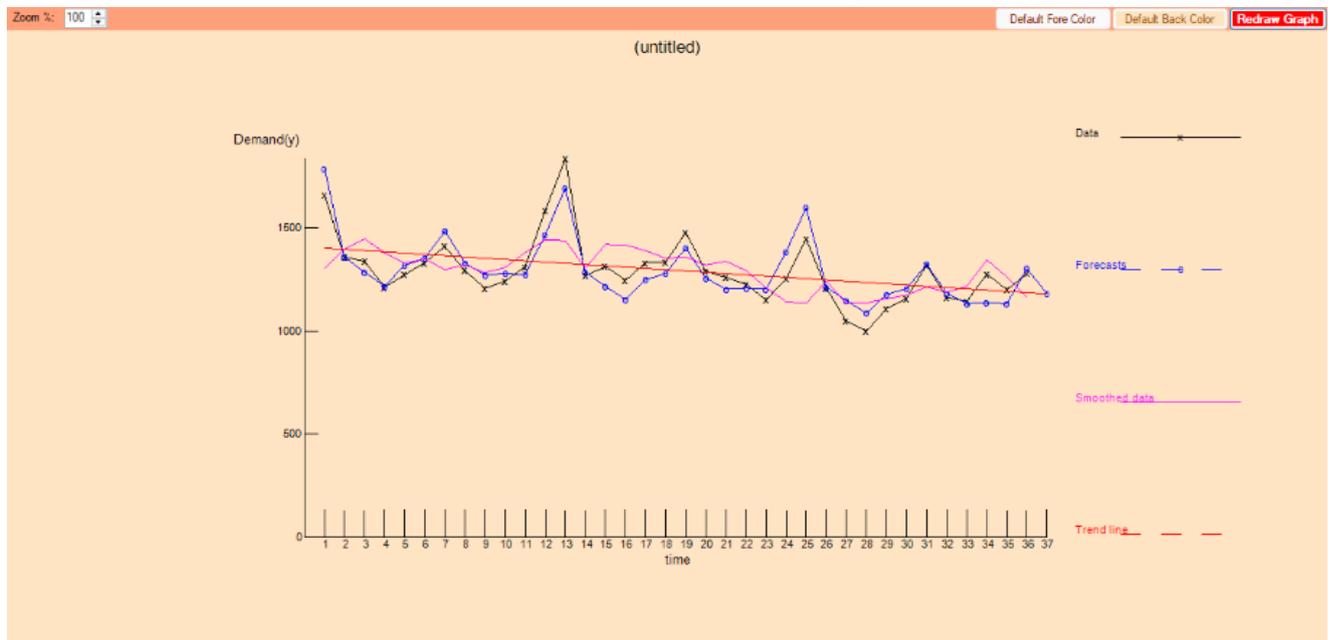
Tabla 2: Resultados de pronóstico mediante Descomposición Multiplicativa

Modelo de descomposicion Multiplicativa					
Measure	Value	Future Period	Unadjusted Forecast	Seasonal Factor	Adjusted Forecast
Error Measures		37	1179,677	1,275	1504,453
Bias (Mean Error)	-1,25	38	1173,49	0,972	1140,565
MAD (Mean Absolute Deviation)	61,303	39	1167,302	0,924	1079,068
MSE (Mean Squared Error)	5594,853	40	1161,115	0,88	1021,299
Standard Error (denom=n-2-12=22)	95,683	41	1154,928	0,958	1106,29
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	4,68%	42	1148,74	0,986	1132,115
Regression line (unadjusted forecast)		43	1142,553	1,088	1242,876
Demand(y) = 1408,61		44	1136,366	0,978	1111,501
		45	1130,178	0,941	1063,131
Statistics		46	1123,991	0,95	1067,231
Correlation coefficient	0,884	47	1117,804	0,95	1062,155
Coefficient of determination (r^2)	0,782	48	1111,616	1,099	1221,688

Fuente: Elaboración Propia mediante QM para Windows

A su vez, puede apreciarse que, gráficamente, el modelo de descomposición multiplicativa logra anticiparse a los patrones de estacionalidad observados en la serie, como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 3: Pronóstico de ventas mediante Descomposición Multiplicativa



Fuente: Elaboración Propia mediante QM para Windows

Suavizamiento Exponencial de Holt

El modelo de suavizamiento exponencial de Holt fue aplicado para capturar tanto el nivel como la tendencia de la serie temporal, sin considerar estacionalidad de manera explícita.

Dado que la serie presenta una tendencia leve y cierta variabilidad en los valores mensuales, se definieron los parámetros $\alpha = 0,2$ y $\beta = 0,1$. El valor bajo de α permite suavizar adecuadamente las fluctuaciones aleatorias de corto plazo, propias de series con ruido moderado a alto. Por su parte, un β bajo evita una sobre-reacción ante cambios leves en la tendencia, lo cual resulta adecuado cuando este componente es débil o poco pronunciado.

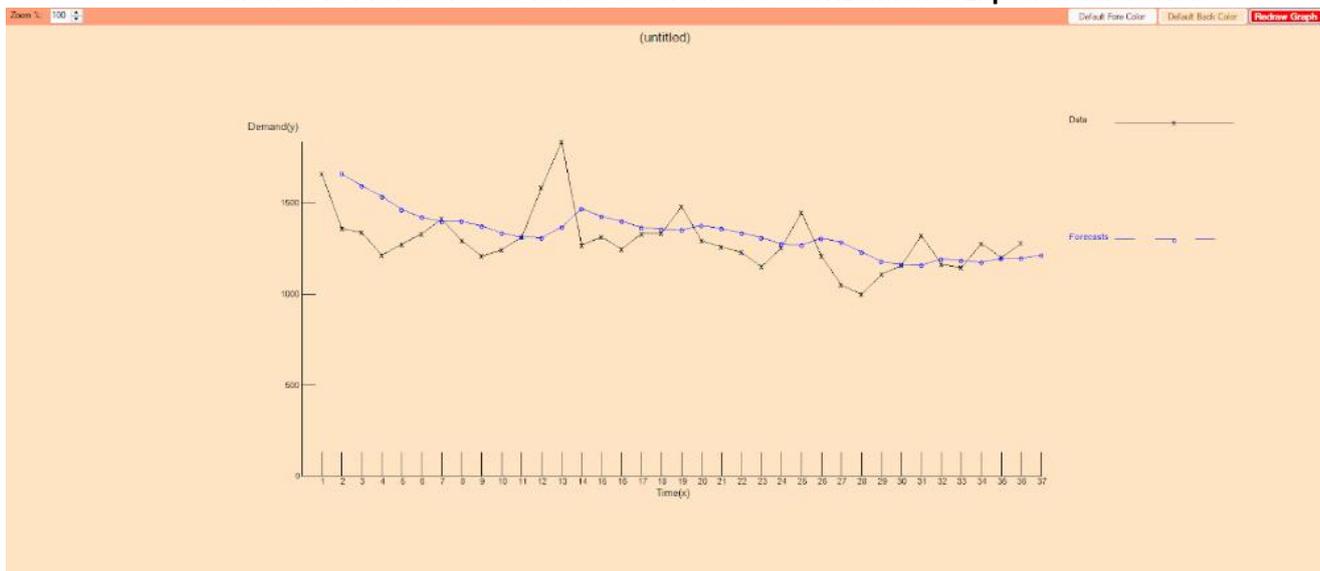
Tabla 3: Resultados de pronóstico mediante Suavizamiento Exponencial de Holt

Modelo de Suavizamiento exponencial de Holt	
Measure	Value
Error Measures	
Bias (Mean Error)	-51,767
MAD (Mean Absolute Deviation)	132,587
MSE (Mean Squared Error)	28475,49
Standard Error (denom=n-2=33)	173,785
MAPE (Mean Absolute Percent Error)	10,20%
Forecast	
Next period	1212,966

Fuente: Elaboración Propia mediante QM para Windows

Por otro lado, en la siguiente gráfica se observa que, si bien el modelo presenta un ajuste adecuado a la tendencia de la serie, no logra captar con precisión los patrones estacionales, como se muestra a continuación

Gráfico 4: Pronóstico de ventas de mediante Suavizamiento Exponencial de Holt



Fuente: Elaboración Propia mediante QM para Windows

El modelo generó un pronóstico para el siguiente período de 1212,97 unidades. En cuanto a la evaluación de su desempeño, se observó un sesgo de -51,77, indicando una subestimación sistemática. El MAD fue de 132,59, y el MSE alcanzó 28.475,49, ambos valores relativamente



altos en comparación con otros métodos aplicados. El error estándar se ubicó en 173,79, mientras que el MAPE fue de 10,20 %, lo que refleja un nivel de error porcentual significativo. Si bien el modelo logra representar de forma aceptable la tendencia de la demanda, los resultados muestran limitaciones en términos de precisión. Esto se debe principalmente a que no contempla explícitamente la estacionalidad, componente presente en la serie. Aun así, el modelo de Holt constituye una alternativa válida para pronosticar en contextos donde se prioriza la detección de tendencias y se busca evitar la sobreinterpretación de variaciones estacionales menores.

3.3 Comparación de modelos

Al comparar el modelo de descomposición multiplicativa con el modelo de suavizamiento exponencial de Holt, se observan diferencias significativas en cuanto al ajuste y la capacidad predictiva de cada uno.

En términos de pronóstico, la descomposición multiplicativa proyectó un valor ajustado de 1504,45 unidades, considerablemente superior al valor estimado por el modelo de Holt de 1212,97 unidades. La diferencia de 291,49 unidades puede atribuirse a que la descomposición incorpora el componente estacional, lo cual es coherente con el comportamiento observado de la serie.

Respecto a la precisión de los modelos, el MAD del modelo de Holt (132,59) duplica al obtenido por la descomposición (61,30), lo que refleja una mayor dispersión en los errores absolutos. Del mismo modo, el MAPE de Holt fue de 10,20 %, mientras que la descomposición logró un error porcentual medio de 4,68 %, una diferencia significativa de 5,52 puntos porcentuales, que refuerza la superioridad del modelo que considera estacionalidad.

Además, en métricas complementarias como el MSE, el modelo de Holt mostró una penalización más alta frente a errores extremos (28.475,49 frente a 5594,85), lo que sugiere menor robustez ante variaciones abruptas. El sesgo también fue más pronunciado en Holt (-51,77 frente a -1,25), indicando una mayor tendencia a subestimar la demanda real.

En conjunto, estos resultados muestran que, si bien ambos modelos permiten generar pronósticos, la descomposición multiplicativa ofrece un ajuste más preciso y representativo de la estructura de la serie, particularmente al incorporar adecuadamente la estacionalidad. El modelo de Holt, aunque presenta resultados válidos, también refleja sus limitaciones al no capturar ese componente estacional.

Tabla 4: Comparación de resultados de modelos de pronósticos

Modelo	Pronóstico	MAD	MAPE
Descomposición Multiplicativa	1504,453	61,303	4,68%
Modelo de Suavizamiento exponencial de Holt	1212,966	132,587	10,20%
Diferencia	291,487	71,284	5,52%

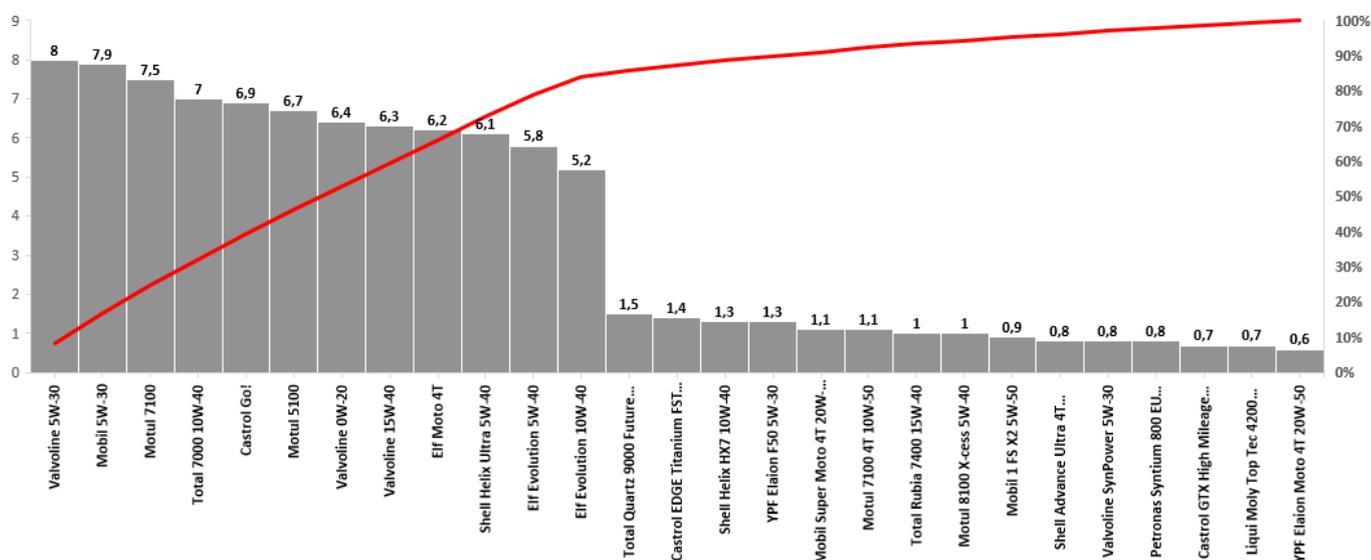
Fuente: Elaboración Propia

4. Programación Entera

Rojo Lubricentro ofrece una amplia gama de servicios y productos para vehículos, incluyendo servicios de mantenimiento (service) y venta de artículos como filtros, aceites, limpiaparabrisas, líquido de frenos, entre otros. Según los propios dueños, los aceites lubricantes en bidones son uno de los productos más importantes dentro del negocio. En el mercado existen distintos tipos

de aceites lubricantes, que varían según el tipo de vehículo y las características específicas de cada aceite, como viscosidad, marca, grado y uso recomendado. Esta diversidad implica que los márgenes de ganancia dentro de la misma categoría de producto pueden variar de manera importante. Dentro de la amplia variedad de aceites lubricantes que se comercializan, los dueños proporcionaron una lista de 12 productos (4 recomendados para cada tipo de vehículo: motos, autos y camionetas) que presentan la mayor rotación entre los disponibles, lo cual se evidencia en el gráfico 3. El objetivo principal de la empresa es determinar la combinación óptima de bidones de aceite lubricante a comercializar por cada categoría de vehículo, a fin de maximizar la contribución marginal total. Esto permitirá enfocar las estrategias de marketing y las decisiones de compra en los productos que generen la mayor rentabilidad para el negocio. Asimismo, los aceites para motos suelen comercializarse en bidones de 1 litro, y los de autos y camionetas en bidones de 4 litros. Esto también implica diferencias en el patrón de compra según el vehículo del cliente: quienes tienen motos o autos generalmente compran un bidón por transacción, mientras que quienes poseen camionetas compran entre 1 y 2 bidones debido a que el motor de estos vehículos es de mayor tamaño, requiriendo de mayor cantidad de aceite para su correcto funcionamiento.

Gráfico 5: Gráfico de Pareto de aceites lubricantes vendidos (Enero 2022 - Diciembre 2024)



Fuente: Elaboración Propia

El problema de optimización se modela con los siguientes elementos:

Variables de Decisión

Las variables de decisión estarán representadas por la cantidad de bidones de cada uno de los 12 tipos de aceites lubricantes identificados, que el lubricentro deberá mantener en stock o



planificar vender durante el período proyectado (enero de 2025). Estas se definen de la siguiente manera:

- X1:** Cantidad de bidones de Aceite Total 7000 10w40 por 4 litros (Auto)
- X2:** Cantidad de bidones de Aceite Elf Evolution 10w40 por 4 litros (Auto)
- X3:** Cantidad de bidones de Aceite Valvoline 0w20 por 4 litros (Auto)
- X4:** Cantidad de bidones de Aceite Valvoline 5w30 por 4 litros (Auto)
- X5:** Cantidad de bidones de Aceite Mobil 5w30 por 4 litros (Camioneta)
- X6:** Cantidad de bidones de Aceite Shell hélix ultra 5w40 por 4 litros (Camioneta)
- X7:** Cantidad de bidones de Aceite Elf Evolution 5w40 por 4 litros (Camioneta)
- X8:** Cantidad de bidones de Aceite Valvoline 15w40 por 4 litros (Camioneta)
- X9:** Cantidad de bidones de Aceite Motul 7100 por 1 litro (Moto)
- X10:** Cantidad de bidones de Aceite Motul 5100 por 1 litro (Moto)
- X11:** Cantidad de bidones de Aceite Elf Moto 4t por 1 litro (Moto)
- X12:** Cantidad de bidones de Aceite Castrol Go! por 1 litro (Moto)

Función Objetivo

La función objetivo del modelo es maximizar la contribución marginal total generada por la venta de bidones de aceite. Esto se logrará sumando la contribución marginal unitaria de cada tipo de aceite multiplicada por la cantidad de bidones de ese aceite a comercializar. Se expresará de la siguiente manera:

$$\text{FO: } X1 * 25.626,08 + X2 * 14.777,24 + X3 * 54.828,91 + X4 * 53.484,89 + X5 * 53.716,58 + X6 * 52.902,34 + X7 * 52.673,43 + X8 * 28.663,30 + X9 * 10.668,00 + X10 * 6.816,00 + X11 * 4.835,00 + X12 * 5.718,35$$

Restricciones

El modelo estará sujeto a las siguientes restricciones operativas y de mercado:

1. Según datos históricos, la demanda de aceites se distribuye de la siguiente manera: un 65% corresponde a autos, un 30% a camionetas y apenas un 5% a motos. Esta proporción se utilizó como base para segmentar la demanda total pronosticada mediante el modelo de descomposición multiplicativa, el cual estimó 1.504 clientes para el mes de enero de 2025. Se asumió, con base en el comportamiento observado, que cada cliente realiza la compra de al menos un bidón de aceite, lo cual permitió traducir directamente la cantidad de clientes en unidades demandadas.
2. Rojo Lubricentro cuenta con un espacio de almacenamiento para aceites lubricantes con una capacidad máxima de 2000 bidones. Sin embargo, para evitar capitales inmovilizados, la gerencia ha establecido que el stock total de bidones no debe exceder las 1600 unidades en un momento dado.
3. Por un acuerdo contractual con el proveedor principal, el Lubricentro debe garantizar una adquisición mínima de bidones para asegurar la disponibilidad de los productos de mayor rotación. Dicha provisión mínima se compone de 25 unidades para cada tipo de aceite para autos, 25 unidades para cada tipo de aceite para camioneta y 10 unidades para cada tipo de aceite para motos.
4. El presupuesto asignado para la compra de aceites de cualquier tipo no podrá exceder en su totalidad los \$41.000.000
5. Restricción de No Negatividad: Todas las variables de decisión deben ser no negativas ($X_i \geq 0$).



Matemáticamente, la restricciones se pueden expresar de esta manera:

- R1: $X_1+X_2+X_3+X_4 = 978$
- R2: $X_5+X_6+X_7+X_8 = 451$
- R3: $X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12} = 75$
- R4: $X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12} \leq 1600$
- R5: $X_1 \geq 25$
- R6: $X_2 \geq 25$
- R7: $X_3 \geq 25$
- R8: $X_4 \geq 25$
- R9: $X_5 \geq 25$
- R10: $X_6 \geq 25$
- R11: $X_7 \geq 25$
- R12: $X_8 \geq 25$
- R13: $X_9 \geq 10$
- R14: $X_{10} \geq 10$
- R15: $X_{11} \geq 10$
- R16: $X_{12} \geq 10$
- R17: $X_1*25.673,92+X_2*31.422,76+X_3*58.021,09+X_4*56.615,11 + X_5*56.883,42 + X_6*57.197,66 + X_7*56.926,57+ X_8*24.536,70 + X_9*6.432+ X_{10}*3.984 + X_{11}*6.665 + X_{12}*8.781,65 \leq 41.000,00$
- R18: $X_i \geq 0$ con $i=1,2, 3, \dots,12$

Al ejecutar Solver, considerando la función objetivo y las restricciones del modelo, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 5: Resultados de programación entera

Autos				Camionetas				Motos			
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
898	25	30	25	25	25	25	376	45	10	10	10
25.626,08	14.777,24	54.828,91	53.484,89	53.716,58	52.902,34	52.673,43	28.663,30	10.668,00	6.816,00	4.835,00	5.718,35

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la combinación óptima de aceites lubricante es la siguiente:

- 898 bidones de Total 7000 10w40
- 25 bidones de Elf Evolution 10w40
- 30 bidones de Valvoline 0w20
- 25 bidones de Valvoline 5w30
- 25 bidones de Mobil 5w30
- 25 bidones de Shell hélix ultra 5w40
- 25 bidones de Elf Evolution 5w40
- 376 bidones de Valvoline 15w40
- 45 bidones de Motul 7100
- 10 bidones de Motul 5100
- 10 bidones de Elf moto 4t
- 10 bidones de Castrol Go!

Esto implicaría una contribución marginal posible de **\$41.777.103,53**.



A su vez, se ejecutó Solver aplicando tanto Programación Lineal Entera como Continua, obteniéndose en ambos casos los mismos valores para las variables de decisión. Esto permitió comparar los enfoques utilizados y, al aplicar PLC, acceder a los informes de sensibilidad y análisis complementarios que enriquecen la interpretación de los resultados.

4.1 Análisis de Sensibilidad

Tabla 6: Informe de sensibilidad

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Coste	Objetivo Coeficiente	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$B\$3	Variables de Decision X1	897,4279707	0	25626,0801	4149,201287	1718,835812
\$C\$3	Variables de Decision X2	25	0	14777,24	16038,85824	1E+30
\$D\$3	Variables de Decision X3	30,57202932	0	54828,91	21696,39364	78,1045838
\$E\$3	Variables de Decision X4	25	0	53484,89	74,70974331	1E+30
\$F\$3	Variables de Decision X5	25	0	53716,58	4149,143552	1E+30
\$G\$3	Variables de Decision X6	25	0	52902,34	5247,077528	1E+30
\$H\$3	Variables de Decision X7	25	0	52673,43	5231,249112	1E+30
\$I\$3	Variables de Decision X8	376	0	28663,3	1E+30	4149,143552
\$J\$3	Variables de Decision X9	45	0	10668	1E+30	1641,960378
\$K\$3	Variables de Decision X10	10	0	6816	1641,960378	1E+30
\$L\$3	Variables de Decision X11	10	0	4835	6043,350993	1E+30
\$M\$3	Variables de Decision X12	10	0	5718,35	7070,899836	1E+30

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Sombra Precio	Restricción Lado derecho	Permisible Aumentar	Permisible Reducir
\$N\$11	Stock maximo de bidones FO	1504	0	1600	1E+30	96
\$N\$12	Stock mínimo de bidones de Aceite Total 7000 10w40 FO	897,4279707	0	25	872,4279707	1E+30
\$N\$13	Stock mínimo de bidones de Elf evolution 10w40 (Auto) FO	25	-16038,85824	25	31,35230362	25
\$N\$14	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Evolution 10w40 FO	30,57202932	0	25	5,572029323	1E+30
\$N\$15	Stock mínimo de bidones de Aceite Total 7000 10w40 FO	25	-74,70974331	25	5,825224554	25
\$N\$16	Stock mínimo de bidones de Aceite Valvoline 15w40 FO	25	-4149,143552	25	5,572106857	25
\$N\$17	Stock mínimo de bidones de Aceite Shell Helix Ultra 5w40 FO	25	-5247,077528	25	5,518496097	25
\$N\$18	Stock mínimo de bidones de Aceite Mobil 5w30 FO	25	-5231,249112	25	5,564683659	25
\$N\$19	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Evolution 5w40 FO	376	0	25	351	1E+30
\$N\$20	Stock mínimo de bidones de Aceite Motul 7100 FO	45	0	10	35	1E+30
\$N\$21	Stock mínimo de bidones de Aceite Motul 5100 FO	10	-1641,960378	10	35	10
\$N\$22	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Moto 4t FO	10	-6043,350993	10	35	10
\$N\$23	Stock mínimo de bidones de Aceite Castrol Go! FO	10	-7070,899836	10	35	10
\$N\$24	Presupuesto total asignado FO	41000000	0,9027939634	41000000	28220575,97	180239,3803
\$N\$8	Demanda de aceites de autos FO	978	2447,820197	978	7,020329619	486,384795
\$N\$9	Demanda de aceites de camionetas FO	451	6511,715358	451	7,345705832	351
\$N\$10	Demanda de aceites de motos FO	75	4861,229227	75	28,02229171	35

Fuente: Complemento Solver de Excel

Rango de Optimalidad

El rango de optimalidad señala cuánto puede modificarse el coeficiente de la función objetivo (beneficio por unidad) de cada variable sin que cambie la combinación óptima de productos seleccionados. Por ejemplo, el aceite para autos Total 7000 10w40, con un coeficiente objetivo de \$25.626,08, puede variar entre \$23.907,24 y \$29.775,28 sin alterar la solución óptima. En el caso del aceite para camionetas Mobil 5w30, su coeficiente objetivo actual es de \$53.716,58 y presenta un rango de optimalidad de $(-\infty$ a \$57.865,72). Este comportamiento, en el que el límite inferior es negativo infinito, se explica por la existencia de restricciones de compra mínima



impuestas por el proveedor, lo que obliga a adquirir estos productos incluso si sus márgenes de ganancia disminuyen, asegurando así su inclusión en la solución óptima.

Precio Sombra

El precio sombra refleja el impacto marginal de las restricciones sobre la función objetivo, en este caso el beneficio total, donde valores positivos indican oportunidades de mejora y valores negativos costos asociados a incrementar las exigencias. En este análisis, se destacan tres aspectos principales: las demandas para camionetas (\$6,511.71), motos (\$4,861.23) y autos (\$2,447.82) presentan los precios sombra más elevados, señalando que ampliar estos mercados generaría ganancias proporcionales, con las camionetas mostrando el mayor potencial; varias restricciones de stock mínimo, especialmente para el Elf Evolution 10w40 (Auto) con un precio sombra de -\$16,038.86, implican costos significativos por exigir cantidades adicionales, lo que sugiere una asignación ineficiente de recursos; finalmente, restricciones como el stock máximo total de bidones, que presenta una holgura de 96 unidades, y ciertos mínimos como el Motul 7100, con precio sombra cero, indican que sus modificaciones no afectarían la solución óptima dentro de los rangos actuales.

Rango de Factibilidad

Los rangos de factibilidad establecen los márgenes dentro de los cuales las restricciones pueden ajustarse sin alterar la estructura de la solución óptima. En cuanto a la flexibilidad de la demanda, la demanda de aceite de autos puede incrementarse en hasta 7 unidades (de 978 a 985) antes de requerir una reoptimización; para camionetas, el margen es de 7.3 unidades (hasta 458.3), mientras que los aceites de motos admiten un aumento de hasta 28 unidades (hasta 103). Por otro lado, los stocks mínimos de aceites como Valvoline 15w40 y Shell Helix Ultra 5w40 se encuentran justo en su límite inferior de 25 bidones, por lo que cualquier reducción en estos niveles modificaría la solución, confirmando que son restricciones activas y vinculantes. En cuanto a los recursos, el presupuesto total de \$41 millones presenta un rango superior amplio, pudiendo aumentar hasta \$68.2 millones, lo que sugiere que una mayor inversión podría mejorar el beneficio en \$0.90 por cada peso argentino adicional; en contraste, el stock máximo de bidones solo puede reducirse en 96 unidades (de 1,600 a 1,504) antes de convertirse en una restricción activa.



4.2 Informe de Respuestas

Tabla 7: Informe de respuestas

Restricciones					
Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$N\$11	Stock máximo de bidones FO	1.504	\$N\$11<=\$P\$11	No vinculante	96
\$N\$12	Stock mínimo de bidones de Aceite Total 7000 10w40 FO	897	\$N\$12>=\$P\$12	No vinculante	872
\$N\$13	Stock mínimo de bidones de Elf evolution 10w40 (Auto) FO	25	\$N\$13>=\$P\$13	Vinculante	-
\$N\$14	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Evolution 10w40 FO	31	\$N\$14>=\$P\$14	No vinculante	6
\$N\$15	Stock mínimo de bidones de Aceite Total 7000 10w40 FO	25	\$N\$15>=\$P\$15	Vinculante	-
\$N\$16	Stock mínimo de bidones de Aceite Valvoline 15w40 FO	25	\$N\$16>=\$P\$16	Vinculante	-
\$N\$17	Stock mínimo de bidones de Aceite Shell Helix Ultra 5w40 F	25	\$N\$17>=\$P\$17	Vinculante	-
\$N\$18	Stock mínimo de bidones de Aceite Mobil 5w30 FO	25	\$N\$18>=\$P\$18	Vinculante	-
\$N\$19	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Evolution 10w40 FO	376	\$N\$19>=\$P\$19	No vinculante	351
\$N\$20	Stock mínimo de bidones de Aceite Motul 7100 FO	45	\$N\$20>=\$P\$20	No vinculante	35
\$N\$21	Stock mínimo de bidones de Aceite Motul 5100 FO	10	\$N\$21>=\$P\$21	Vinculante	-
\$N\$22	Stock mínimo de bidones de Aceite Elf Moto 4t FO	10	\$N\$22>=\$P\$22	Vinculante	-
\$N\$23	Stock mínimo de bidones de Aceite Castrol Go! FO	10	\$N\$23>=\$P\$23	Vinculante	-
\$N\$24	Presupuesto total asignado FO	41.000.000	\$N\$24<=\$P\$24	Vinculante	0
\$N\$8	Demanda de aceites de autos FO	978	\$N\$8=\$P\$8	Vinculante	0
\$N\$9	Demanda de aceites de camionetas FO	451	\$N\$9=\$P\$9	Vinculante	0
\$N\$10	Demanda de aceites de motos FO	75	\$N\$10=\$P\$10	Vinculante	0

Fuente: Complemento Solver de Excel

El informe de respuestas del modelo identifica claramente las restricciones críticas y aquellas con margen de flexibilidad. Las restricciones vinculantes - aquellas con holgura cero - incluyen los stocks mínimos de aceites como Valvoline 5w30, Total 7000 10w40 y Motul 5100, que operan exactamente en su límite inferior requerido, demostrando que el modelo los utiliza al mínimo necesario para cumplir con las exigencias sin incurrir en costos adicionales. Asimismo, el presupuesto total de \$41 millones y las demandas específicas por categoría (autos, camionetas y motos) también son vinculantes, lo que confirma que estos factores son determinantes en la solución óptima alcanzada. Por otro lado, las restricciones no vinculantes, como el stock máximo de bidones (que presenta una holgura de 96 unidades) y algunos stocks mínimos como el Elf Evolution 10w40 para autos (con holgura de 6 unidades) y Motul 7100 (con holgura de 35 unidades), indican que existen recursos subutilizados que no están limitando actualmente la solución, lo que podría representar oportunidades para ajustes futuros en la gestión de inventarios sin afectar el resultado óptimo. Este análisis revela que el modelo está aprovechando eficientemente los recursos restrictivos mientras mantiene márgenes de flexibilidad en aquellos menos críticos.



4.3 Informe de Límites

Tabla 8: Informe de límites

Celda	Objetivo Nombre	Valor
§N\$4	Coeficiente de las variables FO	41.7

Celda	Variable Nombre	Valor	Inferior Límite	Objetivo Resultado	Superior Límite	Objetivo Resultado
§B\$3	Variables de Decision X1	897	897	41793808	897	41793808
§C\$3	Variables de Decision X2	25	25	41793808	25	41793808
§D\$3	Variables de Decision X3	31	31	41793808	31	41793808
§E\$3	Variables de Decision X4	25	25	41793808	25	41793808
§F\$3	Variables de Decision X5	25	25	41793808	25	41793808
§G\$3	Variables de Decision X6	25	25	41793808	25	41793808
§H\$3	Variables de Decision X7	25	25	41793808	25	41793808
§I\$3	Variables de Decision X8	376	376	41793808	376	41793808
§J\$3	Variables de Decision X9	45	45	41793808	45	41793808
§K\$3	Variables de Decision X10	10	10	41793808	10	41793808
§L\$3	Variables de Decision X11	10	10	41793808	10	41793808
§M\$3	Variables de Decision X12	10	10	41793808	10	41793808

Fuente: Complemento Solver de Excel

El informe de límites identifica los rangos viables para cada variable de decisión dentro de las restricciones del modelo, destacando dos comportamientos clave: por un lado, el Aceite Valvoline 15w40 para camionetas (X8) alcanza 376.2 bidones, superando ampliamente su mínimo requerido (25 bidones), lo que indica que su inclusión contribuye significativamente a la función objetivo (\$41.7) sin estar limitada por restricciones activas, reflejando un alto aporte marginal; por otro lado, variables como los aceites para moto Motul 5100 (X10), Elf Moto 4T (X11) y Castrol Go! (X12) operan en su mínimo exigido (10 bidones), sugiriendo que su presencia responde principalmente al cumplimiento de restricciones y no a una contribución relevante al beneficio, lo que se evidencia en su bajo impacto marginal (precio sombra reducido o nulo), indicando que incrementarlos no mejoraría el resultado

Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo principal la aplicación de metodologías de Análisis Cuantitativo de Negocios para estimar la demanda futura y optimizar la mezcla de productos en Rojo Lubricentro, unificando la planificación estratégica y la maximización de la rentabilidad operativa.

La investigación se desarrolló en dos etapas fundamentales. En la fase de pronósticos de demanda, se evaluaron el modelo de Descomposición Multiplicativa y el Suavizamiento Exponencial de Holt para las series históricas de ventas. Los resultados confirmaron que la



Descomposición Multiplicativa fue el modelo más adecuado, exhibiendo un MAD de 61.30 (frente a 132.59 de Holt) y un MAPE del 4.68%, lo cual demuestra una mejor capacidad para capturar la estacionalidad y la tendencia inherente a la demanda del lubricentro. Este modelo proporcionó proyecciones de demanda robustas para enero de 2025, sirviendo como insumo crítico para la siguiente fase.

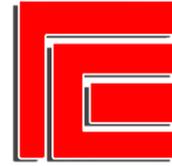
Posteriormente, se formuló y resolvió un modelo de programación lineal diseñado para maximizar la contribución marginal total. Este modelo consideró la demanda pronosticada, las 12 variedades de aceites de mayor rotación y un conjunto de restricciones operativas, incluyendo el presupuesto, la capacidad de almacenamiento (máximo 1600 bidones para capital inmovilizado y 2000 bidones de capacidad física), las proporciones mínimas de venta por categoría (45% para camionetas), y las provisiones mínimas contractuales con proveedores (100 bidones por tipo para autos y camionetas, y 50 para motos). La solución óptima de este modelo arrojó una contribución marginal máxima de \$41.777.103, utilizando 1.504 bidones del stock disponible, lo que valida la viabilidad de la solución dentro de las restricciones establecidas.

El análisis de sensibilidad de la solución óptima proporcionó valiosos insights gerenciales. Se observó que, si bien algunos productos como Valvoline 5w30 mostraron robustez ante cambios en su rentabilidad, otros, como Elf Moto 4T, fueron incluidos en la mezcla óptima principalmente para cumplir con las provisiones mínimas contractuales. La existencia de precios sombra negativos asociados a ciertas restricciones mínimas (ej., mínimo de Valvoline 5w30) indica que la imposición de estos requisitos contractuales reduce el beneficio total posible, ofreciendo un punto clave para futuras negociaciones con proveedores. Además, la capacidad de almacenamiento (94% de utilización) se identificó como la restricción más crítica, señalando un cuello de botella potencial en la operación. Este tipo de análisis es fundamental para comprender la robustez de la solución y anticipar cómo los cambios en las condiciones del mercado o los costos/ganancias pueden afectar la estrategia óptima.

En síntesis, la integración de modelos de pronóstico cuantitativos con técnicas de optimización lineal ha permitido trascender la toma de decisiones intuitiva en el Lubricentro Rojo. El enfoque aplicado no solo proporciona una base analítica sólida y herramientas precisas para la planificación de inventarios, asignación de recursos y maximización de la rentabilidad, sino que también permite a la gerencia anticiparse a las fluctuaciones del mercado y negociar de manera más efectiva con sus proveedores, asegurando una gestión más eficiente y adaptable en un entorno empresarial dinámico.

Recomendaciones

Para transformar la toma de decisiones y potenciar el crecimiento, Rojo Lubricentro debe priorizar la **sistematización de sus datos de ventas**. Esto implica no solo registrar, sino también organizar la información de los servicios y productos vendidos (aceites, filtros, etc.) por tipo de vehículo y fecha. A partir de esta base, es fundamental realizar un **análisis exploratorio simple**



para identificar patrones recurrentes, como estacionalidades mensuales (ej., más ventas de ciertos aceites en vacaciones) o tendencias de crecimiento/decrecimiento. Con esta información visualizada en gráficos sencillos, la gerencia podrá anticipar de forma más efectiva los picos y valles de demanda, lo que les permitirá optimizar la planificación de inventarios, evitando el exceso de stock y las faltantes de productos clave que impactan directamente en el servicio al cliente y la rentabilidad.

Un segundo pilar clave es la **gestión de la rentabilidad por producto**. Rojo Lubricentro debe calcular y monitorear constantemente el margen de contribución de cada tipo de aceite y servicio ofrecido, considerando sus costos directos. Esto permitirá identificar los productos "estrella" que generan mayores ganancias y aquellos con bajo rendimiento. Basándose en este análisis, la empresa podrá ajustar su mix de productos, priorizando la compra y promoción de los artículos más rentables. Adicionalmente, se recomienda establecer **niveles de stock mínimos y máximos basados en el volumen de ventas históricas y las proyecciones simples**, para asegurar la disponibilidad de los productos de alta rotación y margen, optimizando así el capital de trabajo y la eficiencia del espacio de almacenamiento.

Referencias

- Hernández Sampieri R., Mendoza Torres C.P. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc-Graw Hill.
- Hillier F., Hillier M. (2008). *Métodos cuantitativos para administración*. Mc-Graw Hill.
- Hillier F., Liberman G. (2012). *Investigación de operaciones*. Mc-Graw Hill.
- Render B., Stair R., Hanna M. (2013). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Pearson.
- Winston W. (2004). *Investigación de operaciones*. Mc-Graw Hill.