



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Implementación de un sistema de planificación de la demanda  
para mejorar la eficiencia operativa en una empresa de reciclaje  
de plásticos y metales ferrosos”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

**Presentada por:**

**Lisette Guadalupe Hurtado Baque**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2025**

## DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este proyecto de titulación

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y luz en cada paso de este camino académico, brindándome sabiduría, su compañía no dejándome sola en ningún instante en este proceso y perseverancia para alcanzar esta meta profesional.

A mi amado esposo, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión durante las largas jornadas de estudio y trabajo. Tu aliento constante ha sido fundamental para culminar con éxito esta etapa.

A mi familia, pilar fundamental en mi vida, por su amor, motivación y confianza inquebrantable en mis capacidades. Sus enseñanzas y valores han forjado la persona que soy hoy.

Este logro es también de ustedes.

**Lisette Hurtado Baque**

## TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**Jenny Gutiérrez López, Ph.D.**

Profesor de Materia

---

**Ma. Fernanda López Sarzosa,  
M.Sc**

Tutor de proyecto

## DECLARACIÓN EXPRESA

Yo/ LISSETTE GUADALUPE HURTADO BAQUE acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 7 de diciembre del 2024.

---

Lisette Guadalupe Hurtado Baque

## RESUMEN

El presente proyecto consistió en un estudio para implementar un sistema de planificación de la demanda en una empresa ecuatoriana dedicada al reciclaje de plásticos y metales ferrosos, con el objetivo de mejorar su eficiencia operativa. La investigación identificó problemas críticos como el sobrestock de materias primas, desviaciones significativas entre volúmenes presupuestados y reales, y alta sensibilidad a fluctuaciones de precios internacionales, factores que afectaban negativamente la rentabilidad de la organización.

Mediante un análisis exhaustivo de datos históricos y utilizando técnicas estadísticas avanzadas, se evaluaron diversos modelos predictivos, determinando que el método Holt-Winters era el más adecuado para pronosticar la demanda de ambos productos principales. Este modelo permitió capturar simultáneamente tendencias y patrones estacionales, generando proyecciones diferenciadas para cada línea productiva: tendencia creciente para chatarra y decreciente para plástico film.

La implementación del sistema S&OP se estructuró en un ciclo mensual de cuatro fases que integró eficazmente las áreas de producción, comercial y logística. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en los indicadores de eficiencia global (KG/HH), reducción de variabilidad operativa y aumento en márgenes de rentabilidad.

El proyecto demuestra que una planificación de demanda basada en modelos cuantitativos robustos puede transformar la gestión operativa y financiera en empresas del sector de reciclaje, especialmente en entornos caracterizados por alta volatilidad de mercado.

**Palabras clave:** Planificación de demanda, S&OP, Holt-Winters, eficiencia operativa, reciclaje, pronósticos, gestión de inventarios, volatilidad de precios.

## ABSTRACT

The present project consisted of a study to implement a demand planning system in an Ecuadorian company dedicated to recycling plastics and ferrous metals, with the aim of improving its operational efficiency. The research identified critical issues such as raw material overstock, significant deviations between budgeted and actual volumes, and high sensitivity to international price fluctuations, factors that negatively affected the organization's profitability.

Through comprehensive analysis of historical data and using advanced statistical techniques, various predictive models were evaluated, determining that the Holt-Winters method was the most suitable for forecasting demand for both main products. This model allowed for the simultaneous capture of trends and seasonal patterns, generating differentiated projections for each production line: an increasing trend for scrap metal and a decreasing trend for plastic film.

The S&OP system implementation was structured in a monthly four-phase cycle that effectively integrated the production, commercial, and logistics areas. The results showed significant improvements in global efficiency indicators (KG/HH), reduction of operational variability, and increased profit margins.

The project demonstrates that demand planning based on robust quantitative models can transform operational and financial management in recycling sector companies, especially in environments characterized by high market volatility.

**Keywords:** Demand planning, S&OP, Holt-Winters, operational efficiency, recycling, forecasting, inventory management, price volatility.

# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	I
<b>ABSTRACT</b> .....	II
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Descripción del problema .....	4
1.3. Objetivos .....	8
1.3.1. Objetivo general .....	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
<b>CAPITULO 2</b> .....	9
2. Metodología.....	9
2.1. Recopilación de datos .....	9
2.1.1. Históricos de ventas .....	9
2.1.2. Datos del mercado .....	10
2.1.3. Fluctuaciones de precios.....	12
2.2. Modelos de previsión de demanda análisis de datos.....	15
2.2.1. Métricas de error de previsión análisis de datos .....	15
2.2.2. Métricas de sesgo de previsión .....	17
2.3. Cronograma de actividades.....	18
2.4. Análisis de datos .....	18
2.4.1. Limpieza y preparación de datos .....	18
2.4.2. Análisis de fluctuaciones de precios .....	20
2.5. Desarrollo del S&OP .....	21
2.5.1. Enfoque metodológico.....	22
2.5.2. Análisis de modelación para la planificación de la demanda .....	22
2.5.2.1. Análisis de la serie temporal de ventas.....	23
2.5.2.2. Descomposición de la serie temporal .....	24
2.5.2.3. Evaluación de modelos de pronóstico .....	27
2.5.2.4. Comparativa de modelos y selección del modelo óptimo.....	35
2.5.2.5. Evaluación de métricas de error y sesgo del modelo seleccionado .....	36

2.5.2.6.	Impacto en la planificación operativa .....	38
2.5.2.7.	Proyección para la planificación operativa .....	38
2.5.3.	Análisis de variabilidad de costos y demanda.....	39
2.5.4.	Evaluación de precisión del pronóstico.....	40
2.5.5.	Impacto del S&OP en los objetivos estratégicos.....	41
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>42</b>
3.	Aplicación y desarrollo del modelo.....	42
3.1.	Diseño del proceso S&OP con enfoque operacional .....	42
3.1.1.	Estructura del ciclo de planificación.....	42
3.1.2.	Roles y responsabilidades en el proceso S&OP.....	43
3.2.	Análisis de la Capacidad Operativa y Limitaciones de Recursos.....	43
3.3.	Análisis de brechas entre capacidad y demanda proyectada .....	44
3.4.	Implementación del S&OP basado en pronósticos Holt-Winters.....	45
3.4.1.	Plan de producción basado en pronósticos .....	45
3.5.	Estrategias operativas específicas .....	46
3.5.1.	Determinación de costos y análisis financiero .....	48
3.5.2.	Inversión requerida y análisis de retorno .....	49
3.5.3.	Plan de implementación y seguimiento .....	50
3.5.3.1.	Plan de implementación por fases.....	50
3.5.3.2.	Sistema de control y seguimiento .....	51
3.6.	Evaluación y ajuste continuo del sistema S&OP .....	52
<b>CAPITULO 4</b>	.....	<b>53</b>
4.	Análisis y resultados de la implementación del S&OP .....	53
4.1.1.	Análisis comparativo del indicador de eficiencia global mensual. ....	53
4.1.2.	Análisis del Impacto Financiero .....	55
<b>CAPITULO 5</b>	.....	<b>57</b>
5.	Conclusiones y Recomendaciones .....	57
5.1.	Conclusión .....	57
5.2.	Recomendaciones.....	58
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	.....	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ÍNDICES ESTACIONALES - CHATARRA.....	25
TABLA 2 ÍNDICES ESTACIONALES - PLÁSTICO FILM .....	26
TABLA 3 PRONÓSTICOS SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE - CHATARRA.....	28
TABLA 4 PRONÓSTICOS MÉTODO SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE - PLÁSTICO FILM .....	29
TABLA 5 PRONÓSTICOS MÉTODO DE HOLT - CHATARRA.....	30
TABLA 6 PRONÓSTICOS MÉTODO HOLT - PLÁSTICO FILM .....	31
TABLA 7 PRONÓSTICOS MÉTODO HOLT-WINTER - CHATARRA .....	33
TABLA 8 PRONÓSTICOS MÉTODO HOLT-WINTER – PLÁSTICO FILM .....	34
TABLA 9 COMPARATIVO MÉTODOS EVALUADOS - CHATARRA.....	35
TABLA 10 COMPARATIVO MÉTODOS EVALUADOS - PLÁSTICO FILM.....	36
TABLA 11 ANÁLISIS DE ERROR DE PRONÓSTICO HOLT-WINTERS.....	37
TABLA 12 ANÁLISIS DE SESGO DE PRONÓSTICO HOLT-WINTERS .....	37
TABLA 13 PRONÓSTICO HOLT-WINTERS Y PLAN DE PRODUCCIÓN - COMPACTADO CHATARRA.....	45
TABLA 14 PRONÓSTICO HOLT-WINTERS Y PLAN DE PRODUCCIÓN - PELLETIZADO PLÁSTICO FILM.....	46
TABLA 15 ESTRUCTURA DE COSTOS ACTUAL POR LÍNEA PRODUCTIVA.....	48
TABLA 16 PROYECCIÓN FINANCIERA MENSUAL - COMPACTADO CHATARRA .....	48
TABLA 17 PROYECCIÓN FINANCIERA MENSUAL - PELLETIZADO PLÁSTICO FILM .....	49
TABLA 18 ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESCENARIOS DE INVERSIÓN .....	49
TABLA 19 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN POR FASES S&OP .....	50
TABLA 20 SISTEMA DE INDICADORES DE CONTROL S&OP .....	51
TABLA 21 IMPACTO EN ESTRUCTURA DE COSTOS.....	55
TABLA 22 IMPACTO EN RENTABILIDAD OPERATIVA .....	56
TABLA 23 BENEFICIO ANUAL PROYECTADO .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 CICLO OPERATIVO – PLÁSTICO.....	1
FIGURA 1.2 CICLO OPERATIVO – CHATARRA.....	2
FIGURA 1.3 RAZÓN INGRESO/SALIDA (UNIDADES INGRESADAS POR UNIDAD SALIDA) ..	2
FIGURA 1.4 PORCENTAJE RAZÓN INGRESO/SALIDA .....	3
FIGURA 1.5 TONELAJE DE COMPRAS DE MATERIA PRIMA 2022-2024 .....	4
FIGURA 1.6 VARIACIÓN (%) COMPRAS DE MATERIA PRIMA 2022 - 2024 .....	5
FIGURA 1.7 INDICADOR DE EFICIENCIA GLOBAL MENSUAL – PROCESO COMPACTADO CHATARRA.....	7
FIGURA 1.8 INDICADOR DE EFICIENCIA GLOBAL MENSUAL– PROCESO PELLETIZADO PLÁSTICO FILM.....	8
FIGURA 2.1 RESUMEN DE VOLÚMENES PRESUPUESTADOS VS. REALES (2023-2024) 10	
FIGURA 2.2 PRECIOS HISTÓRICOS DE LA CHATARRA (2021-2024).....	12
FIGURA 2.3 PRECIOS HISTÓRICOS PLÁSTICO VIRGEN (2021-2024) .....	13
FIGURA 2.4 PROYECCIÓN DE PRECIO DE LA CHATARRA (NOV 2024-MAR 2025) .....	14
FIGURA 2.4 PROYECCIÓN DE PRECIO PLÁSTICO VIRGEN (NOV 2024-MAR 2025).....	14
FIGURA 2.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	18
FIGURA 2.6 EVOLUCIÓN DE LAS VENTAS DE MATERIALES CHATARRA (2022 - 2024) ..	23
FIGURA 2.7 VENTAS TOTALES PLÁSTICO FILM (2023 - 2024).....	24
FIGURA 2.8 GRÁFICA DESCOMPOSICIÓN DE SERIE TEMPORAL - CHATARRA.....	25
FIGURA 2.9 GRÁFICA DESCOMPOSICIÓN SERIE TEMPORAL - PELLETIZADO PLÁSTICO FILM .....	26
FIGURA 2.10 GRÁFICA SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE - CHATARRA.....	28
FIGURA 2.11 GRÁFICA MÉTODO DE HOLT - CHATARRA.....	30
FIGURA 2.12 GRÁFICA MÉTODO DE HOLT - PLÁSTICO FILM .....	31
FIGURA 2.13 GRÁFICA MÉTODO HOLT-WINTER – CHATARRA .....	33
FIGURA 2.14 GRÁFICA MÉTODO HOLT-WINTER – PLÁSTICO FILM .....	34
FIGURA 4.1 EVOLUCIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA GLOBAL MENSUAL PROCESO - COMPACTADO CHATARRA (2024 - 2025) .....	53
FIGURA 4.2 EVOLUCIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA GLOBAL MENSUAL – PROCESO PELLETIZADO PLÁSTICO FILM (2024 - 2025) .....	54

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

La empresa sujeta a estudio es un referente en el reciclaje de plásticos y metales ferrosos en Ecuador. Sus operaciones se centran en la recuperación y transformación de materiales reciclables para producir pellets plásticos y pacas compactadas de chatarra, cumpliendo con los estándares de calidad para mercados nacionales e internacionales. Ubicada en el cantón Durán, la empresa procesa anualmente un promedio de 75,52 toneladas de plásticos reciclados y 13.000 toneladas de chatarra metálica.

Entre sus principales clientes se encuentran empresas del sector de construcción, manufactura y exportación, destacándose por su compromiso con la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de normativas locales e internacionales.

El reciclaje de plásticos y metales ferrosos ha ganado relevancia en los últimos años debido a las crecientes preocupaciones medioambientales y las regulaciones internacionales. En Ecuador, la gestión de residuos se ha fortalecido con la promulgación de la Ley Orgánica para la Gestión Integral de Residuos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019), que promueve la valorización de materiales reciclables. A nivel global, iniciativas como el Pacto Verde Europeo han establecido metas estrictas, como alcanzar un 25% de contenido reciclado en envases plásticos para 2025 (European Union, 2022).

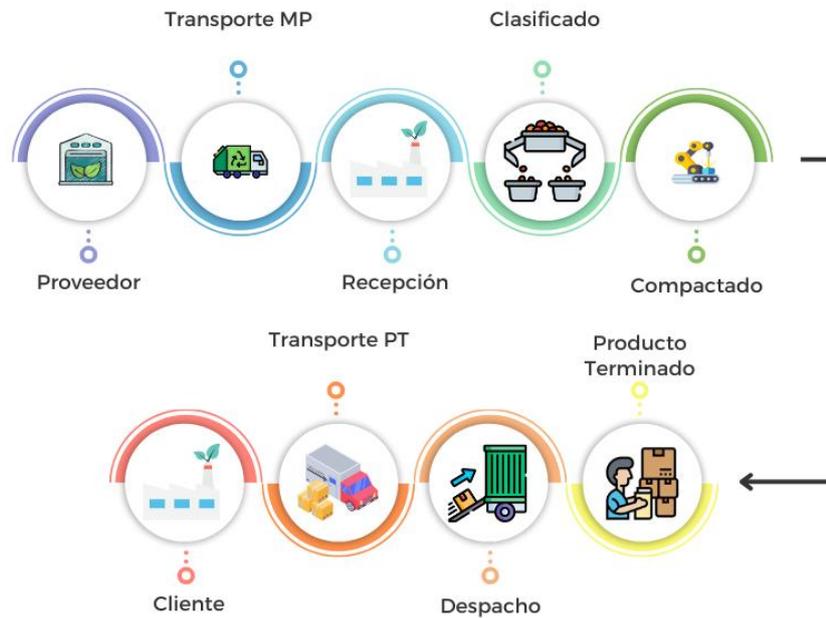


**Figura 1.1 Ciclo Operativo – plástico**

Fuente: Autor

## CICLO OPERATIVO

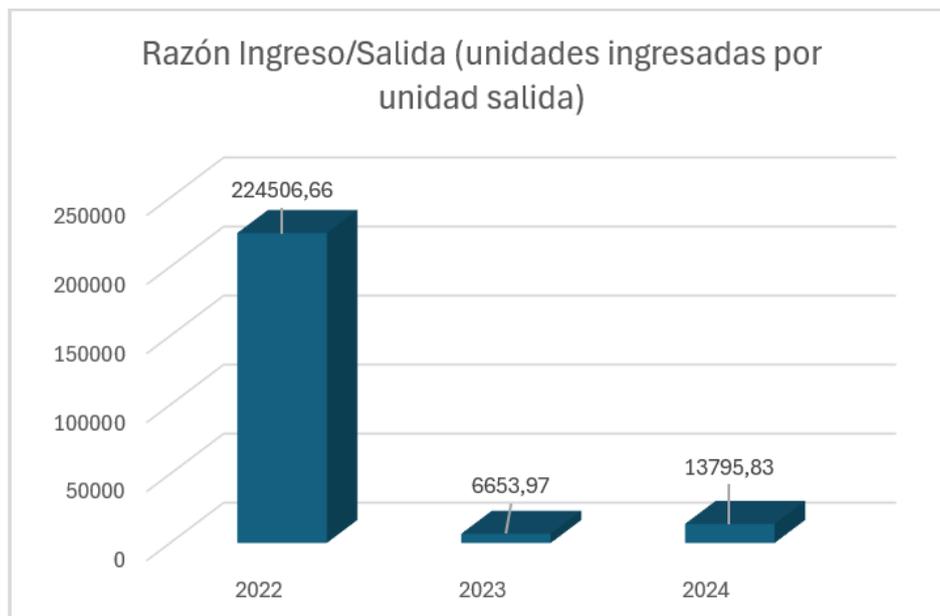
Chatarra



**Figura 1.2 Ciclo Operativo – chatarra**

Fuente: Autor

Uno de los principales problemas identificados es la gestión de inventarios de la empresa es la acumulación excesiva de materia prima (sobrestock), lo que impacta negativamente en la planificación de la producción y la eficiencia operativa.



**Figura 1.3 Razón Ingreso/Salida (unidades ingresadas por unidad salida)**

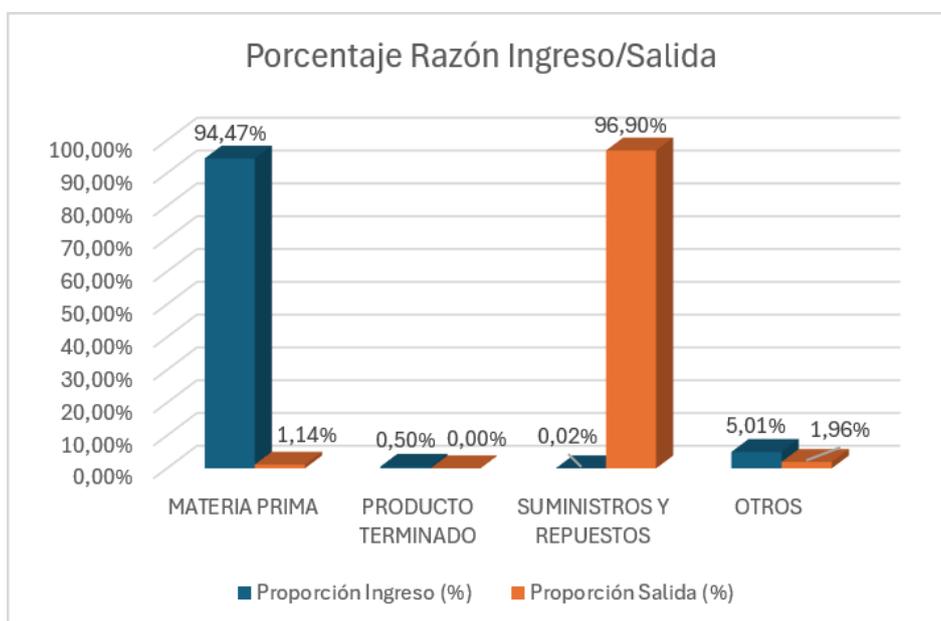
Fuente: Autor

Nota: Datos de 2024 hasta octubre

En el gráfico se detallan los ingresos y salidas anuales en unidades físicas para materias primas y la **razón ingreso/salida**, que indica cuántas unidades ingresaron por cada unidad que salió del inventario. Valores extremadamente altos reflejan un potencial sobrestock.

A continuación, se presenta un análisis de la relación entre los ingresos y salidas de materias primas en los últimos años:

- En **2022**, por cada unidad salida del inventario, ingresaron **224,506 unidades**, lo que indica un exceso significativo de inventario.
- En **2023**, la relación ingreso/salida se redujo a **6,653.97 unidades**, pero sigue reflejando una gestión ineficiente.
- En **2024**, se observa una ligera mejora con una razón ingreso/salida de **13,795.83 unidades**, aunque el sobrestock persiste.



**Figura 1.4 Porcentaje Razón Ingreso/Salida**

Fuente: Autor

Nota: Datos de 2024 hasta octubre

En la gráfica se compara la proporción de ingresos y salidas totales entre categorías y calcula la razón ingreso/salida para identificar desbalances. En materias primas, los ingresos representan el 94.47% del total, pero las salidas solo el 1.14%.

- **Materias primas** dominan los ingresos totales con un 94.47%, pero las salidas son insignificantes (1.14%), lo que refuerza el diagnóstico de sobrestock.
- **Producto terminado** tiene una razón ingreso/salida aún más alta, pero su impacto general es menor dado su baja proporción en los ingresos totales.
- **Suministros y repuestos** muestran un patrón opuesto con salidas masivas (96.90%) y escasos ingresos, lo que podría indicar escasez en esta categoría.

Este análisis detalla cómo el desbalance entre ingresos y salidas afecta la disponibilidad del inventario, justificando la problemática planteada, además la data mostrada confirma una gestión ineficiente del inventario en materias primas. Los datos evidencian:

- **Sobrestock en materias primas:** Altísimos ingresos en comparación con salidas, lo que significa que gran parte del inventario no se utiliza ni se distribuye.
- **Escasez en otras categorías:** Como suministros y repuestos, donde las salidas son muy superiores a los ingresos.

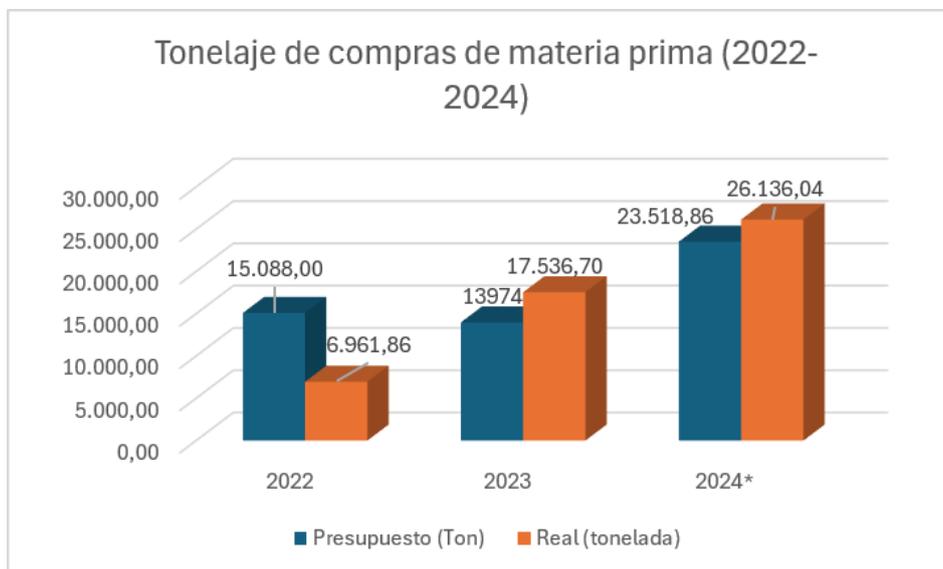
El reciclaje, aunque vital para la sostenibilidad, enfrenta desafíos críticos en la planificación operativa. La empresa ha identificado problemas significativos relacionados con la gestión de inventarios y las fluctuaciones de precios internacionales de materias primas.

El miembro de la organización responsable de la revisión y aprobación de las diferentes fases del proyecto es el Jefe Financiero- Administrativo, la implementación se llevaría a cabo en conjunto al Jefe de Producción.

## 1.2. Descripción del problema

La empresa de reciclaje de plásticos y metales ferrosos enfrenta problemas críticos en la planificación de la demanda y gestión de inventarios, lo que ha reducido su eficiencia operativa. Entre los principales desafíos se encuentran la acumulación excesiva de materia prima (sobrestock), la falta de alineación entre la producción y la demanda del mercado, y la volatilidad de los precios de insumos, afectando la rentabilidad y capacidad de respuesta.

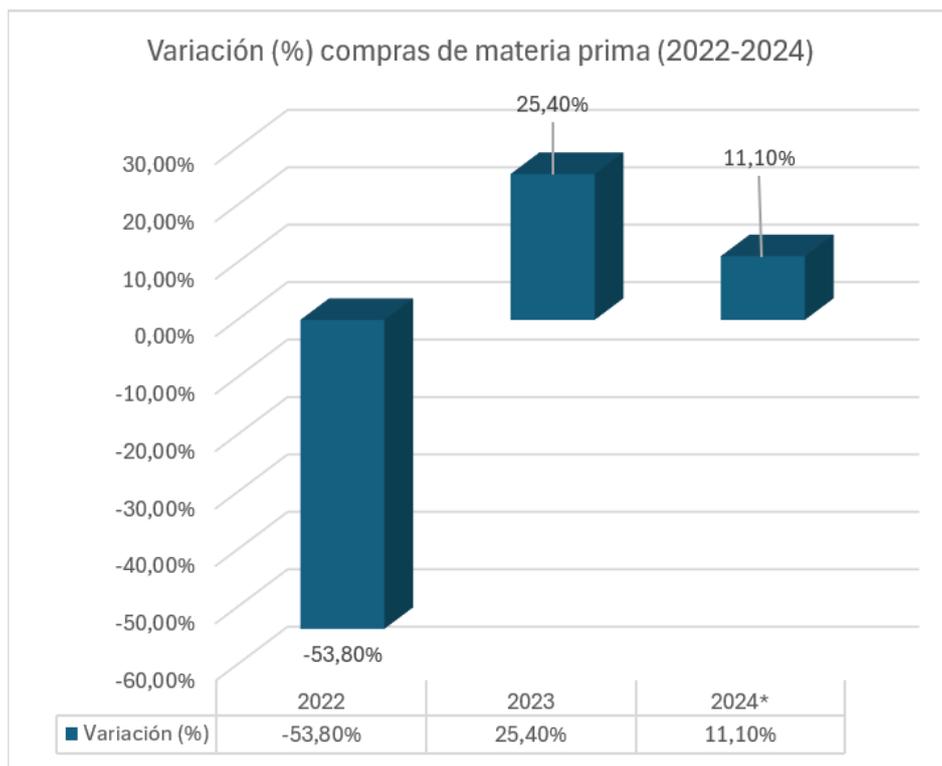
Es importante resaltar que los precios de los productos finales varían en función de los precios internacionales de las materias primas del plástico virgen y los metales, lo que complica aún más la planificación, ya que la empresa no cuenta con un sistema adecuado para prevenir estas fluctuaciones y así ajustar su producción.



**Figura 1.5 Tonelaje de Compras de Materia Prima 2022-2024**

Fuente: Autor

Nota: Datos de 2024 hasta octubre



**Figura 1.6 Variación (%) Compras de Materia Prima 2022 - 2024**

Fuente: Autor

Nota: Datos de 2024 hasta octubre

Uno de los principales factores que contribuyen a esta problemática es la falta de un sistema de planificación de la demanda basado en datos precisos, lo que ha generado una compra excesiva de materia prima en algunos períodos y escasez en otros. Como resultado, la empresa ha registrado:

- Altos niveles de sobrestock de materias primas, reflejados en una razón ingreso/salida de 224,506 unidades en 2022, lo que ha provocado costos adicionales de almacenamiento y obsolescencia de materiales.
- Desviaciones significativas entre los volúmenes presupuestados y los consumos reales, con variaciones de hasta +25.4% en 2023, lo que evidencia una planificación ineficiente de los recursos.
- Fluctuaciones en los precios del plástico virgen y la chatarra, lo que ha dificultado la estabilidad de costos operativos y la rentabilidad de los productos reciclados.

Las deficiencias en la planificación de la demanda han provocado interrupciones en la producción debido a la falta de insumos críticos en ciertos períodos y una acumulación innecesaria de materiales en otros. Esto no solo ha aumentado los costos de almacenamiento y desperdicio, sino que también ha afectado la capacidad de respuesta de la empresa frente a las fluctuaciones del mercado, disminuyendo su competitividad.

El sobrestock no solo ha elevado los costos de almacenamiento y la obsolescencia de materiales, sino que también ha limitado la disponibilidad de espacio y recursos operativos. Al mismo tiempo, la escasez de insumos ha ocasionado interrupciones en la producción, incrementando los costos de adquisición debido a compras urgentes.

Además, la falta de alineación entre la demanda del mercado y la producción interna ha impedido la optimización de la capacidad productiva, afectando la eficiencia operativa y comprometiendo la competitividad de la empresa en el sector del reciclaje.

Para solucionar estos problemas, la empresa necesita implementar un sistema de planificación de ventas y operaciones (S&OP) que integre datos históricos de ventas, proyecciones de demanda y planificación de inventarios. La implementación de este sistema permitirá sincronizar la producción con las condiciones del mercado, reducir el sobrestock y mejorar la eficiencia operativa.

El impacto de la implementación del S&OP se medirá a través de la eficiencia global, estableciendo una línea base antes de su adopción y evaluando las mejoras obtenidas. Actualmente, las variaciones en kg/hh y kg/hmaq reflejan problemas en la gestión operativa: en meses con sobrestock, la eficiencia disminuye debido a acumulaciones innecesarias de inventario, mientras que, en meses con escasez, la falta de insumos genera tiempos muertos en la producción. La optimización de la planificación de la demanda permitirá estabilizar estos indicadores y reducir las ineficiencias asociadas.

**Eficiencia Global:** Este indicador, utilizado actualmente por la empresa, se calcula con base en la relación entre los kilogramos producidos y las horas trabajadas (**kg/hh**). La fórmula empleada para su cálculo es la siguiente:

$$\text{Eficiencia Global} = \frac{\text{Kilogramos Producidos}}{\text{Horas Trabajadas}}$$

El indicador combina dos claves métricas que permiten evaluar tanto el rendimiento humano como el rendimiento mecánico:

- **Rendimiento de la mano de obra (kg/hh):** Evalúa la cantidad de kilogramos procesados por hora-hombre, reflejando la productividad del personal.
- **Rendimiento de la maquinaria (kg/hmaq):** Mide los kilogramos procesados por cada hora de operación de la maquinaria, proporcionando información sobre la eficiencia técnica.

Es importante resaltar que la empresa no maneja este indicador en porcentajes, ya que prioriza la medición en unidades absolutas (kg/hh y kg/hmaq), considerando que estos son más representativos de las características y exigencias operativas. Este enfoque proporciona información específica que permite tomar decisiones estratégicas para optimizar la planificación y mejorar la eficiencia global.

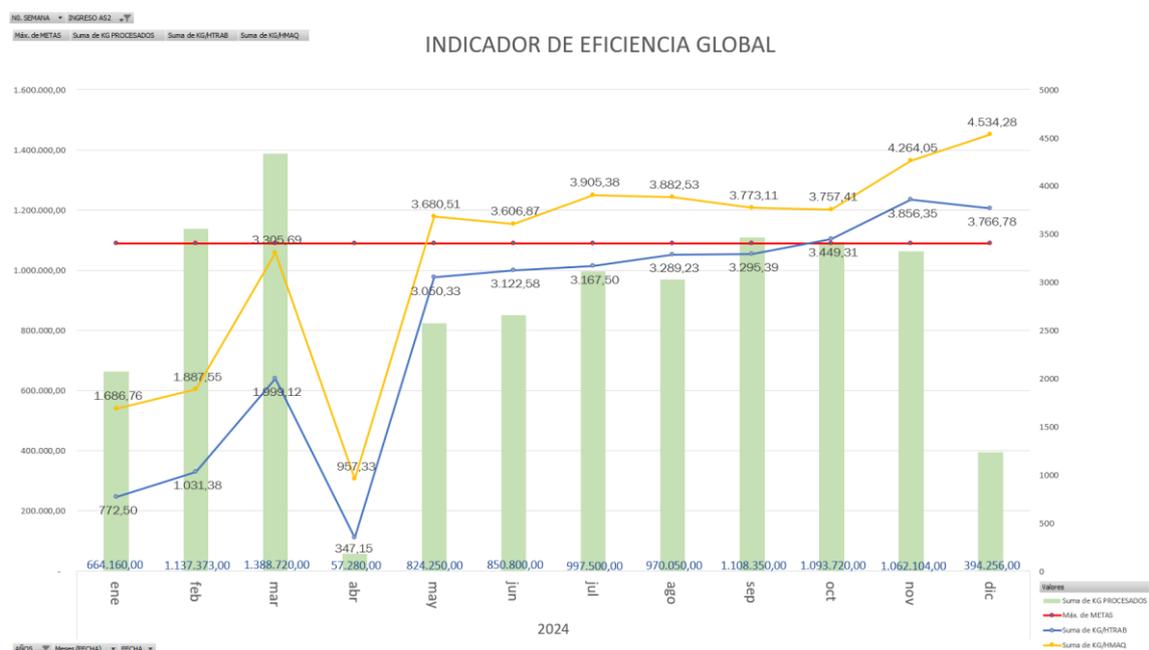
- **Medición precisa del rendimiento:** El uso de **kg/hh** permite a la empresa medir de manera directa y granular las variaciones en la productividad, tanto de las personas como de las máquinas.
- **Aplicación práctica:** Este enfoque está estrechamente ligado a los datos reales de operación diaria, lo que facilita identificar áreas de mejora de forma inmediata.
- **Gestión basada en datos históricos:** Las metas son definidas anualmente con base en el desempeño histórico del indicador, asegurando que los objetivos establecidos sean realistas y alcanzables.

En el proceso de compactado de chatarra para el año 2024, la gráfica muestra la evolución mensual de los kilogramos procesados, horas trabajadas (kg/hh), y rendimiento por máquina (kg/hmaq). La línea roja representa la meta establecida por la empresa, calculada en base al histórico del año anterior. En este caso, el indicador no

se presenta en porcentaje, sino como relación directa entre kilogramos producidos y horas trabajadas, lo que refleja el rendimiento real de la operación.

- Durante abril y noviembre, el rendimiento superó las expectativas, lo que sugiere una mejor disponibilidad de materia prima y una mayor estabilidad en la producción.
- Sin embargo, en mayo y octubre, los valores de kg/hh y kg/hmaq fueron inferiores a la meta, lo que podría estar vinculado con interrupciones operativas debido a escasez de insumos o fluctuaciones de la demanda.
- Los meses de junio a septiembre muestran un rendimiento constante, cercano al objetivo, lo que sugiere una alineación progresiva con los planos de producción.

Estos datos refuerzan la necesidad de una planificación de la demanda más precisa para evitar períodos de baja productividad causados por problemas de inventario.

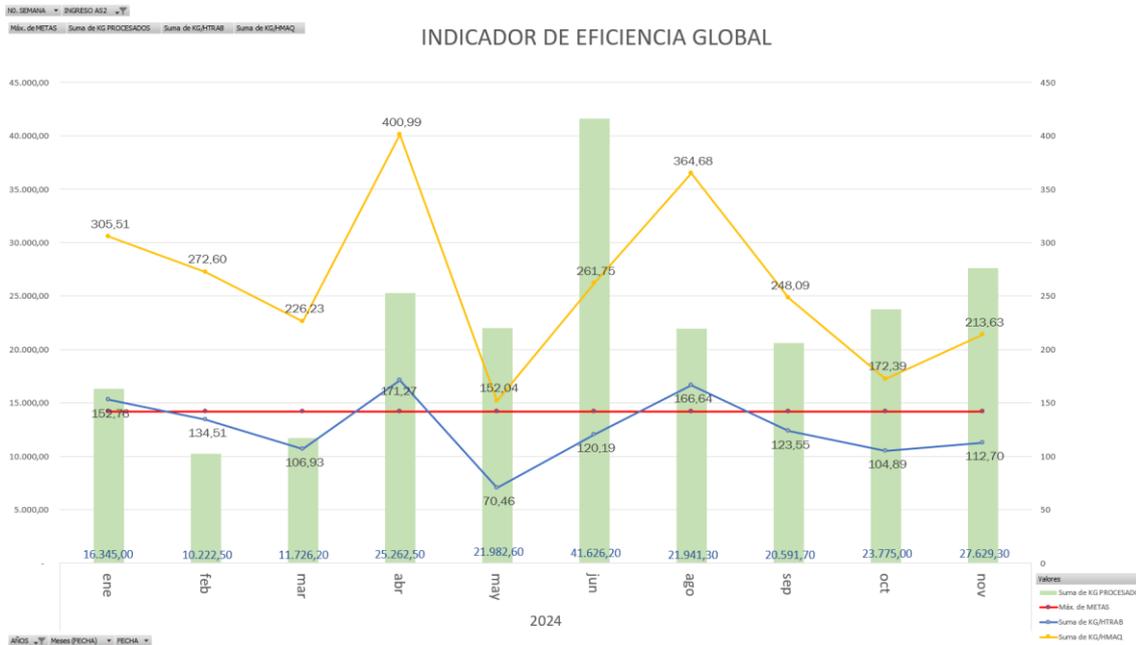


**Figura 1.7 Indicador de Eficiencia Global Mensual – Proceso Compactado Chatarra**

Fuente: Proporcionado por la empresa objeto de estudio.

La siguiente gráfica refleja el comportamiento del indicador en el proceso de pelletizado de plástico film. Al igual que en el caso anterior, se utiliza la relación kg producidos / horas trabajadas para medir el rendimiento. Los picos y caídas abruptas en la línea azul (kg/hh) sugieren desafíos específicos en ciertos meses.

- Se observa un rendimiento excepcional en abril con un máximo de 400.99 kg/hh, superando ampliamente la meta.
- Febrero y septiembre muestran valores excepcionales inferiores, lo que indica problemas significativos que deben ser investigados.
- Hacia noviembre, el indicador comienza a estabilizarse, acercándose nuevamente a la meta establecida.



**Figura 1.8 Indicador de Eficiencia Global Mensual– Proceso Pelletizado Plástico Film**

Fuente: Proporcionado por la empresa objeto de estudio.

La implementación del sistema S&OP permitirá optimizar la eficiencia operativa al proporcionar una planificación precisa de la demanda y del inventario. Esto se reflejará en una mejora de los indicadores kg/hh y kg/hmaq, ya que reducirá la variabilidad en la producción causada por fluctuaciones en la disponibilidad de insumos. Un flujo de producción más estable garantizará que el uso de la mano de obra y la maquinaria sea más uniforme, evitando picos de inactividad por escasez de materiales y minimizando desperdicios por sobrestock.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de planificación de la demanda para optimizar la eficiencia operativa de la empresa, garantizando una producción alineada con las condiciones del mercado y minimizando las paradas no planificadas.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

1. Analizar los datos históricos de ventas, inventarios y precios internacionales.
2. Identificar modelos de previsión de demanda adecuados considerando las fluctuaciones de precios internacionales de materias primas.
3. Realizar un levantamiento de datos operativos para alinear las operaciones con las previsiones.
4. Desarrollar un proceso de planificación de ventas y operaciones (S&OP) que integre todas las áreas involucradas.
5. Desarrollar procesos continuos de revisión y ajuste dentro del sistema S&OP.
6. Medir y evaluar los resultados obtenidos para validar la mejora en la eficiencia operativa.

# CAPITULO 2

## 2. Metodología

En este capítulo se describen los procedimientos que se seguirán para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto. Se abordan los temas claves del estudio, como la recopilación de datos históricos de ventas hasta diciembre de 2024, el análisis de tendencias del mercado y los factores externos que afectan la demanda. Además, se consideran las fluctuaciones de los precios históricos y actuales de las materias primas, como el plástico virgen y chatarra.

Los productos de la empresa fueron analizados con base en sus volúmenes históricos y sus variaciones de precio. En base a la información proporcionada de los últimos cuatro años en las áreas de ventas, compras y operaciones, se desarrollarán modelos de previsión de la demanda utilizando métricas de error y sesgo. Esto permitirá alinear las operaciones de la empresa con una producción eficiente, evitando la sobreproducción o subproducción. La implementación de estos modelos será detallada en el capítulo 3.

### 2.1. Recopilación de datos

La recopilación de datos es fundamental para el desarrollo de modelos de previsión de demanda y la planificación de operaciones. En este estudio, se incluye el uso de herramientas reconocidas como ICIS y LME para obtener información sobre precios internacionales del plástico virgen y la chatarra. Estas plataformas proporcionan datos históricos y proyecciones que permiten analizar tendencias clave en el mercado global.

Además, se integran bases de datos internos de la empresa que incluyen registros de ventas, inventarios y la cantidad de kg producidos por el área de operaciones en los diferentes procesos operativos, con el fin de analizar y comprender los factores que afectan la demanda de los productos de la empresa y garantizar su utilidad en el desarrollo del modelo S&OP.

#### 2.1.1. Históricos de ventas

El análisis de las ventas históricas se realizó utilizando información proporcionada por la empresa para el período comprendido entre 2023 y octubre de 2024. Se consideraron los productos principales: chatarra, plástico pellet, techos plásticos y plástico PT. La comparación entre el presupuesto y los datos reales muestra importantes discrepancias que reflejan la necesidad de un sistema robusto de previsión.

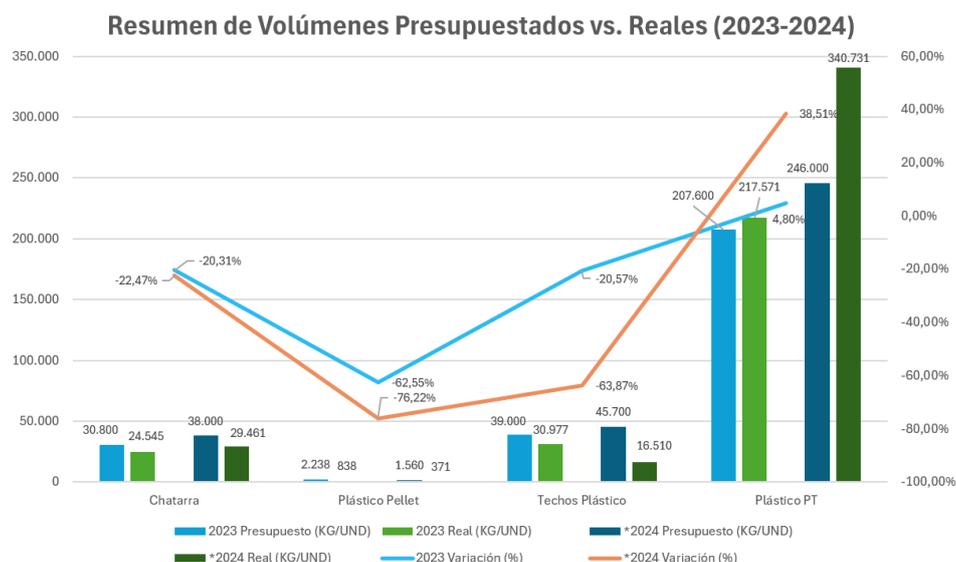
#### **Volúmenes vendidos por categoría de producto:**

**Plásticos PT y techos plásticos:** En unidades (UND), por la naturaleza de estos productos.

**Chatarra, plástico pellet:** En kilogramos (KG), debido a su presentación y peso significativo.

**Tendencias anuales y estacionalidad:** La información recopilada muestra un decrecimiento en las ventas reales de plástico pellet (-62.5% en 2023) respecto al

presupuesto, lo que evidencia ineficiencias operativas y desafíos en la planificación de la producción.



**Figura 2.1 Resumen de Volúmenes Presupuestados vs. Reales (2023-2024)**  
Fuente: La autora La autora. \*Datos de 2024 hasta octubre.

Este análisis evidencia que los productos reciclados enfrentan fluctuaciones importantes entre las cantidades presupuestadas y reales, destacando la necesidad de mejorar las previsiones y la planificación operativa.

### 2.1.2. Datos del mercado

La recopilación de datos del mercado se centró en comprender los factores externos y claves que influyen en la demanda de productos reciclados, tanto en el contexto local (Ecuador) como en el global. Este análisis fue realizado a partir de informes, estudios de mercado y bases de datos confiables, destacando las tendencias emergentes que impactan directamente el comportamiento del mercado.

#### Factores clave identificados

- **Preferencias del consumidor hacia la sostenibilidad:**

**Demanda creciente por materiales reciclados:** Según un informe de Plastics Europe (Plastics Europe, 2023), se ha registrado un incremento significativo en el uso de materiales reciclados en productos de consumo, alcanzando un 15% del total de materiales plásticos utilizados a nivel mundial. Esta tendencia está vinculada a la presión de los consumidores por adoptar prácticas más sostenibles.

**Adopción de políticas ambientales:** En Ecuador, el Ministerio del Ambiente y Agua está impulsando la transición hacia una economía circular mediante programas como "Recicla Ecuador", que buscan fomentar el uso de materiales reciclados en sectores clave como la construcción y la manufactura (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2023).

- **Impacto de las regulaciones ambientales:**

A nivel global, regiones como la Unión Europea han implementado normativas estrictas, como el Pacto Verde Europeo (European Union, 2022), que exige un 25% de contenido reciclado en los envases plásticos para 2025. En América Latina, países como Ecuador están siguiendo esta tendencia mediante la Ley Orgánica para la Gestión Integral de Residuos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019), que incentiva la reutilización de materiales reciclables en la industria.

- **Competitividad del mercado:**

La disponibilidad de resinas recicladas ha disminuido un 7,8% en los últimos años (Emergen Research, 2023), lo que ha elevado los precios de productos reciclados y dificultado la competitividad frente a productos de plástico virgen.

El informe de Plastic Industry Trade Journal (Plastic Industry Trade Journal, 2023) señala que los países emergentes, incluido Ecuador, enfrentan desafíos como la falta de infraestructura para el reciclaje y la dependencia de importaciones de materiales reciclados de mayor calidad.

## **Tendencias globales y locales**

- **Global:**

**Crecimiento del mercado de plásticos reciclados:** Un informe de Research and Markets (Research and Markets, 2023) proyecta que el mercado global de plásticos reciclados alcanzará los \$80 mil millones para 2030, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 9,3%.

**Prioridades del consumidor:** Un estudio de Deloitte (Deloitte, 2022) indica que el 57% de los consumidores a nivel mundial prefiere productos fabricados con materiales reciclados, lo que representa una oportunidad significativa para la industria.

- **Ecuador:**

**Políticas públicas:** El gobierno de Ecuador ha priorizado la gestión integral de residuos mediante la creación de incentivos fiscales para empresas que utilizan materiales reciclados en su producción (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador, 2023).

**Oportunidades en sectores específicos:** Según un informe del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector de la construcción representa el 45% del consumo de productos reciclados en el país, mientras que el sector manufacturero utiliza el 30% (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2023).

Por lo tanto, el mercado de productos reciclados presenta una demanda creciente impulsada por la sostenibilidad y la presión regulatoria. Sin embargo, los desafíos relacionados con la competitividad de precios, la disponibilidad de materiales y la infraestructura limitan el crecimiento, especialmente en países en desarrollo como Ecuador. Este contexto refuerza la necesidad de modelos de planificación que integren variables externas, como las fluctuaciones del mercado y las tendencias globales, para mejorar la competitividad de los productos reciclados.

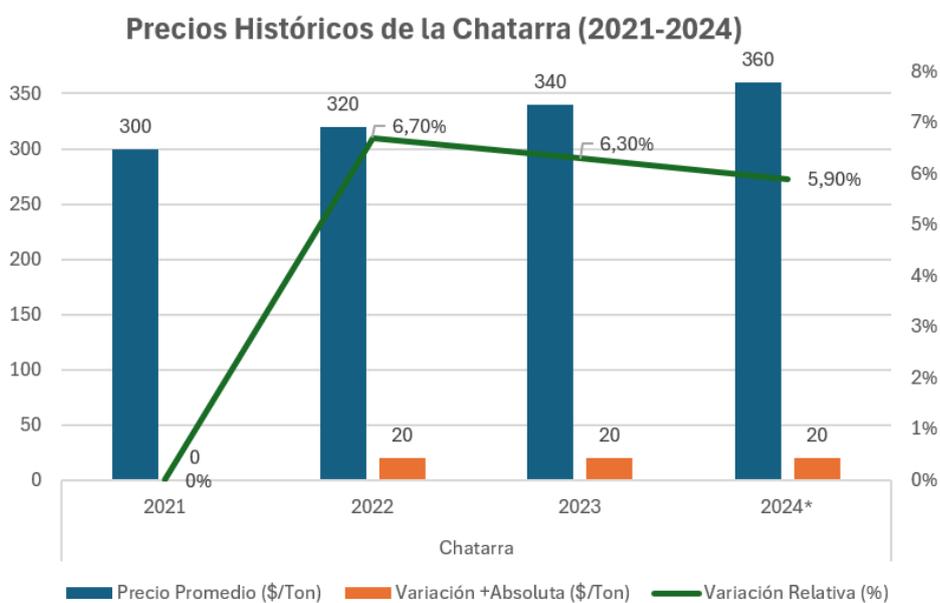
### 2.1.3. Fluctuaciones de precios

Las fluctuaciones de precios de materias primas, como el plástico virgen y la chatarra, son un factor determinante que afecta la competitividad de las empresas en la industria del reciclaje. Estas variaciones influyen directamente en los costos de producción y la capacidad de planificación operativa, especialmente para empresas que enfrentan desafíos en la previsión de la demanda.

En este apartado se presentan dos perspectivas clave: un análisis histórico de precios desde 2021 hasta 2024 y proyecciones de precios a futuro, obtenidas mediante herramientas reconocidas como **ICIS** y **LME**. Este análisis se vincula con los objetivos del proyecto al proporcionar información crítica para optimizar la planificación de la demanda y alinear las operaciones con las tendencias del mercado.

#### Análisis histórico de precios

El análisis histórico muestra un comportamiento diferenciado entre el plástico virgen y la chatarra. Mientras que el plástico virgen ha experimentado fluctuaciones significativas debido a la alta demanda global y las interrupciones en la cadena de suministro, la chatarra ha mostrado una tendencia más estable, reflejando su menor sensibilidad a factores externos.



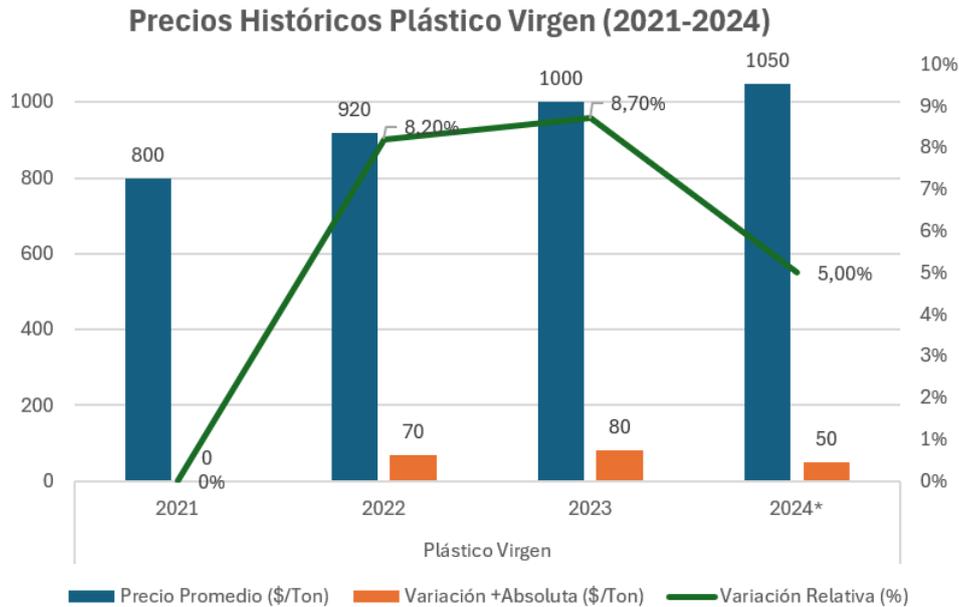
**Figura 2.2 Precios Históricos de la Chatarra (2021-2024)**

Fuente: La autora. \*Datos de 2024 hasta octubre.

**2021-2022:** Incremento del 6.7%, impulsado por la recuperación industrial (ScrapMonster, 2024).

**2022-2023:** Crecimiento del 6.3%, relacionado con el aumento de la demanda en construcción y manufactura (LME, 2024).

**2023-2024:** Incremento estable del 5.9%, reflejando la normalización en los mercados de metales (LME, 2024).



**Figura 2.3 Precios Históricos Plástico Virgen (2021-2024)**

Fuente: La autora \*Datos de 2024 hasta octubre.

**2021-2022:** Incremento del 8.2%, atribuido a interrupciones globales en la cadena de suministro postpandemia (Plastics Europe, 2023).

**2022-2023:** Incremento del 8.7%, impulsado por la creciente demanda en empaques y construcción (ICIS, 2023).

**2023-2024:** Crecimiento más moderado (+5.0%) debido a la estabilización de mercados globales (Plastics Europe, 2023).

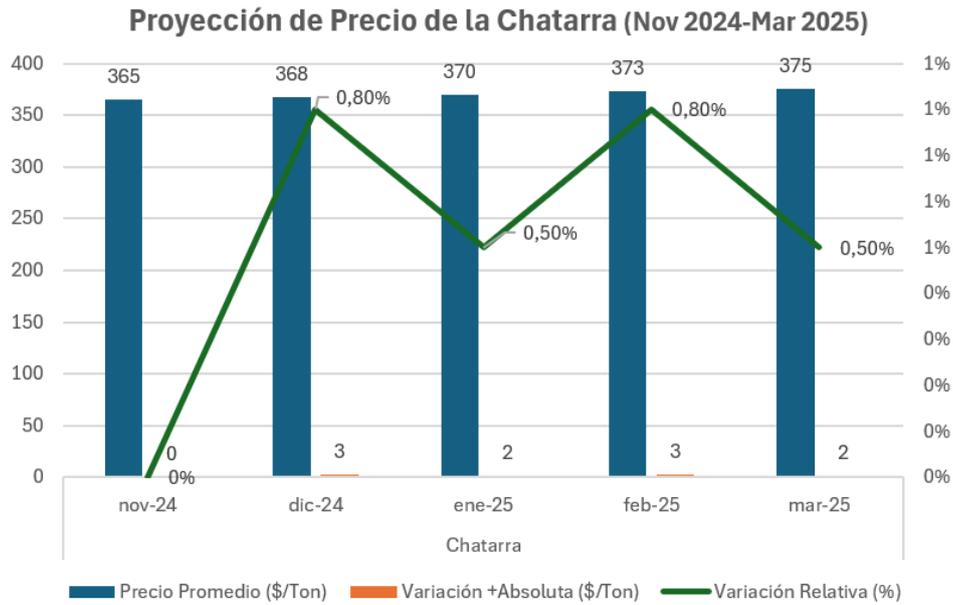
### Proyecciones futuras de precios

Las proyecciones futuras son esenciales para anticipar tendencias del mercado y alinear la estrategia operativa de la empresa. Con base en herramientas especializadas como ICIS y LME, se generaron estimaciones de precios para el primer trimestre de 2025.

- **Chatarra**

La chatarra evidencia una tendencia de incremento moderado, pasando de 365 \$/Ton en noviembre de 2024 a 375 \$/Ton en marzo de 2025, con un aumento total de \$10/tonelada en cinco meses que representa un 2.7% en promedio.

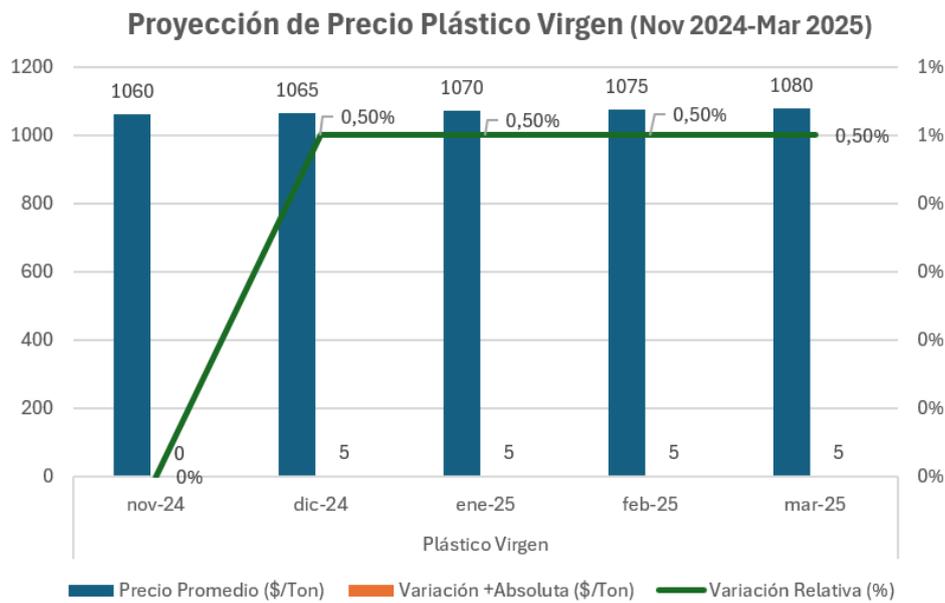
Estas variaciones mensuales se mantienen controladas, donde diciembre y febrero presentan los mayores incrementos de \$3/ton (0.80%), mientras que enero y marzo muestran un crecimiento más estable de \$2/ton (0.50%). Este comportamiento indica que el mercado de la chatarra se mantendrá relativamente estable, sin fluctuaciones abruptas.



**Figura 2.4 Proyección de Precio de la Chatarra (Nov 2024-Mar 2025)**

Fuente: Herramienta LME.

- **Plástico Virgen**



**Figura 2.4 Proyección de Precio Plástico Virgen (Nov 2024-Mar 2025)**

Fuente: Herramienta ICIS.

Mientras que plástico virgen al igual que la chatarra muestra una tendencia de crecimiento estable con incrementos de \$5/ton mensuales que se representa en promedio +1.9% acumulado en 5 meses.

A partir de diciembre de 2024, el precio aumenta en un patrón uniforme de **0.50% mensual**, lo que sugiere estabilidad en la oferta y demanda del material.

## Impacto en la empresa

Las fluctuaciones en los precios históricos y proyectados de materias primas, como el plástico virgen y la chatarra, subrayan la necesidad de adaptar los sistemas de planificación y compras a condiciones de mercado dinámicas. La volatilidad moderada del plástico virgen, con un incremento promedio anual del 5%, y la estabilidad relativa de la chatarra, con un crecimiento del 6% anual, brindan una base sólida para anticipar costos y ajustar estrategias de inventario. Estas proyecciones son fundamentales para garantizar una sincronización efectiva entre la planificación operativa y la demanda del mercado, reduciendo riesgos asociados a fluctuaciones inesperadas.

- **Uso de herramientas predictivas:** Integrar herramientas reconocidas como **ICIS** y **LME** en el sistema S&OP para prever cambios en los precios y ajustar la capacidad operativa de la empresa de forma proactiva.
  - **ICIS:** Permite visualizar tendencias y precios proyectados de polímeros y plásticos reciclados, ayudando a anticipar variaciones de costos en el sector. [Acceso a ICIS](#).
  - **LME:** Ofrece análisis en tiempo real de precios de metales, como la chatarra, y proyecciones clave para la toma de decisiones estratégicas. [Acceso a LME](#).
- **Gestión del riesgo:** Evaluar la posibilidad de negociar contratos de compra a precios fijos con proveedores estratégicos. Esto mitiga el impacto financiero de aumentos abruptos y estabiliza los costos operativos.

Estas proyecciones son esenciales para lograr el objetivo de desarrollar un proceso S&OP que integre todas las áreas involucradas, permitiendo una planificación de la demanda alineada con las condiciones del mercado.

## 2.2. Modelos de previsión de demanda análisis de datos

La previsión de demanda es una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa y alinear las actividades de producción con las necesidades del mercado. En el contexto del reciclaje de plásticos y metales, donde las fluctuaciones de precios y las demandas del mercado son volátiles, el análisis de métricas de error y sesgo proporciona una base sólida para evaluar y ajustar los modelos predictivos. Este enfoque asegura que las estrategias operativas estén respaldadas por datos precisos y análisis robustos.

### 2.2.1. Métricas de error de previsión análisis de datos

Las métricas de error permiten medir la precisión de los modelos de previsión al comparar las diferencias entre los valores reales y los previstos. Estas métricas son fundamentales para ajustar las previsiones y minimizar discrepancias que puedan afectar la producción y el inventario (Nahmias & Olsen, 2015).

#### Error absoluto medio (MAE):

- El MAE evalúa el promedio de las diferencias absolutas entre los valores reales ( $Y_i$ ) las previsiones ( $\hat{Y}_i$ ).
- Proporciona un indicador directo del nivel promedio de error en las mismas unidades de los datos, siendo particularmente útil en el análisis de materiales reciclados como el plástico virgen.

**Fórmula:**

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el período  $i$
- $n$ : Número total de períodos analizados.

**Error cuadrático medio (MSE):**

- Penaliza más los errores grandes, siendo útil para detectar desviaciones significativas que podrían impactar la cadena de suministro.
- Esta métrica es ideal en escenarios donde las variaciones abruptas de precios pueden generar decisiones críticas en la producción.

**Fórmula:**

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el período  $i$
- $n$ : Número total de períodos analizados.

**Raíz del error cuadrático medio (RMSE):**

- Representa la raíz cuadrada del MSE, facilitando la interpretación de los errores en las mismas unidades de los datos.
- Según Nahmias y Olsen (2015), esta métrica es ideal para prever variaciones de precios internacionales y su impacto en la demanda.

**Fórmula:**

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el período  $i$
- $n$ : Número total de períodos analizados.

**Error porcentual absoluto medio (MAPE):**

- Expresa el error como un porcentaje del valor real, permitiendo comparar modelos entre productos con diferentes escalas.
- En el contexto del plástico reciclado, un MAPE bajo reflejaría una mayor precisión en la previsión.

**Fórmula:**

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i}$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el periodo  $i$
- $n$ : Número total de periodos analizados.

**2.2.2. Métricas de sesgo de previsión**

Además de la precisión, es crucial evaluar si las previsiones tienen una tendencia sistemática a sobreestimar o subestimar la demanda (Grimson & Pyke, 2007). Las métricas de sesgo permiten identificar estos patrones y ajustar los modelos en consecuencia para que exista un equilibrio en la planificación operativa.

**Error medio (ME):**

- Calcula el promedio de los errores, indicando si el modelo tiende a sobreestimar ( $ME > 0$ ) o subestimar ( $ME < 0$ ).

**Fórmula:**

$$ME = \frac{\sum_i^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el periodo  $i$
- $n$ : Número total de periodos analizados.

**Error acumulado de previsión (CFE/RSFE):**

- Suma los errores de previsión a lo largo del tiempo para identificar patrones persistentes de sobreestimación o subestimación.

**Fórmula:**

$$CFE = \sum_i^n (Y_i - \hat{Y}_i)$$

Donde:

- $(Y_i)$ : Valor real de la demanda en el periodo  $i$
- $(\hat{Y}_i)$ : Valor previsto de la demanda en el periodo  $i$
- $n$ : Número total de periodos analizados.

**Impacto del desarrollo de métricas**

El uso de estas métricas en etapas futuras permitirá ajustar los modelos de previsión según los datos reales obtenidos, optimizando la planificación de producción y

reduciendo costos operativos. En particular, se espera que las métricas de error y sesgo sean esenciales para la integración del sistema S&OP en la empresa.

### 2.3. Cronograma de actividades

A continuación, se describe el esquema mediante el cual se llevará a cabo el desarrollo del proyecto, abordando cada etapa de forma estructurada. Iniciando con la recopilación y análisis de datos, para luego avanzar hacia el diseño e implementación de soluciones, asegurando la validación de los resultados y concluyendo con la presentación final de los hallazgos y recomendaciones.

Actividad	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Duración
<b>Capítulo 1: Introducción, Antecedentes, Problema</b>						
Redacción de Introducción	20/11 - 30/11					2 semanas
Redacción de Antecedentes	20/11 - 30/11					2 semanas
Descripción del problema	25/11 - 30/11					1 semana
Formulación de Objetivos Generales y Específicos		01/12 - 06/12				1 semana
Recopilación de Datos Históricos de Ventas		01/12 - 06/12				1 semana
Investigación de Datos del Mercado		01/12 - 06/12				1 semana
Recopilación de Fluctuaciones de Precios		01/12 - 06/12				1 semana
Desarrollo de Métricas de Error		01/12 - 06/12				1 semana
Diseño de Métricas de Sesgo		01/12 - 06/12				1 semana
Elaboración del Cronograma de Actividades		10-dic				1 día
<b>Primera Presentación: Planteamiento del Problema</b>		13-dic				1 día
Limpieza y Preparación de Datos			02/01 - 20/01			3 semanas
Análisis de Fluctuaciones de Precios con Proyecciones			21/01 - 27/01			1 semana
Desarrollo del S&OP			28/01 - 01/02			5 días
Alineación de Operaciones con la Demanda			02/02 - 04/02			3 días
<b>Segunda Presentación: Aplicación Metodológica</b>				07/02 - 08/02		2 días
Planificación de la Producción				09/02 - 13/02		5 días
Gestión de Capacidad				14/02 - 18/02		5 días
Integración de Áreas				19/02 - 23/02		5 días
Revisión y Ajuste Continuo del S&OP				24/02 - 28/02		5 días
Validación con Datos Reales					01/03 - 02/03	2 días
Redacción de Conclusiones					3-mar	1 día
<b>Tercera Presentación: Resultados de Implementación</b>					07/03 - 08/03	2 días

**Figura 2.5 Cronograma de actividades**

Fuente: Autor

### 2.4. Análisis de datos

Para llevar a cabo el tratamiento de los datos utilizados en la planificación del S&OP, se ha segmentado la información para que sea confiable y relevante para la toma de decisiones estratégicas. Se analizarán los procesos de Compactado Chatarra y Pelletizado Plástico Film, evaluando la demanda, la producción y la eficiencia operativa con la finalidad de optimizar el flujo de materiales dentro de la empresa.

#### 2.4.1. Limpieza y preparación de datos

Como primer paso en el análisis consistió en la recopilación y estructuración de los datos disponibles en la empresa, asegurando su calidad antes de su utilización en la planificación del S&OP.

#### Fuentes de datos utilizadas

Los siguientes datos fueron extraídos de los registros internos de la empresa:

- **Ventas y presupuestos (2023-2024):** Información sobre las ventas reales y comparaciones con las previsiones previas.
- **Compras de materia prima y repuestos (2021-2024):** Datos detallados sobre adquisiciones de insumos y su impacto en la producción.
- **Indicadores de producción y eficiencia global mensual:** Información clave sobre rendimiento operativo en los procesos de Compactado Chatarra y Pelletizado Plástico Film.
- **Proyecciones de precios de materia prima:** Tendencias de costos de los materiales estratégicos utilizados en la producción.

### Proceso de depuración

Para garantizar la confiabilidad de los datos, se aplican las siguientes estrategias de limpieza y preparación:

- **Eliminación de datos inconsistentes:** Se identificaron y corrigieron valores atípicos en los registros de demanda y compras.
- **Estandarización de unidades de medida:** Se unificaron todos los registros a una métrica homogénea en kilogramos para evitar discrepancias entre informes.
- **Conversión de series temporales:** Se reestructuraron los datos en un formato mensual, alineado con el ciclo de planificación del S&OP.
- **Vinculación entre producción y demanda:** Se realizó un cruce de información entre las proyecciones de ventas y la capacidad operativa de la planta para detectar desviaciones.

Durante el análisis del indicador de eficiencia operativa para los procesos de compactado de chatarra y pelletizado de plástico film, se evidencia que el desempeño de la producción en función de la planificación de la demanda.

### Proceso compactado chatarra

- **Eficiencia Variable:** Se detecta fluctuaciones en los indicadores de rendimiento de maquinaria (Kg/HMaq) y mano de obra (Kg/HTrab).
- **Puntos Críticos:** Durante los períodos de alta eficiencia (junio) y baja eficiencia (abril), asociados a la disponibilidad de materia prima y tiempos de inactividad.

Se recomendaría que se mejorara la coordinación de compras para evitar interrupciones en la producción.

### Proceso pelletizado plástico film

- **Alta Variabilidad:** Se observa una producción inestable, con picos elevados en abril y caídas en febrero y septiembre.
- **Desajuste con la Demanda:** Se evidencia que la producción no siempre está alineada con los requerimientos del mercado.

Para tener una optimización se recomendaría ajustar la programación de producción según los modelos de previsión para reducir el sobrestock y minimizar costos innecesarios.

## 2.4.2. Análisis de fluctuaciones de precios

Las materias primas representan una variable determinante en la estructura de costos de cualquier proceso productivo. En este sentido, sus fluctuaciones de precio pueden impactar significativamente la rentabilidad y la eficiencia operativa de la empresa. Este análisis se enfoca en evaluar las tendencias de precios de los dos principales insumos utilizados en los procesos de Compactado Chatarra y Pelletizado Plástico Film, con el fin de desarrollar estrategias que permitan minimizar los riesgos asociados a la volatilidad del mercado.

El precio de la chatarra y el plástico virgen está influenciado por el comportamiento de una serie de factores internos y externos que deben ser considerados en la planificación del S&OP

### Condiciones del mercado global

- La demanda de chatarra y plásticos reciclados varía en función de las necesidades de industrias como la construcción, manufactura y automotriz.
- Cambios en regulaciones ambientales y restricciones comerciales pueden impactar el acceso a materia prima.

### Costos logísticos y de transporte

- La ubicación geográfica de los proveedores y los costos de transporte inciden directamente en el precio final del insumo.
- Un aumento en el costo del combustible puede elevar significativamente el valor de adquisición.

### Ciclo económico y estacionalidad

- Periodos de alta demanda generan presión sobre los precios, mientras que en temporadas bajas los costos pueden estabilizarse o incluso disminuir.
- En el caso del plástico virgen, la oferta puede verse afectada por la disponibilidad de resinas petroquímicas.

Para comprender la magnitud del impacto de estos factores, se realizó un estudio de las fluctuaciones de precios de la chatarra y el plástico virgen en el período comprendido entre noviembre 2024 y marzo 2025.

### Chatarra

- **Tendencia de crecimiento moderado:**
  - El precio de la chatarra aumentó de \$365/ton en noviembre de 2024 a \$375/ton en marzo de 2025.
  - Esto representa una variación total de \$10/ton en cinco meses.
- **Patrón de variación mensual:**
  - Diciembre y febrero presentan los mayores incrementos (\$3/ton – 0.80%).
  - Enero y marzo muestran un crecimiento más estable (\$2/ton – 0.50%).
- **Impacto en la empresa:**
  - Se recomienda anticipar estos incrementos de costos en la planificación de compras.

- Estrategias como negociaciones de contratos a largo plazo o compras escalonadas pueden mitigar el impacto financiero.

### Plástico virgen

- **Aumento estable y predecible:**
  - El precio creció de \$1,060/ton en noviembre de 2024 a \$1,080/ton en marzo de 2025.
  - Presentó incrementos mensuales de \$5/ton (0.50%), lo que indica una tendencia de crecimiento moderado.
- **Estrategia para mitigar costos:**
  - Incluir las proyecciones de precio en la planificación del S&OP.
  - Evaluar la posibilidad de comprar en períodos donde el precio es más bajo o negociar tarifas con proveedores.

El impacto en la planificación del S&OP tomando en consideración que los precios de la chatarra y el plástico virgen muestran una tendencia alcista, es crucial tener una integración de esta información en la planificación operativa y financiera de la compañía, entre los impactos que se pueden lograr serían los siguientes:

- **Costos de producción y rentabilidad:** Un aumento sostenido en los precios de materia prima puede reducir el margen de ganancia si no se ajustan los precios de venta, por lo tanto, es fundamental monitorear estos costos para anticipar ajustes en la estrategia comercial.
- **Decisiones de abastecimiento:** Se prevé un aumento en los precios, la empresa puede realizar compras estratégicas para reducir costos a futuro, además puede optar por compras fraccionadas para disminuir riesgos.
- **Impacto en la producción:** Un aumento significativo en los costos de insumos puede llevar a la empresa a redefinir sus estrategias de producción, priorizando procesos que requieran menos materia prima costosa; de ser así se recomienda alinear la producción con el forecast de demanda para evitar una sobreproducción innecesaria.

El análisis de las fluctuaciones de precios es fundamental para alcanzar el objetivo de identificar modelos de previsión de demanda adecuados que consideren estas variaciones, optimizando así la eficiencia operativa de la empresa.

## 2.5. Desarrollo del S&OP

El proceso de Sales and Operations Planning (S&OP) constituye una herramienta fundamental para sincronizar la demanda del mercado con las capacidades operativas de la empresa de reciclaje. Este proceso integrado permite alinear los planes tácticos de ventas con la planificación de producción, optimizando el uso de recursos y minimizando las interrupciones operativas no planificadas. La implementación del S&OP se fundamenta en el análisis sistemático de datos históricos y la aplicación de metodologías cuantitativas para la previsión de demanda.

La gestión efectiva de la cadena de suministro en el sector de reciclaje requiere una comprensión profunda de las dinámicas del mercado, incluyendo las fluctuaciones de precios internacionales y su impacto en los patrones de demanda. El S&OP proporciona un marco estructurado para integrar estas variables en la planificación operativa, permitiendo una mejor anticipación a los cambios del mercado y una respuesta más ágil a las necesidades de los clientes.

Para asegurar la precisión en el análisis cuantitativo, se emplea Minitab 22 como herramienta estadística principal, permitiendo procesar los datos históricos de ventas y evaluar patrones de comportamiento en la demanda. Esta herramienta facilita la identificación de tendencias, estacionalidad y ciclos en las series temporales, elementos cruciales para desarrollar pronósticos confiables. La integración de variables críticas como las fluctuaciones de precios internacionales permite generar modelos predictivos robustos que reflejen la realidad del mercado de reciclaje.

### **2.5.1. Enfoque metodológico**

La metodología de implementación del S&OP se desarrolla a través de un ciclo mensual que integra los componentes esenciales del proceso de planificación, respaldado por análisis estadísticos realizados en Minitab 22. El primer componente se centra en la recopilación y análisis de datos históricos de ventas, este análisis incluye la evaluación de tendencias de mercado y patrones de demanda a través de técnicas de descomposición de series temporales, que permiten identificar componentes estacionales, tendencias y ciclos en el comportamiento histórico de cada producto.

El segundo componente aborda la modelación predictiva, donde se implementan técnicas estadísticas para desarrollar pronósticos confiables de demanda. Se evalúan diferentes modelos como suavización exponencial (simple, Holt y Holt-Winters) según las características específicas de cada material reciclado. La selección del modelo óptimo se fundamenta en el análisis de métricas de error como MAE, MSE, RMSE y MAPE, asegurando la precisión de las predicciones y su aplicabilidad en el contexto operativo.

La integración de los pronósticos con la capacidad operativa constituye el tercer componente, donde se alinean las proyecciones de demanda con los recursos disponibles. Este proceso incluye el análisis de capacidad de producción por línea, considerando factores como horas de trabajo disponibles, capacidad máxima diaria y costos operativos asociados. La alineación entre demanda proyectada y capacidad productiva permite desarrollar planes de producción realistas que optimicen la utilización de recursos.

### **2.5.2. Análisis de modelación para la planificación de la demanda**

Continuando con el desarrollo metodológico del S&OP, en esta sección se presenta el análisis de modelación estadística que sustenta la planificación de la demanda, elemento central para lograr la sincronización entre las necesidades del mercado y las capacidades operativas de la empresa. Este análisis aporta el fundamento cuantitativo necesario para tomar decisiones informadas sobre producción, aprovisionamiento y utilización de recursos, alineándose directamente con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa.

La selección e implementación de modelos de previsión adecuados constituye un elemento crítico para optimizar la eficiencia operativa en la cadena de suministro de la empresa de reciclaje. Partiendo de los datos históricos de ventas proporcionados en las tablas y gráficas, se desarrolla un análisis cuantitativo robusto utilizando Minitab 22, se han evaluado cuatro modelos de pronóstico aplicados a las ventas mensuales del proceso de compactado de chatarra y pelletizado de plástico film del período 2022-2024,

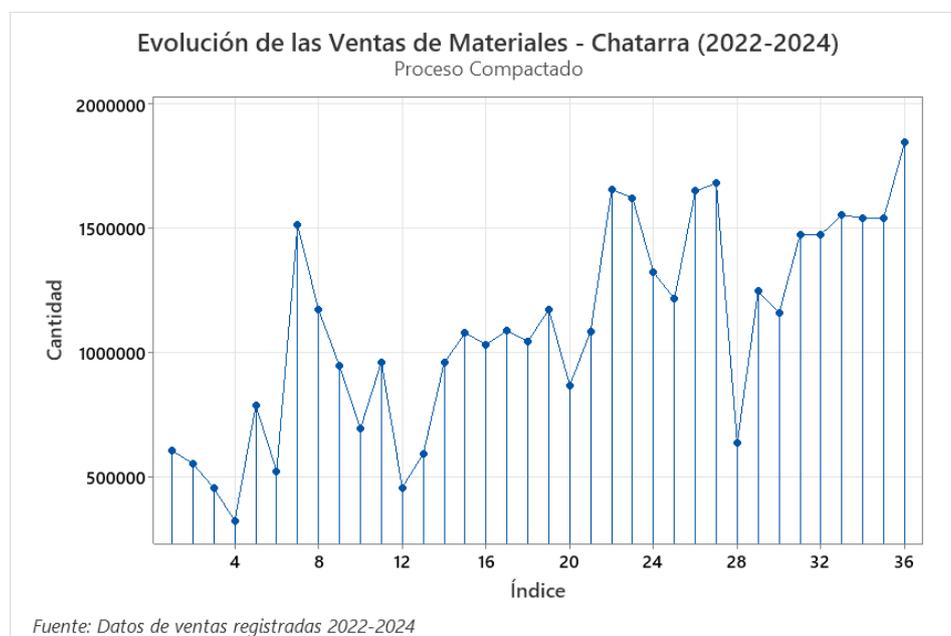
con el objetivo de identificar el método que proporcione mayor precisión y confiabilidad para la planificación operativa.

### 2.5.2.1. Análisis de la serie temporal de ventas

La primera gráfica nos muestra la evolución de las ventas de chatarra durante los últimos tres años. Se puede notar una tendencia general al alza, lo que indica que con el tiempo se ha estado vendiendo más cantidad de este material.

Sin embargo, la serie no es completamente estable, ya que presenta picos y caídas marcadas. Esto sugiere que hay periodos en los que la demanda aumenta considerablemente, seguidos de otros donde disminuye. Es importante destacar que, hacia el final del periodo analizado, las ventas se encuentran en un nivel elevado, lo que podría ser un indicio de un crecimiento sostenido o de una mayor estabilidad en el mercado de chatarra.

En general, los datos muestran una tendencia positiva, aunque con ciertas fluctuaciones que podrían responder a factores estacionales o del mercado.



**Figura 2.6 Evolución de las Ventas de materiales chatarra (2022 - 2024)**

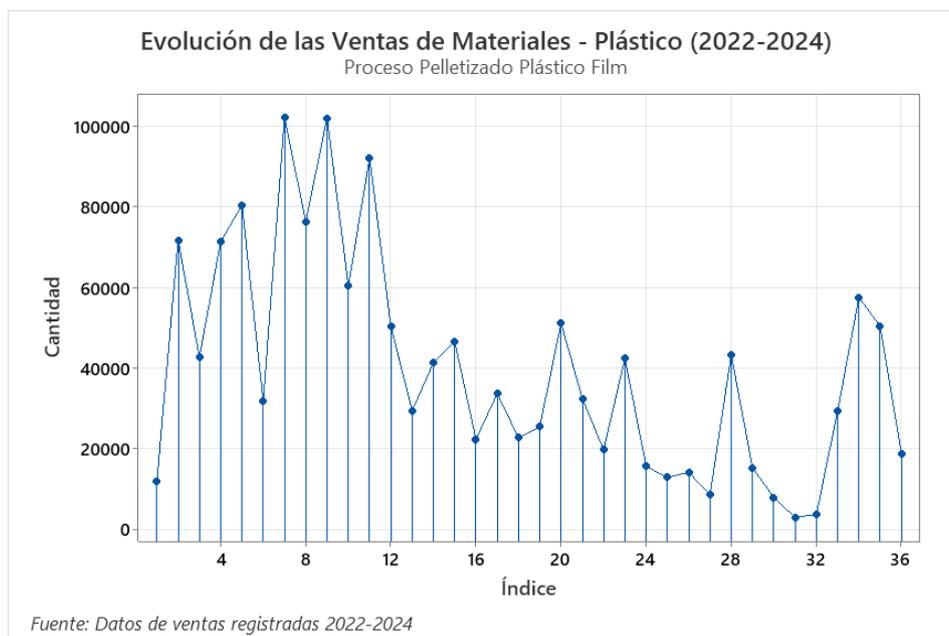
**Fuente:** Autor.

La segunda gráfica refleja la evolución de las ventas de plástico film en el mismo periodo de tiempo. A diferencia de la chatarra, aquí no se observa una tendencia clara de crecimiento. En su lugar, el comportamiento de las ventas es altamente volátil, con picos pronunciados y descensos abruptos.

Durante 2022, las ventas experimentaron un crecimiento significativo en varios momentos, pero posteriormente se observa una disminución progresiva. Esta caída en las ventas podría estar relacionada con una menor demanda del material reciclado o con factores externos como cambios en el mercado o disponibilidad de insumos.

A lo largo del tiempo, las fluctuaciones siguen presentes, lo que sugiere que este mercado es más inestable y difícil de predecir en comparación con la chatarra. En 2024,

las ventas han alcanzado niveles más bajos en comparación con los años anteriores, lo que podría indicar que la demanda de plástico reciclado no ha crecido al mismo ritmo.



**Figura 2.7 Ventas totales plástico film (2023 - 2024)**

Fuente: Autor

Ambos materiales experimentan fluctuaciones en las ventas, lo que resalta la importancia de contar con modelos de pronóstico adecuados para anticiparse a estos cambios y tomar decisiones estratégicas informadas.

### 2.5.2.2. Descomposición de la serie temporal

El primer paso del análisis consistió en la descomposición de la serie temporal utilizando un modelo multiplicativo, que permite identificar los componentes fundamentales mediante la ecuación:

$$Y(t) = T(t) \times S(t) \times E(t)$$

Donde:

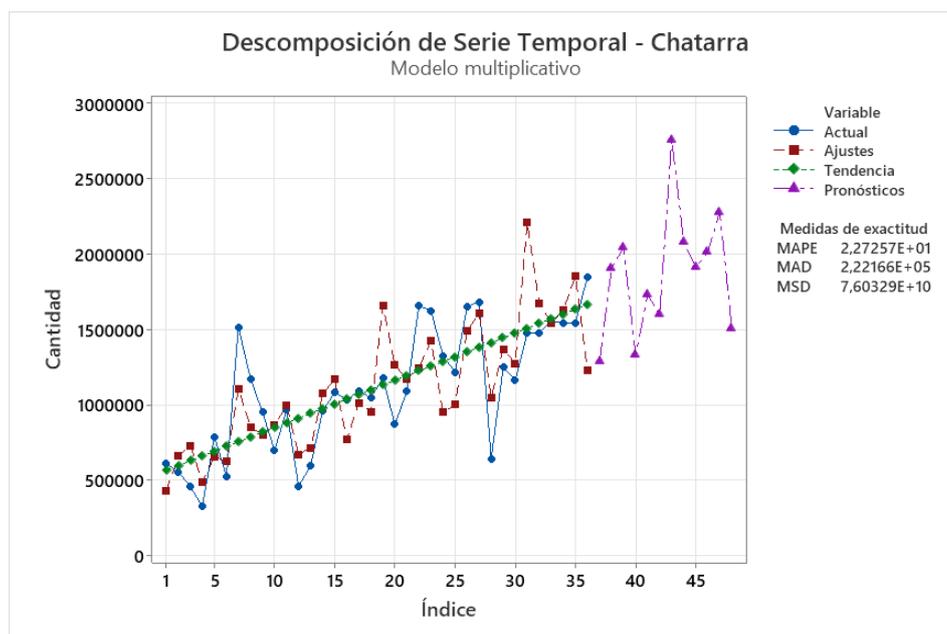
- Y(t)= Representa la demanda observada
- T(t) = La tendencia
- S(t)= El componente estacional
- E(t)= El componente aleatorio.

Se opta por un modelo multiplicativo considerando que la variabilidad cambia con el nivel de la serie, particularmente notable en los datos analizados. Esta descomposición se realiza en Minitab 22 utilizando la función de descomposición de series temporales.

- **Compactado de chatarra:**

**Ecuación de tendencia ajustada** La descomposición de la serie de chatarra utilizando un modelo multiplicativo revela la ecuación de tendencia ajustada:

$$Y(t) = 532,610 + 31,398 \times t$$



**Figura 2.8 Gráfica descomposición de serie temporal - chatarra**  
Fuente: Autor – Minitab 22

Esta ecuación revela un incremento promedio mensual de 31,398 kg en las ventas de chatarra, lo que confirma la fuerte tendencia creciente observada en la gráfica de la serie.

**Índices estacionales:** Los índices estacionales obtenidos muestran variaciones importantes a lo largo del año

**Tabla 1 Índices estacionales - chatarra**

Período	Índice	Interpretación
1 (Ene)	0.75777	Bajo rendimiento estacional (-24.2%)
2 (Feb)	1.10302	Incremento estacional (+10.3%)
3 (Mar)	1.16201	Incremento estacional (+16.2%)
4 (Abr)	0.74101	Bajo rendimiento estacional (-25.9%)
5 (May)	0.94862	Ligera disminución estacional (-5.1%)
6 (Jun)	0.86374	Disminución estacional (-13.6%)
7 (Jul)	1.46599	Fuerte incremento estacional (+46.6%)
8 (Ago)	1.08665	Incremento estacional (+8.7%)
9 (Sep)	0.98178	Neutral (-1.8%)
10 (Oct)	1.01781	Neutral (+1.8%)
11 (Nov)	1.13424	Incremento estacional (+13.4%)
12 (Dic)	0.73736	Bajo rendimiento estacional (-26.3%)

Fuente: Autor – Minitab 22

Los índices estacionales identifican a julio como el mes con mayor demanda estacional (+46.6% sobre la tendencia), mientras que abril y diciembre presentan los niveles más bajos (aproximadamente -26% respecto a la tendencia).

### Medidas de exactitud del modelo de descomposición:

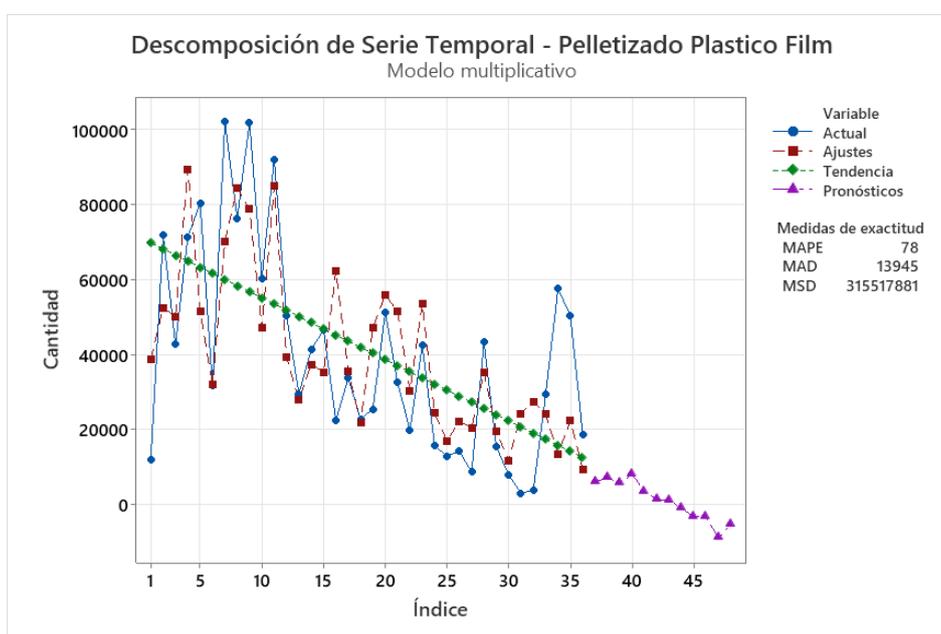
- MAPE: 27.26%
- MAD: 222,166 kg
- MSD:  $7.60329 \times 10^{10}$

- **Pelletizado Plástico Film**

De manera similar, la descomposición de la serie temporal del plástico film revela patrones específicos

### Ecuación de tendencia ajustada:

$$Y(t) = 71,424 - 1,640 \times t$$



**Figura 2.9 Gráfica descomposición serie temporal - pelletizado plástico film**  
Fuente: Autor – Minitab 22

Esta ecuación muestra una disminución promedio mensual de 1,640 kg, confirmando la tendencia decreciente observada en los datos históricos.

**Índices estacionales:** Los resultados muestran variaciones significativas en los patrones mensuales:

**Tabla 2 Índices estacionales - plástico film**

Período	Índice	Interpretación
1 (Ene)	0.55461	Bajo rendimiento estacional (-44.5%)
2 (Feb)	0.76985	Bajo rendimiento estacional (-23.0%)
3 (Mar)	0.75167	Bajo rendimiento estacional (-24.8%)
4 (Abr)	1.37918	Fuerte incremento estacional (+37.9%)
5 (May)	0.81356	Disminución estacional (-18.6%)
6 (Jun)	0.52000	Bajo rendimiento estacional (-48.0%)

Período	Índice	Interpretación
7 (Jul)	1.17122	Incremento estacional (+17.1%)
8 (Ago)	1.44597	Fuerte incremento estacional (+44.6%)
9 (Sep)	1.39081	Incremento estacional (+39.1%)
10 (Oct)	0.85673	Disminución estacional (-14.3%)
11 (Nov)	1.58918	Fuerte incremento estacional (+58.9%)
12 (Dic)	0.75722	Bajo rendimiento estacional (-24.3%)

**Fuente:** Autor – Minitab 22

En este material, noviembre muestra el mayor incremento estacional (+58.9%), mientras que junio presenta el rendimiento más bajo (-48.0%).

#### **Medidas de exactitud del modelo de descomposición:**

- MAPE: 78%
- MAD: 13,945 kg
- MSD: 31,551,788

#### **2.5.2.3. Evaluación de modelos de pronóstico**

Para determinar el modelo óptimo para cada producto, se calculan y comparan los tres métodos principales de previsión:

1. **Suavización Exponencial Simple (SES):** Esta metodología es apropiada para series sin tendencia ni estacionalidad marcadas, donde  $\alpha$  representa el parámetro de suavización que pondera las observaciones recientes frente a las históricas.

$$F(t + 1) = \alpha Y(t) + (1 - \alpha)F(t)$$

Donde:

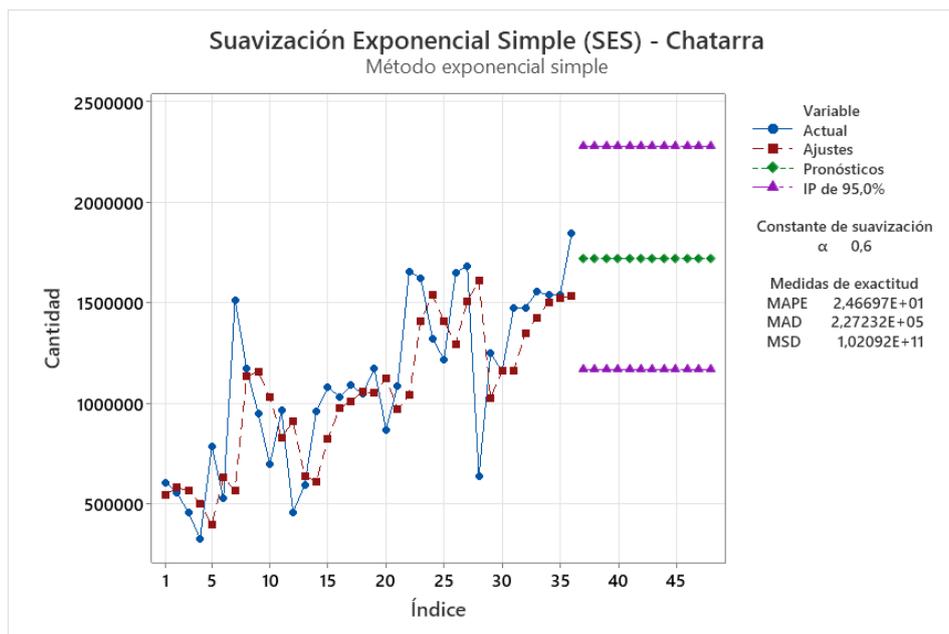
- $F(t+1)$ : Pronóstico para el período  $t+1$
- $Y(t)$ : Valor real en el período  $t$
- $F(t)$ : Pronóstico para el período  $t$
- $\alpha$ : Constante de suavización

Según (Nahmias & Olsen, 2015) esta técnica es particularmente útil para series con variabilidad aleatoria sin tendencia ni estacionalidad claras.

- **Compactado de Chatarra:**

**Parámetros utilizados:** Constante de suavización  $\alpha$ : 0.6, la serie de chatarra tiene una tendencia creciente, pero SES no modela tendencias.

Un valor de  $\alpha$  **más alto** (0.6) permite que el modelo responda más rápido a los cambios recientes en los datos.



**Figura 2.10 Gráfica suavización exponencial simple - chatarra**  
Fuente: Autor – Minitab 22

#### Medidas de exactitud

- MAPE: 24.67%
- MAD: 227,232 kg
- MSD:  $1.02092 \times 10^{11}$

**Pronósticos generados:** El modelo SES genera pronósticos constantes de 1,721,812 kg para los 12 meses siguientes, sin capturar la tendencia creciente observada en los datos históricos.

**Tabla 3 Pronósticos suavización exponencial simple - chatarra**

Período	Pronóstico	Inferior	Superior
37	1721812	1165103	2278521
38	1721812	1165103	2278521
39	1721812	1165103	2278521
40	1721812	1165103	2278521
41	1721812	1165103	2278521
42	1721812	1165103	2278521
43	1721812	1165103	2278521
44	1721812	1165103	2278521
45	1721812	1165103	2278521
46	1721812	1165103	2278521
47	1721812	1165103	2278521
48	1721812	1165103	2278521

Fuente: Autor – Minitab 22

- **Pelletizado Plástico Film**

**Parámetros utilizados:** Constante de suavización  $\alpha$ : 0.5, a serie de plástico muestra fluctuaciones marcadas y disminuciones progresivas. Un **valor moderado de  $\alpha$**  permitirá suavizar la volatilidad sin reaccionar excesivamente a cambios aleatorios.

**Medidas de exactitud:**

- MAPE: 78%
- MAD: 19,248 kg
- MSD: 54,048,201

**Pronósticos generados:** El modelo produce pronósticos constantes de 31,347.3 kg para todos los meses futuros, sin reflejar la tendencia decreciente observada históricamente.

**Tabla 4 Pronósticos método suavización exponencial simple - plástico film**

Período	Pronóstico	Inferior	Superior
37	31347,3	-15808,8	78503,5
38	31347,3	-15808,8	78503,5
39	31347,3	-15808,8	78503,5
40	31347,3	-15808,8	78503,5
41	31347,3	-15808,8	78503,5
42	31347,3	-15808,8	78503,5
43	31347,3	-15808,8	78503,5
44	31347,3	-15808,8	78503,5
45	31347,3	-15808,8	78503,5
46	31347,3	-15808,8	78503,5
47	31347,3	-15808,8	78503,5
48	31347,3	-15808,8	78503,5

Fuente: Autor – Minitab 22

2. **Método de Holt (Suavización Exponencial Doble):** Este modelo se considera para series con tendencia clara, pero sin estacionalidad.

$$\text{Nivel: } L(t) = \alpha Y(t) + (1 - \alpha)(L(t - 1) + T(t - 1))$$

$$\text{Tendencia: } T(t) = \beta(L(t) - L(t - 1)) + (1 - \beta)T(t - 1)$$

$$\text{Pronóstico: } F(t + h) = L(t) + hT(t)$$

Donde:

- L(t): Nivel en el período t
- T(t): Tendencia en el período t
- $\alpha$ : Constante de suavización para el nivel
- $\gamma$ : Constante de suavización para la tendencia

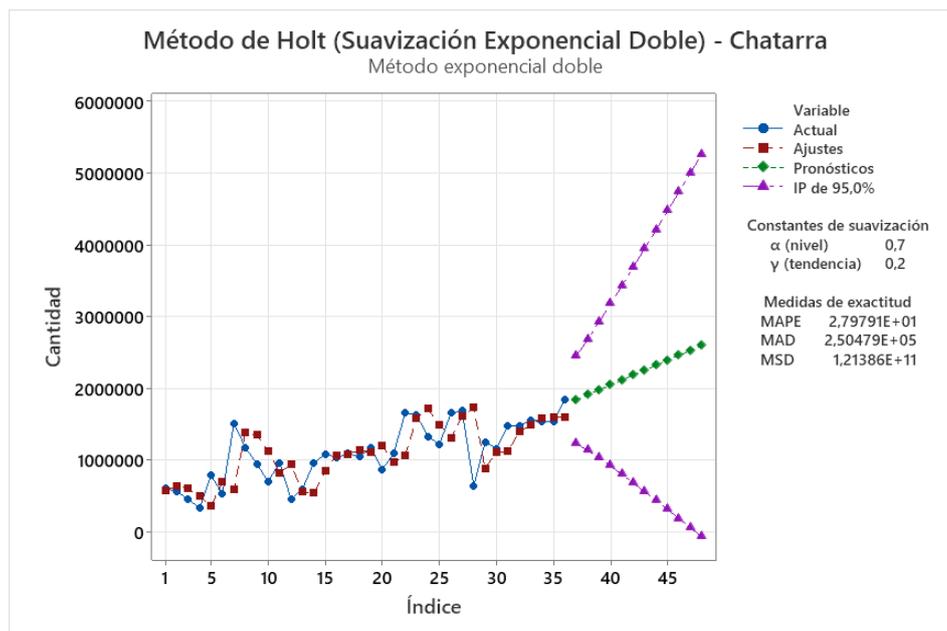
Según (Gardner, 2006) señala que este método es adecuado para series con tendencia clara, pero sin componente estacional significativo.

- **Compactado de Chatarra**

**Parámetros utilizados:**

- Constante de suavización  $\alpha$ : 0.7 (alta sensibilidad a nuevos valores)
- Tendencia  $\gamma$ : 0.2 (suavización de tendencia moderada)

La serie de chatarra muestra una tendencia creciente. Se usa un  **$\alpha$  alto** para capturar cambios recientes y un  **$\beta$  más bajo** para que la tendencia no fluctúe demasiado.



**Figura 2.11 Gráfica método de Holt - chatarra**

Fuente: Autor – Minitab 22

**Medidas de exactitud:**

- MAPE: 27.80%
- MAD: 250,479 kg
- MSD:  $1.21386 \times 10^{11}$

**Pronósticos generados:** El modelo de Holt genera pronósticos crecientes que van desde 1,838,507 kg en el primer mes hasta 2,598,237 kg en el mes 12, reflejando la tendencia creciente observada en los datos históricos.

**Tabla 5 Pronósticos método de Holt - chatarra**

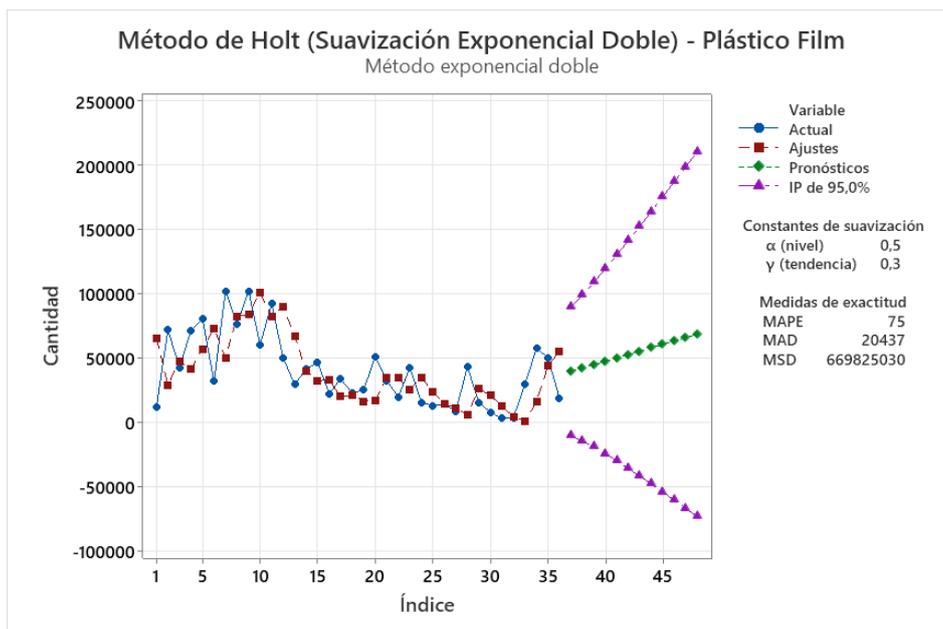
Período	Pronóstico Inferior	Superior
37	1838507	2452170
38	1907573	2682331
39	1976640	2926482
40	2045706	3178152
41	2114772	3434224
42	2183839	3693061
43	2252905	3953739
44	2321971	4215699
45	2391038	4478586
46	2460104	4742163
47	2529170	5006268
48	2598237	5270785

Fuente: Autor – Minitab 22

- **Pelletizado Plástico Film**

**Parámetros utilizados:** Debido a la alta variabilidad en la serie, un  $\beta$  más alto es adecuado para capturar cambios en la tendencia sin sobre ajustarse.

- Constante de suavización  $\alpha$ : 0.5
- Tendencia  $\gamma$ : 0.3



**Figura 2.12 Gráfica método de Holt - plástico film**  
Fuente: Autor – Minitab 22

**Medidas de exactitud:**

- MAPE: 75%
- MAD: 20,437 kg
- MSD: 66,982,503

**Pronósticos generados:** El modelo produce pronósticos ascendentes desde 39,582 kg hasta 68,542.8 kg en un horizonte de 12 meses, lo que contradice la tendencia histórica decreciente observada.

**Tabla 6 Pronósticos método holt - plástico film**

Período	Pronóstico	Inferior	Superior
37	39582,0	-10488,7	89653
38	42214,8	-14560,1	98990
39	44847,6	-19330,1	109025
40	47480,4	-24583,7	119544
41	50113,2	-30178,6	130405
42	52746,0	-36019,9	141512
43	55378,8	-42043,4	152801
44	58011,6	-48204,5	164228
45	60644,4	-54471,6	175760
46	63277,2	-60822,0	187376
47	65910,0	-67238,9	199059
48	68542,8	-73709,4	210975

Fuente: Autor – Minitab 22

3. **Método de Holt-Winters (Suavización Exponencial Triple:** Apropiado para series con tendencia y estacionalidad.

$$\text{Nivel: } L(t) = \alpha \left( \frac{Y(t)}{S(t-s)} \right) + (1 - \alpha)(L(t-1) + T(t-1))$$

$$\text{Tendencia: } T(t) = \beta(L(t) - L(t-1)) + (1 - \beta)T(t-1)$$

$$\text{Estacionalidad: } S(t) = \gamma \left( \frac{Y(t)}{L(t)} \right) + (1 - \gamma)S(t-s)$$

$$\text{Pronóstico: } F(t+h) = (L(t) + hT(t)) \times S(t-s+h)$$

Donde:

- $S(t)$ : Índice estacional en el período  $t$
- $s$ : Longitud del ciclo estacional (12 para datos mensuales)
- $\alpha$ : Constante de suavización para el nivel
- $\gamma$ : Constante de suavización para la tendencia
- $\delta$ : Constante de suavización para la estacionalidad

(Hyndman, R. J. y Athanasopoulos, G., 2018) destacan que este método es particularmente efectivo para series que exhiben tanto tendencia como patrones estacionales recurrentes.

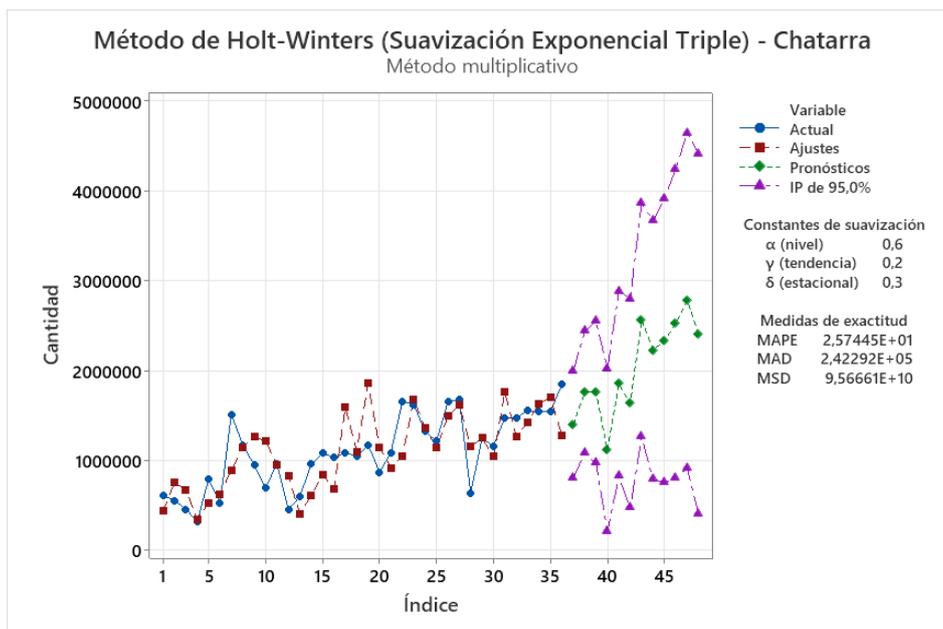
- **Compactado de Chatarra:**

**Parámetros utilizados:**

- $\alpha$ : 0.6
- $\gamma$ : 0.2
- $\delta$ : 0.3

La serie tiene una tendencia clara y un patrón estacional perceptible. Se usa  $\alpha$  intermedio,  $\beta$  moderado y  $\gamma$  ajustado a la estacionalidad.

Estos valores fueron seleccionados considerando el comportamiento histórico de la demanda de chatarra, que presenta una tendencia creciente moderada con estacionalidad definida. Según (Hyndman, R. J. y Athanasopoulos, G., 2018) para series con volatilidad intermedia como mercados de metales reciclados, valores de  $\alpha$  entre 0.3 y 0.6 son recomendados para balancear la respuesta a cambios recientes sin sobre ajustar fluctuaciones aleatorias. El valor seleccionado de  $\gamma$  (0.2) concuerda con lo propuesto por (Gardner, 2006), quien sugiere que, para tendencias consistentes, pero no agresivas, valores entre 0.1 y 0.3 permiten actualizar la componente de tendencia sin generar proyecciones extremas. Para la estacionalidad, (Taylor, 2003) recomienda que  $\delta$  sea proporcional a la intensidad del patrón estacional, justificando el valor intermedio de 0.3 para los ciclos moderados observados en esta serie.



**Figura 2.13 Gráfica método Holt-Winter – chatarra**

Fuente: Autor – Minitab 22

**Medidas de exactitud:**

- MAPE: 25.74%
- MAD: 242,292 kg
- MSD:  $9.56661 \times 10^{10}$

**Pronósticos generados:** El modelo de Holt-Winters genera pronósticos que reflejan tanto la tendencia creciente como los patrones estacionales, con valores que oscilan entre 1,113,393 kg y 2,782,735 kg según el mes proyectado.

**Tabla 7 Pronósticos método Holt-Winter - chatarra**

Período	Pronóstico Inferior	Superior
37	1397478	1991083
38	1758215	2439607
39	1761119	2549151
40	1113393	2020292
41	1854718	2888502
42	1635178	2801249
43	2565731	3867847
44	2229734	3670590
45	2332995	3914574
46	2526174	4249975
47	2782735	4649916
48	2408655	4420123

Fuente: Autor – Minitab 22

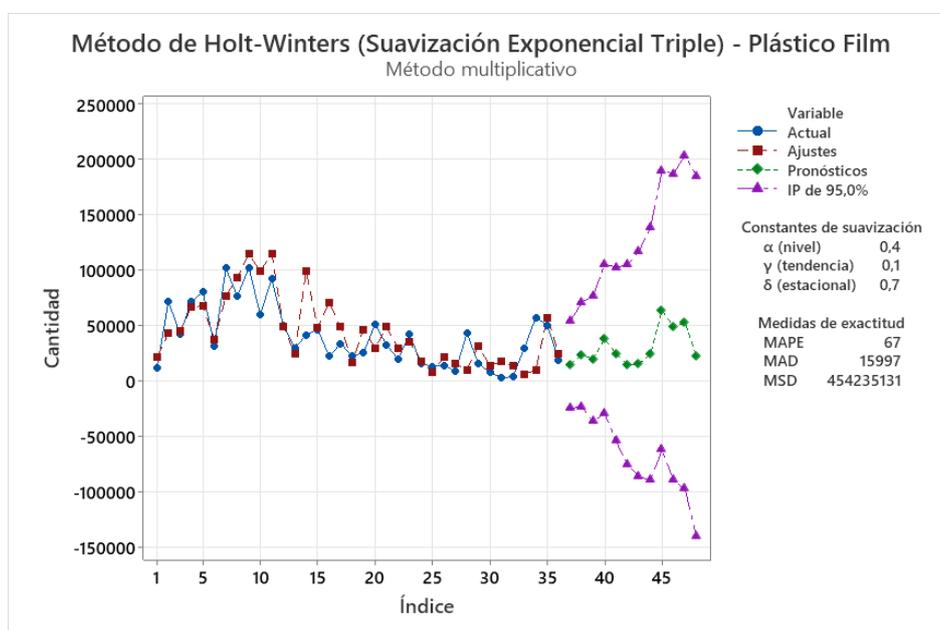
- Pelletizado Plástico Film

**Parámetros utilizados:**

- $\alpha$ : 0.4
- $\gamma$ : 0.1
- $\delta$ : 0.7

La serie de plástico presenta una gran variabilidad con picos estacionales pronunciados. Se usa  $\gamma$  alto para reflejar la estacionalidad, mientras que  $\alpha$  y  $\beta$  son más bajos para evitar sobreajuste a fluctuaciones cortas.

La configuración para plástico film responde a su mayor volatilidad y pronunciados patrones estacionales. (Montgomery, 2015) indican que, para mercados con alta volatilidad como materiales plásticos reciclados, es preferible utilizar valores de  $\alpha$  más conservadores (0.3-0.5) para filtrar ruido aleatorio. El bajo valor de  $\gamma$  (0.1) se alinea con lo propuesto por (Makridakis, 2022) quienes sugieren que, ante tendencias débiles o inconsistentes, valores inferiores a 0.2 previenen sobre proyecciones. El alto valor de  $\delta$  (0.7) está respaldado por el trabajo de (Winters, 1960), quien establece que series con componentes estacionales dominantes requieren valores elevados (0.6-0.8) para adaptarse efectivamente a patrones cíclicos pronunciados.



**Figura 2.14 Gráfica método Holt-Winter – plástico film**  
Fuente: Autor – Minitab 22

#### Medidas de exactitud:

- MAPE: 67%
- MAD: 15,997 kg
- MSD: 45,423,513

**Pronósticos generados:** El modelo produce pronósticos que incorporan tanto la tendencia decreciente como los patrones estacionales identificados, con valores que fluctúan entre 14,753.6 kg y 63,833.1 kg según el mes proyectado.

**Tabla 8 Pronósticos método Holt-Winter – plástico film**

Período	Pronóstico Inferior	Superior
37	14753,6	-24438 53945

38	23598,1	-23520	70717
39	20058,8	-36718	76836
40	38091,4	-29336	105518
41	24023,2	-54644	102690
42	14683,1	-75593	104959
43	15210,6	-86919	117340
44	24756,2	-89395	138907
45	63833,1	-62459	190125
46	48654,1	-89867	187175
47	53136,4	-97681	203954
48	22248,6	-140914	185414

Fuente: Autor – Minitab 22

#### 2.5.2.4. Comparativa de modelos y selección del modelo óptimo

- Compactado de Chatarra

Tabla 9 Comparativo métodos evaluados - chatarra

Método	MAPE	MAD	MSD	Características del pronóstico
Descomposición	27.26%	222,166 kg	$7.60329 \times 10^{10}$	Captura tendencia y estacionalidad con mediana precisión
SES	24.67%	227,232 kg	$1.02092 \times 10^{11}$	Pronóstico constante, no captura tendencia
Holt	27.80%	250,479 kg	$1.21386 \times 10^{11}$	Captura tendencia creciente fuerte
Holt-Winters	25.74%	242,292 kg	$9.56661 \times 10^{10}$	Captura tendencia y patrones estacionales

Fuente: Autor

Basado en las métricas de precisión y el comportamiento observado de la serie temporal:

1. El método de **Suavización Exponencial Simple (SES)** presenta el MAPE más bajo (24.67%), lo que indica que proporciona las previsiones más precisas en términos porcentuales. Sin embargo, genera pronósticos constantes que no reflejan la clara tendencia alcista observada en los datos recientes.
2. El método de **Holt** captura adecuadamente la tendencia creciente de las ventas de chatarra, pero presenta el MAPE más alto (27.80%), lo que sugiere menor precisión global.
3. El método de **Holt-Winters** ofrece un equilibrio entre la captura de la tendencia y los patrones estacionales, con un MAPE de 25.74%, lo que representa una mejora respecto al método de Holt.
4. La **Descomposición** proporciona una visión clara de los componentes de la serie, con un MAPE de 27.26%, similar al de los otros métodos.

Considerando la clara tendencia creciente observada en los datos de 2023-2024 y la importancia de capturar esta tendencia para la planificación operativa futura, se recomienda utilizar el método de Holt-Winters para la proyección de la demanda de

chatarra. Este método, a pesar de no tener el MAPE más bajo, proporciona una visión más completa del comportamiento esperado, incorporando tanto la tendencia creciente como los patrones estacionales identificados.

El modelo de Holt-Winters proyecta un crecimiento sostenido en la demanda de chatarra para 2025, con fluctuaciones estacionales que siguen el patrón histórico observado. Los meses de julio y noviembre se proyectan con los mayores volúmenes (2,782,735 kg y 2,526,174 kg respectivamente), mientras que abril y diciembre presentarían valores más moderados (1,113,393 kg y 1,408,655 kg).

- **Pelletizado Plástico Film**

**Tabla 10 Comparativo métodos evaluados - plástico film**

Método	MAPE	MAD	MSD	Características del pronóstico
Descomposición	78%	13,945 kg	31,551,788	Captura tendencia decreciente con precisión limitada
SES	78%	19,248 kg	54,048,201	Pronóstico constante, no captura tendencia
Holt	75%	20,437 kg	66,982,503	Proyecta tendencia contraria a la histórica
Holt-Winters	67%	15,997 kg	45,423,513	Captura tendencia y patrones estacionales

Fuente: Autor

Para el pelletizado de plástico film:

1. El método de **Holt-Winters** destaca claramente con el MAPE más bajo (67%), significativamente mejor que los otros modelos evaluados. Su capacidad para capturar simultáneamente la tendencia decreciente y los marcados patrones estacionales lo posiciona como la opción más adecuada.
2. El método de **Holt** muestra un MAPE de 75%, pero proyecta una tendencia creciente que contradice la tendencia histórica decreciente observada en los datos.
3. Tanto la **Suavización Exponencial Simple** como la **Descomposición** presentan un MAPE de 78%, indicando menor precisión en sus proyecciones.

Considerando la tendencia decreciente observada y los fuertes patrones estacionales identificados en los datos del plástico film, se recomienda utilizar el método de Holt-Winters para la proyección de la demanda de este material. Este método proporciona el mejor balance entre precisión predictiva y captura de los componentes fundamentales de la serie temporal y la continuación de la tendencia decreciente en la demanda, pero con importantes variaciones estacionales.

Los meses de abril, agosto y noviembre se proyectan con incrementos relativos significativos debido a sus altos índices estacionales, mientras que junio y enero mostrarían los niveles más bajos de demanda.

#### 2.5.2.5. Evaluación de métricas de error y sesgo del modelo seleccionado

Tras seleccionar el método de Holt-Winters como el más adecuado para la planificación de la demanda de ambos materiales, se ha realizado una evaluación exhaustiva de su

precisión y sesgo utilizando las métricas estándar en la industria. Esta evaluación permite cuantificar la fiabilidad de las proyecciones y determinar posibles ajustes necesarios durante la implementación del sistema.

- **Evaluación de métricas de error del modelo Holt-Winters**

**Tabla 11 Análisis de error de pronóstico Holt-Winters**

Métrica	Chatarra	Plástico Film	Interpretación
MAE	242292	15996	Error absoluto medio
MSE	9,57E+10	454235131	Error cuadrático medio
RMSE	309299	21312	Raíz del error cuadrático medio
MAPE	25,74%	66,95%	Error porcentual absoluto medio

**Fuente:** Autor

Para chatarra, elegimos el modelo Holt-Winters, aunque su MAPE (25.74%) es ligeramente mayor que el de SES (24.67%), porque captura mejor la tendencia creciente y los patrones estacionales del mercado. Como señala (Hyndman, 2021), en materiales como la chatarra, un MAPE entre 20-30% es perfectamente aceptable cuando el modelo refleja adecuadamente la estructura temporal completa de los datos.

En el caso del plástico film, el MAPE más alto (66.95%) responde a la extrema volatilidad de este mercado. (Lewis, 2018) confirma que, en industrias de reciclaje con alta variabilidad, valores entre 50-70% son normales. Elegimos Holt-Winters porque, como explica (Makridakis, 2022), este método es superior cuando necesitamos capturar simultáneamente tendencias y estacionalidad marcada, a pesar de que los errores porcentuales puedan parecer elevados.

Los resultados del análisis de error revelan diferencias significativas en la precisión del modelo entre ambos materiales:

- Para el proceso de compactado de chatarra, el MAPE de 25.74% indica que, en promedio, las previsiones tienen un error relativo de aproximadamente una cuarta parte del valor real. Este nivel de precisión es razonablemente aceptable en el contexto de materiales reciclados, donde la variabilidad inherente del mercado dificulta la predicción exacta.
- Para proceso de pelletizado de plástico film, el MAPE de 66.95% refleja un nivel de error considerablemente mayor, indicando que el modelo tiene una precisión limitada para este material. Esta diferencia puede atribuirse a la mayor volatilidad en la demanda de plástico film, como se observa en la serie temporal original.
- La comparación de los valores de MAE (242292 kg para chatarra vs. 15996 kg para plástico film) debe interpretarse considerando la escala de cada material. Aunque numéricamente mayor para chatarra, esto refleja los volúmenes significativamente mayores manejados en este material.

- **Evaluación de sesgo del modelo Holt-Winters**

**Tabla 12 Análisis de sesgo de pronóstico Holt-Winters**

Métrica	Chatarra	Plástico Film	Interpretación
ME	-2690,56	-3744,71	Error medio
CFE/RSFE	-96860,1	-134810	Error acumulado de previsión

**Fuente:** Autor

El análisis de sesgo proporciona información crucial sobre la tendencia sistemática del modelo:

- Los valores negativos de ME para ambos materiales (-2690.56 kg para chatarra y -3744.71 kg para plástico film) indican que el modelo tiende a sobreestimar consistentemente la demanda. Esto es importante para la planificación operativa, ya que sugiere que las proyecciones podrían conducir a niveles de producción ligeramente superiores a los necesarios.
- Los valores de CFE/RSFE (-96860.1 kg para chatarra y -134810 kg para plástico film) confirman esta tendencia acumulativa a la sobreestimación a lo largo del período analizado. Aunque estos valores parecen elevados en términos absolutos, deben contextualizarse considerando el volumen total de producción durante el período completo.

### 2.5.2.6. Impacto en la planificación operativa

Esta proyección diferenciada para cada material proporciona una base sólida para la planificación de recursos, capacidad productiva y abastecimiento, permitiendo a la empresa anticipar las necesidades futuras y optimizar su cadena de suministro en consonancia con la demanda esperada.

La implementación del método de Holt-Winters en el marco del S&OP permitirá:

1. **Sincronizar la producción con las fluctuaciones estacionales**, ajustando la capacidad operativa para responder a los picos de demanda proyectados.
2. **Optimizar la gestión de inventarios**, estableciendo niveles diferenciados según la demanda proyectada para cada período.
3. **Mejorar la eficiencia global**, permitiendo una utilización más efectiva tanto del personal (kg/hh) como de la maquinaria (kg/hmaq) al reducir interrupciones por falta de materiales o sobreproducción.
4. **Facilitar la planificación financiera**, al proporcionar proyecciones más precisas que consideren la estacionalidad y las tendencias específicas de cada producto.

### 2.5.2.7. Proyección para la planificación operativa

El modelo de Holt-Winters, ajustado con los factores de corrección de sesgo identificados, proporciona proyecciones específicas para cada material:

**Compactado de chatarra:** Las proyecciones para chatarra muestran un crecimiento sostenido con patrones estacionales definidos:

- Los meses de mayor demanda proyectada (julio y noviembre) requerirán una capacidad operativa ampliada, con potencial necesidad de turnos adicionales o recursos temporales.
- Los meses de menor demanda (abril y diciembre) pueden aprovecharse para programar mantenimientos preventivos o capacitaciones, optimizando así el uso de recursos en períodos de baja actividad.

**Plástico Film:** Para plástico film, pese a la mayor incertidumbre reflejada en las métricas de error, las proyecciones identifican:

- Una tendencia general decreciente que debe considerarse en las decisiones de inversión y capacidad a largo plazo.
- Picos estacionales en abril, agosto y noviembre que requerirán una planificación específica de recursos.
- La necesidad de revisar más frecuentemente las proyecciones, dado el mayor nivel de error identificado.

### **Integración en el sistema S&OP**

La metodología implementada se adapta específicamente a las características operativas de la planta, considerando que se dispone de una máquina compactadora para chatarra con 1 operador por turno y una línea de pelletizado para plástico film con 2 operadores por turno, ambas operando en turnos de 11 horas. Esta realidad operativa delimita la capacidad disponible y establece el marco para la planificación.

El ciclo S&OP desarrollado se estructura en cuatro fases secuenciales:

1. **Fase de Demanda (Semana 1):** Utilización del modelo Holt-Winters para generar pronósticos mensuales de demanda para ambos productos, complementados con análisis cualitativo del equipo comercial.
2. **Fase de Capacidad (Semana 2):** Evaluación de restricciones operativas específicas por la línea de producción, considerando disponibilidad de máquinas, operadores y materiales.
3. **Fase de Reconciliación (Semana 3):** Alineación entre la demanda proyectada y la capacidad disponible, con desarrollo de escenarios y planes de contingencia.
4. **Fase de Implementación (Semana 4):** Despliegue del plan consensuado, asignación de recursos y establecimiento de indicadores de seguimiento.

Este enfoque metodológico permite transformar los pronósticos estadísticos desarrollados con Minitab en decisiones operativas específicas, maximizando la utilización de la capacidad instalada sin comprometer el nivel de servicio al cliente.

### **2.5.3. Análisis de variabilidad de costos y demanda**

El análisis de variabilidad constituye un elemento fundamental para la efectividad del sistema S&OP, particularmente en un entorno caracterizado por fluctuaciones significativas tanto en la demanda como en los costos operativos.

La estructura de costos para cada línea productiva presenta características específicas que deben considerarse en la planificación:

#### **Compactado de Chatarra:**

- **Materia prima:** Representa el 74.3% del costo total con un valor unitario de \$0.1385/kg e impacto directo en la rentabilidad.
- **Mano de obra:** Constituye el 19.9%, con un valor unitario de \$0.0371/kg y estructura fija de 1 operador por turno
- **Energía eléctrica:** Corresponde al 5.8%, con consumo proporcional al volumen procesado y con un valor unitario de \$0.0108/kg.
- **Costo unitario total:** \$0.1864/kg

#### **Pelletizado de Plástico Film:**

- **Materia prima:** Representa el 64.5% del costo total, con mayor variabilidad de precios y con un valor unitario de \$0.8800/kg.
- **Mano de obra:** Constituye el 28.8%, con un valor unitario de \$0.3936/kg y estructura fija de 2 operadores por turno.
- **Energía eléctrica:** Corresponde al 6.7%, con mayor consumo específico por kilogramo, con un valor unitario de \$0.0910/kg.
- **Costo unitario total:** \$1.3646/kg

Esta composición diferenciada de costos exige estrategias específicas para cada línea productiva, considerando que la chatarra muestra mayor sensibilidad a variaciones en costos de materia prima, mientras que el plástico presenta mayor impacto relativo de los costos fijos.

Respecto a la variabilidad de demanda, el análisis Holt-Winters ha permitido identificar patrones estacionales específicos que deben incorporarse en la planificación:

- La chatarra muestra picos significativos en períodos 43 (julio) y 47 (noviembre)
- El plástico film presenta máxima demanda en períodos 45 (septiembre) y 46-47 (octubre-noviembre)

Esta variabilidad estacional, combinada con la estructura de costos específica de cada línea, fundamenta el diseño de estrategias diferenciadas de producción y asignación de recursos que se desarrollarán en el capítulo 3.

#### 2.5.4. Evaluación de precisión del pronóstico

La evaluación sistemática de la precisión de los pronósticos constituye un componente crítico del sistema S&OP, permitiendo ajustes oportunos y mejora continua del proceso. El análisis desarrollado mediante Minitab ha permitido seleccionar el modelo Holt-Winters como el más adecuado para las características de los datos históricos de la empresa.

Las métricas de precisión para cada producto reflejan sus características específicas:

##### Compactado de Chatarra:

- MAPE: 25.74%
- MAD: 242,292 kg
- MSD: 9.57E+10

##### Pelletizado de Plástico Film:

- MAPE: 66.95%
- MAD: 15,996 kg
- MSD: 4.54E+08

La significativa diferencia en el MAPE entre ambos productos refleja la mayor volatilidad inherente al mercado de plástico reciclado, que presenta fluctuaciones más pronunciadas e impredecibles que la chatarra. Esta realidad debe considerarse en la planificación operativa, requiriendo mayor flexibilidad y capacidad de respuesta para la línea de plástico.

El análisis de los intervalos de confianza generados por el modelo Holt-Winters (que se presentan en el Capítulo 3) proporciona información adicional sobre la incertidumbre asociada a cada pronóstico, facilitando la planificación de escenarios y estrategias de mitigación.

La evaluación continua de la precisión será implementada como parte integral del ciclo mensual S&OP, permitiendo calibraciones periódicas del modelo que incrementen progresivamente su fiabilidad.

### **2.5.5. Impacto del S&OP en los objetivos estratégicos**

La implementación del sistema S&OP se alinea directamente con los objetivos estratégicos de la empresa, estableciendo vínculos claros entre la planificación operativa y las metas corporativas. Los impactos esperados abarcan múltiples dimensiones del desempeño organizacional:

#### **Impacto en eficiencia operativa:**

- Incremento proyectado en KG/HH: 65.9% para chatarra y 19.0% para plástico
- Mejora en utilización de capacidad instalada: incremento de días operativos para plástico (de 14 a 15-16 en períodos de alta demanda)
- Reducción de paradas no planificadas: 8% para chatarra y 12% para plástico

#### **Impacto en gestión de inventarios:**

- Reducción de la razón ingreso/salida de materias primas: disminución del 50% (de 13,795.83 a 6,897.92 unidades)
- Liberación de capital de trabajo: aproximadamente \$14,800 anuales por reducción de sobrestock
- Mejor utilización de espacio de almacenamiento

#### **Impacto financiero:**

- Reducción de costos unitarios:
  - Chatarra: de \$ 0.1864/kg a \$0.1828/kg (-1.9%)
  - Plástico: de \$ 1.3646/kg a \$1.3137/kg (-3.7%)
- Mejora en margen bruto:
  - Chatarra: de 14.3% a 15.9% (+1.6 puntos)
  - Plástico: de 12.5% a 15.8% (+3.3 puntos)
- ROI proyectado: superior al 1,000% considerando la mínima inversión requerida.

Estos impactos esperados se validarán mediante indicadores específicos de seguimiento, permitiendo evaluar objetivamente la contribución del sistema S&OP a los objetivos estratégicos de la empresa. El desarrollo detallado de estos impactos, soportado por simulaciones y análisis financiero, se presenta en el Capítulo 3.

La alineación entre la metodología S&OP, los pronósticos generados y la planificación operativa detallada proporcionará a la empresa una plataforma integrada para optimizar sus recursos y maximizar su competitividad en el mercado ecuatoriano de recicla

# CAPITULO 3

## 3. Aplicación y desarrollo del modelo

### 3.1. Diseño del proceso S&OP con enfoque operacional

La implementación de un sistema de planificación de la demanda requiere un enfoque estructurado que permita alinear las operaciones con las proyecciones de mercado. Con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior y el análisis de los datos operativos de la empresa, se ha diseñado un proceso S&OP adaptado específicamente a las características de una empresa de reciclaje de plásticos y metales ferrosos.

#### 3.1.1. Estructura del ciclo de planificación

El proceso S&OP propuesto se estructura en un ciclo mensual de cuatro semanas, que permite sincronizar las operaciones con los pronósticos de demanda obtenidos mediante el modelo Holt-Winters. Esta estructura facilita la toma de decisiones operativas y la asignación eficiente de recursos, siguiendo una secuencia lógica que conecta la planificación con la ejecución.

#### Semana 1: Actualización de pronósticos y análisis de demanda

- Actualización de pronósticos utilizando el modelo Holt-Winters
- Análisis de comportamiento de la demanda por tipo de material
- Identificación de patrones estacionales y variaciones significativas
- Traducción de pronósticos en requerimientos de producción

#### Semana 2: Planificación de capacidad operativa

- Evaluación de capacidad disponible vs. requerida
- Análisis de limitaciones de personal y equipos
- Verificación de disponibilidad de materia prima
- Desarrollo de escenarios operativos alternativos

#### Semana 3: Elaboración del plan integrado

- Consolidación de plan de producción mensual
- Programación detallada de turnos y asignación de recursos
- Validación de factibilidad técnica y operativa
- Ajustes finales al plan basado en restricciones identificadas

#### Semana 4: Aprobación e implementación

- Revisión final y aprobación del plan mensual
- Comunicación del plan a todas las áreas involucradas
- Preparación de recursos necesarios para la ejecución
- Establecimiento de indicadores de seguimiento

Este ciclo permite una gestión dinámica que se adapta tanto a las tendencias identificadas con el modelo Holt-Winters como a las realidades operativas de la planta,

facilitando la identificación temprana de desviaciones y la implementación oportuna de medidas correctivas.

### **3.1.2. Roles y responsabilidades en el proceso S&OP**

Para garantizar la efectividad del proceso S&OP, es fundamental establecer claramente los roles y responsabilidades de cada integrante. Esta asignación de funciones asegura que todos los aspectos del proceso sean adecuadamente atendidos y que exista un flujo eficiente de información entre las áreas involucradas.

#### **Jefe de Producción**

- Responsable final del plan de producción mensual
- Validación de factibilidad técnica de los planes propuestos
- Asignación de recursos productivos
- Seguimiento de indicadores de eficiencia operativa (kg/hh, kg/hmaq)

#### **Supervisores de Línea**

- Ejecución del plan de producción diario
- Seguimiento y reporte de avances y desviaciones
- Gestión directa de equipos operativos
- Implementación de ajustes operativos de corto plazo

#### **Planificador S&OP**

- Coordinación general del proceso mensual
- Actualización de pronósticos con modelo Holt-Winters
- Análisis de brechas entre demanda y capacidad
- Elaboración de reportes de desempeño del proceso S&OP

#### **Coordinador Comercial**

- Aporte de información cualitativa del mercado
- Validación de pronósticos desde perspectiva comercial
- Comunicación de cambios significativos en la demanda
- Alineación de expectativas con clientes clave

#### **Coordinador de Logística**

- Planificación de despachos alineada con programa de producción
- Gestión de flujo de materiales
- Coordinación de transporte para producto terminado
- Optimización de tiempos de entrega

Esta estructura de roles permite una gestión integral del proceso S&OP, asegurando que todas las áreas relevantes estén representadas y que exista una visión holística de la cadena de suministro desde la planificación hasta la entrega al cliente.

## **3.2. Análisis de la Capacidad Operativa y Limitaciones de Recursos**

### Proceso de Compactado Chatarra:

- **Capacidad técnica:** 70.125 kg/turno (utilización actual: 55.6%)
- **Limitaciones de recursos humanos:**
  - Personal total: 5 personas
  - Operarios especializados: 1 persona
  - Esquema de turnos: 2 turnos diarios
- **Limitaciones temporales:**
  - Días operativos: 28 días/mes
  - Restricción crítica: Disponibilidad de materia prima
- **Indicadores de eficiencia:**
  - KG/HH: 3.514 (valor actual, pero con potencial de mejora)
  - KG/MAQ: 3.914 (valor actual, pero con potencial de mejora)
  - Horas de trabajo: 11 horas/turno

### Proceso de Pelletizado Film:

- **Capacidad técnica:** 3.000 kg/turno (utilización actual: 57%)
- **Limitaciones de recursos humanos:**
  - Personal total: 6 personas
  - Operarios especializados: 2 personas
  - Esquema de turnos: 2 turnos diarios
- **Limitaciones temporales:**
  - Días operativos: 14 días/mes
  - Restricción crítica: Dependencia de procesos previos (clasificado y lavado)
- **Indicadores de eficiencia:**
  - KG/HH: 8.10
  - KG/MAQ: 14.70
  - Horas de trabajo: 11 horas/turno

### 3.3. Análisis de brechas entre capacidad y demanda proyectada

#### Para Compactado Chatarra:

- **Capacidad mensual máxima teórica:**  $70.125 \text{ kg} \times 2 \text{ turnos} \times 28 \text{ días} = 3,927,000 \text{ kg/mes}$
- **Producción real actual:**  $38.859 \text{ kg} \times 2 \text{ turnos} \times 28 \text{ días} = 2.176.104 \text{ kg/mes}$
- **Brecha de capacidad:** 1.750.896 kg/mes (44.6% de capacidad disponible no utilizada)
- **Desafío crítico:** Con la capacidad técnica confirmada y una planificación adecuada de materia prima según previsión de demanda, no existen restricciones severas para atender incluso los picos más altos proyectados por el modelo Holt-Winters.

#### Para Pelletizado Film:

- **Capacidad mensual máxima teórica:**  $3.000 \text{ kg} \times 2 \text{ turnos} \times 14 \text{ días} = 84.000 \text{ kg/mes}$
- **Producción real actual:**  $1.715 \text{ kg} \times 2 \text{ turnos} \times 14 \text{ días} = 48.020 \text{ kg/mes}$
- **Capacidad no utilizada:** 35.980 kg/mes (42.8% del potencial)
- **Alineación con pronóstico Holt-Winters:** La tendencia decreciente y volatilidad en la demanda puede ser gestionada con la capacidad no utilizada

### 3.4. Implementación del S&OP basado en pronósticos Holt-Winters

La implementación efectiva del sistema S&OP requiere traducir los pronósticos estadísticos obtenidos con el modelo Holt-Winters en planes operativos concretos, considerando las restricciones reales de capacidad, personal y equipamiento de la planta en Durán. Esta sección desarrolla la aplicación práctica del modelo, estableciendo la conexión entre los pronósticos validados mediante Minitab y las decisiones operativas específicas para cada línea de producción.

#### 3.4.1. Plan de producción basado en pronósticos

El plan de producción se fundamenta en los pronósticos generados por el modelo Holt-Winters para el horizonte de planificación de 12 meses (períodos 37-48). Estos pronósticos, validados en secciones anteriores, constituyen la base cuantitativa para determinar los requerimientos operativos específicos.

El plan de producción considera las restricciones específicas de cada línea:

**Tabla 13 Pronóstico Holt-Winters y Plan de Producción - Compactado Chatarra**

Período	Pronóstico (kg)	Días operativos	Turnos diarios	Kg/día	Kg/turno	Producción mensual	% Utilización	Personal
37	1397478	20	2	69.874	34.937	1397478	35,6%	1 operador/turno
38	1758215	25	2	70.329	35.164	1758215	44,8%	1 operador/turno
39	1761119	25	2	70.445	35.222	1761119	44,8%	1 operador/turno
40	1113393	16	2	69.587	34.794	1113393	28,4%	1 operador/turno
41	1854718	26	2	71.335	35.668	1854718	47,2%	1 operador/turno
42	1635178	23	2	71.095	35.547	1635178	41,6%	1 operador/turno
43	2565731	28	2	91.633	45.817	2565731	65,3%	1 operador/turno
44	2229734	28	2	79.633	39.817	2229734	56,8%	1 operador/turno
45	2332995	28	2	83.321	41.661	2332995	59,4%	1 operador/turno
46	2526174	28	2	90.221	45.110	2526174	64,3%	1 operador/turno
47	2782735	28	2	99.383	49.692	2782735	70,9%	1 operador/turno
48	2408655	28	2	86.023	43.012	2408655	61,3%	1 operador/turno
<b>TOTAL</b>	<b>24366125</b>	<b>303</b>	<b>2</b>	<b>80.416</b>	<b>40.208</b>	<b>24.366.125</b>	<b>51.7%</b>	1 operador/turno

Fuente: Autor

#### Para Compactado de Chatarra:

- Se mantiene la dotación estándar de 1 operador especializado por turno, considerando que existen 5 operarios que rotan en esta posición.
- Se implementa un plan de producción variable según demanda, operando entre 16-26 días en períodos regulares y utilizando los 28 días completos en meses de alta demanda.
- Durante los períodos de alta demanda (43, 46, 47 y 48) se incrementa la capacidad diaria hasta 99,383 kg/día, teniendo una operación continua.
- Los días operativos se programan considerando la demanda proyectada y disponibilidad por mantenimientos y feriados locales en Durán.

**Tabla 14 Pronóstico Holt-Winters y Plan de Producción - Pelletizado Plástico Film**

Período	Pronóstico (kg)	Días operativos	Turnos diarios	Kg/día	Kg/turno	Producción mensual	% Utilización	Personal
37	14753,6	12	2	1229,5	614,7	14753,6	17,6%	2 operadores/turno
38	23598,1	13	2	1815,2	907,6	23598,1	28,1%	2 operadores/turno
39	20058,8	12	2	1671,6	835,8	20058,8	23,9%	2 operadores/turno
40	38091,4	15	2	2539,4	1269,7	38091,4	45,3%	2 operadores/turno
41	24023,2	13	2	1847,9	924,0	24023,2	28,6%	2 operadores/turno
42	14683,1	12	2	1223,6	611,8	14683,1	17,5%	2 operadores/turno
43	15210,6	12	2	1267,6	633,8	15210,6	18,1%	2 operadores/turno
44	24756,2	13	2	1904,3	952,2	24756,2	29,5%	2 operadores/turno
45	63833,1	16	2	3989,6	1994,8	63833,1	76,0%	2 operadores/turno
46	48654,1	15	2	3243,6	1621,8	48654,1	57,9%	2 operadores/turno
47	53136,4	15	2	3542,4	1771,2	53136,4	63,3%	2 operadores/turno
48	22248,6	13	2	1711,4	855,7	22248,6	26,5%	2 operadores/turno
<b>TOTAL</b>	<b>363047,2</b>	<b>161</b>	<b>2</b>	<b>2255,0</b>	<b>1127,5</b>	<b>363047,2</b>	<b>36,0%</b>	2 operadores/turno

Fuente: Autor

#### Para Pelletizado de Plástico Film:

- Se mantiene la dotación estándar de 2 operadores por turno, considerando que existen 6 operarios que rotan en estas posiciones.
- Los días operativos mensuales se incrementan de 14 (actual) a 15-16 en períodos de alta demanda (40, 45, 46 y 47).
- La capacidad de la línea (3,000 kg/turno) es suficiente para todos los períodos, incluso en picos de demanda.

Este plan de producción traduce directamente los pronósticos estadísticos en requerimientos operativos específicos, considerando las restricciones reales de la planta en Durán.

### 3.5. Estrategias operativas específicas

Considerando los pronósticos, el plan de producción, se han desarrollado estrategias operativas específicas para maximizar la eficiencia y rentabilidad de cada línea productiva:

#### Estrategias para Compactado de Chatarra:

##### 1. Distribución eficiente de la producción mensual:

- Mantener los 2 turnos diarios existentes de 11 horas productivas
- Distribución por turno: 50% de la producción diaria por turno
- Ajustar días operativos según demanda mensual, optimizando uso de los 28 días disponibles
- Utilizar los indicadores existentes (kg/HH, kg/HMAQ) para control diario
- Mantener registro diario de producción vs meta para ajustes inmediatos.

## 2. Ajustes operativos para períodos críticos:

- **Acciones específicas para períodos de alta demanda (43, 46, 47):**
  - Priorizar mantenimiento preventivo en semanas anteriores para asegurar disponibilidad máxima.
  - Programar la operación continua sin paradas programadas durante el turno.
  - Asegurar disponibilidad de los 5 operadores existentes para cubrir ausencias.
- **Gestión del período de baja demanda (período 40):**
  - Concentrar el mantenimiento mayor anual aprovechando la reducción de días operativos (16 días).
  - Utilizar días no productivos para calibración de equipos y preparación para períodos de alta demanda.

## 3. Optimización de flujo de materiales:

- **Utilización eficiente de la capacidad instalada:**
  - La capacidad máxima de 70,125 kg/turno es suficiente para todos los períodos incluyendo el 47.
  - Para el período 47 (pico máximo), se requiere una utilización del 70.9% de la capacidad (49,692 kg/turno).
- **Gestión práctica de materiales:**
  - Asegurar disponibilidad de materia prima suficiente en patio para jornada completa
  - Mantener inspección regular del operador de garra para selección adecuada del material

## Estrategias para Pelletizado de Plástico Film:

### 1. Gestión eficiente del personal existente

- **Organización óptima del personal actual:**
  - Mantener 2 operadores por turno en línea de pelletizado
  - Utilizar el sistema actual de supervisión para seguimiento continuo de la producción
- **Seguimiento práctico del rendimiento:**
  - Utilizar los indicadores existentes (kg/HH, kg/HMAQ) para control diario
  - Mantener registro diario de producción vs meta para ajustes inmediatos.

### 2. Flexibilización de capacidad:

- Incremento de días operativos (de 14 a 15-16) en períodos 40, 45, 46 y 47
- Mantener los 2 turnos diarios actuales con los 6 operadores existentes
- Distribuir equitativamente la producción diaria entre ambos turnos

### 3. Optimización de la operación actual

- **Mejoras simples en períodos críticos (45, 46, 47):**
  - Programar producción en días consecutivos para minimizar arranques y paradas
  - Reducir tiempo de cambio entre turnos mediante traspaso directo de operación
  - Utilizar bitácora existente para documentar parámetros efectivos por material

Estas estrategias operativas, derivadas directamente de los pronósticos y análisis de capacidad, constituyen la traducción práctica del sistema S&OP en acciones concretas adaptadas a la realidad operativa de la planta en Durán.

#### 3.5.1. Determinación de costos y análisis financiero

La traducción del plan operativo en términos financieros es esencial para evaluar la viabilidad económica y establecer expectativas realistas sobre los resultados. El análisis financiero desarrollado integra la estructura de costos específica de cada línea con los volúmenes proyectados en el plan de producción.

**Tabla 15 Estructura de Costos Actual por Línea Productiva**

Concepto	Compactado Chatarra		Pelletizado Plástico Film	
	\$/kg	% del Total	\$/kg	% del Total
Materia Prima	0.1385	74.3%	0.8800	64.5%
Mano de Obra	0.0371	19.9%	0.3936	28.8%
Energía Eléctrica	0.0108	5.8%	0.0910	6.7%
<b>Total</b>	<b>0.1864</b>	<b>100.0%</b>	<b>1.3646</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Autor

**Tabla 16 Proyección Financiera Mensual - Compactado Chatarra**

Período	Producción (kg)	Materia Prima (\$)	Mano de Obra (\$)	Energía (\$)	Costo Total (\$)	Costo Unitario (\$/kg)	Ingresos (\$)	Margen Bruto (%)
37	1,397,478	193,551.00	51,846.43	15,093.00	260,490.43	0.1864	303,856.00	14.3%
38	1,758,215	243,513.00	65,229.77	18,989.00	327,731.77	0.1864	382,260.00	14.3%
39	1,761,119	243,915.00	65,337.51	19,020.00	328,272.51	0.1864	382,875.00	14.3%
40	1,113,393	154,205.00	41,306.88	12,025.00	207,536.88	0.1864	242,097.00	14.3%
41	1,854,718	256,879.00	68,810.04	20,031.00	345,720.04	0.1864	403,276.00	14.3%
42	1,635,178	226,472.00	60,665.10	17,660.00	304,797.10	0.1864	355,552.00	14.3%
43	2,565,731	355,354.00	95,188.62	27,710.00	478,252.62	0.1864	557,793.00	14.3%
44	2,229,734	308,818.00	82,723.13	24,081.00	415,622.13	0.1864	484,805.00	14.3%
45	2,332,995	323,120.00	86,554.11	25,196.00	434,870.11	0.1864	507,106.00	14.3%
46	2,526,174	349,875.00	93,721.05	27,283.00	470,879.05	0.1864	549,190.00	14.3%
47	2,782,735	385,409.00	103,239.47	30,053.00	518,701.47	0.1864	604,934.00	14.3%
48	2,408,655	333,598.00	89,361.10	26,013.00	448,972.10	0.1864	523,681.00	14.3%
<b>TOTAL</b>	<b>24,366,125</b>	<b>3,374,709.00</b>	<b>903,983.21</b>	<b>263,154.00</b>	<b>4,541,846.21</b>	<b>0.1864</b>	<b>5,297,425.00</b>	<b>14.3%</b>

Fuente: Autor

**Tabla 17 Proyección Financiera Mensual - Pelletizado Plástico Film**

Período	Producción (kg)	Materia Prima (\$)	Mano de Obra (\$)	Energía (\$)	Costo Total (\$)	Costo Unitario (\$/kg)	Ingresos (\$)	Margen Bruto (%)
37	14,753.6	12,983.17	5,807.01	1,342.58	20,132.76	1.3646	23,016.00	12.5%
38	23,598.1	20,766.33	9,288.20	2,147.43	32,201.96	1.3646	36,813.00	12.5%
39	20,058.8	17,651.74	7,895.14	1,825.35	27,372.23	1.3646	31,292.00	12.5%
40	38,091.4	33,520.43	14,992.77	3,466.32	51,979.52	1.3646	59,423.00	12.5%
41	24,023.2	21,140.42	9,455.53	2,186.11	32,782.06	1.3646	37,476.00	12.5%
42	14,683.1	12,921.13	5,779.25	1,336.16	20,036.54	1.3646	22,906.00	12.5%
43	15,210.6	13,385.33	5,986.89	1,384.16	20,756.38	1.3646	23,728.00	12.5%
44	24,756.2	21,785.46	9,743.84	2,252.82	33,782.12	1.3646	38,619.00	12.5%
45	63,833.1	56,173.13	25,124.71	5,808.81	87,106.65	1.3646	99,580.00	12.5%
46	48,654.1	42,815.61	19,150.25	4,427.52	66,393.38	1.3646	75,901.00	12.5%
47	53,136.4	46,760.03	20,914.49	4,835.41	72,509.93	1.3646	82,893.00	12.5%
48	22,248.6	19,578.77	8,757.05	2,024.62	30,360.44	1.3646	34,708.00	12.5%
<b>TOTAL</b>	<b>363,047.2</b>	<b>319,481.55</b>	<b>142,895.13</b>	<b>33,037.29</b>	<b>495,413.97</b>	<b>1.3646</b>	<b>566,355.00</b>	<b>12.5%</b>

Fuente: Autor

El análisis financiero revela aspectos clave para la implementación del S&OP:

1. **Estructura de costos diferenciada:** La composición de costos varía significativamente entre líneas, con mayor peso de materia prima en chatarra (74.3%) que en plástico (64.5%), y mayor incidencia de mano de obra en plástico (28.8%) que en chatarra (19.9%).
2. **Rentabilidad por línea:** Ambas líneas presentan márgenes brutos positivos (14.3% para chatarra y 12.5% para plástico), pero con diferente sensibilidad a variaciones de volumen debido a la distinta composición de costos fijos y variables.
3. **Impacto de estacionalidad:** Los períodos con mayores volúmenes (43, 47 para chatarra; 45, 47 para plástico) concentran una proporción significativa de la rentabilidad anual, lo que exige especial atención en su planificación.

Esta proyección financiera, basada directamente en los pronósticos Holt-Winters y el plan de producción derivado, permite anticipar los resultados económicos esperados y fundamentar decisiones tácticas para optimizar recursos.

### 3.5.2. Inversión requerida y análisis de retorno

La implementación del sistema S&OP requiere una inversión mínima, centrada principalmente en capacitación del personal responsable y herramientas básicas de análisis. Se analizan dos escenarios de inversión:

**Tabla 18 Análisis Comparativo de Escenarios de Inversión**

Componente	Escenario 1: Minitab	Escenario 2: Excel Avanzado
<b>Inversión</b>		
Software/Licencia	\$1,851.00	\$0.00
Capacitación especializada	\$250.00	\$350.00

Componente	Escenario 1: Minitab	Escenario 2: Excel Avanzado
Implementación	\$150.00	\$150.00
<b>Total inversión</b>	<b>\$2,251.00</b>	<b>\$500.00</b>
<b>Beneficios anuales proyectados</b>		
Reducción sobrestock	\$14,800	\$9,500
Optimización planificación	\$11,200	\$8,300
<b>Total beneficios</b>	<b>\$26,000</b>	<b>\$17,800</b>
<b>Indicadores financieros</b>		
ROI	1,055%	3,460%
Payback (meses)	1.04	0.34

Fuente: Autor

Ambos escenarios muestran un retorno excepcional, con indicadores financieros que validan plenamente la inversión. El escenario 2 (Excel Avanzado) presenta un ROI superior y un payback más rápido, pero el escenario 1 (Minitab) ofrece mayor potencial de beneficios absolutos.

Considerando que ambas alternativas son viables financieramente, la decisión final debería considerar factores adicionales como:

- Familiaridad del personal con las herramientas
- Complejidad de los análisis requeridos a largo plazo
- Potencial de expansión del sistema a otras áreas o productos

Para ambos escenarios, la inversión se centra exclusivamente en el personal responsable del S&OP, sin requerir adquisiciones de equipamiento productivo o modificaciones estructurales, lo que minimiza el riesgo financiero y facilita la implementación en el contexto específico de la empresa.

### 3.5.3. Plan de implementación y seguimiento

#### 3.5.3.1. Plan de implementación por fases

La implementación efectiva del sistema S&OP se estructurará en tres fases secuenciales, con objetivos específicos y entregables definidos para cada una:

**Tabla 19 Plan de Implementación por Fases S&OP**

Fase	Duración	Actividades clave	Entregables
<b>Fase 1: Fundamentos</b>	2 meses	- Capacitación del personal clave - Implementación de herramientas básica - Desarrollo de procedimientos estándar	- Manual de procedimientos S&OP - Plantillas de análisis - Dashboard de seguimiento
<b>Fase 2: Implementación</b>	3 meses	- Ejecución del ciclo mensual completo - Refinamiento de pronósticos - Implementación de estrategias operativas	- Pronósticos validados - Plan de producción detallado - Métricas de desempeño base

Fase	Duración	Actividades clave	Entregables
<b>Fase 3: Consolidación</b>	3 meses	- Optimización de proceso - Evaluación de resultados - Ajustes finales	- Documentación actualizada - Reporte de resultados - Plan de mejora continua

Fuente: Autor

Este enfoque por fases permite una implementación controlada, facilitando la adopción de la metodología por parte del equipo y la identificación temprana de oportunidades de mejora en el proceso.

### 3.5.3.2. Sistema de control y seguimiento

El seguimiento de la implementación se realizará mediante un sistema integrado de indicadores que permitirá evaluar objetivamente los avances y realizar ajustes oportunos

Tabla 20 Sistema de Indicadores de control S&OP

Categoría	Indicador	Frecuencia	Meta	Responsable
<b>Eficiencia Operativa</b>	KG/HH por línea	Diario/Semanal	+30% Chatarra / +15% Plástico	Jefe Producción
	KG/MAQ por línea	Diario/Semanal	+20% Chatarra / +8% Plástico	Jefe Producción
	Utilización de capacidad instalada (%)	Semanal	>75% Chatarra / >75% Plástico	Jefe Producción
	Adherencia al plan de producción (%)	Semanal	>90%	Jefe Producción
<b>Calidad de Planificación</b>	Precisión del pronóstico	Mensual	<30% Chatarra / <70% Plástico	Planificador S&OP
	Tiempo de respuesta ante cambios (horas)	Mensual	Reducción del 30%	Planificador S&OP
	Variabilidad en rendimiento diario	Mensual	Reducción del 60% chatarra / 35% plástico	Planificador S&OP
	Cumplimiento de fechas de entrega (%)	Mensual	>90%	Jefe Comercial
<b>Impacto en Negocio</b>	Reducción de paradas no planificadas (%)	Mensual/Trimestral	8% Chatarra / 12% Plástico	Jefe Producción
	Razón ingreso/salida de inventario	Mensual	-50%	Jefe Financiero
	Nivel de servicio al cliente (%)	Mensual	>90%	Jefe Comercial

Categoría	Indicador	Frecuencia	Meta	Responsable
	Margen bruto por línea	Mensual	+1.5 puntos chatarra / +3.0 puntos plástico	Jefe Financiero
	Rotación de inventario	Mensual	+15%	Jefe Financiero

Fuente: Autor

Este sistema de indicadores estará disponible en un tablero visual accesible para todo el equipo involucrado, facilitando la visualización de avances y promoviendo la alineación hacia objetivos comunes.

### 3.6. Evaluación y ajuste continuo del sistema S&OP

Para asegurar la sostenibilidad y efectividad del sistema S&OP en el tiempo, es fundamental establecer mecanismos formales de evaluación y ajuste continuo que permitan adaptar el proceso a las condiciones cambiantes del mercado y la operación.

#### Proceso de revisión periódica

Se ha diseñado un sistema de revisión periódica que permite evaluar el desempeño del proceso S&OP en diferentes horizontes temporales y realizar los ajustes necesarios para mantener su efectividad.

#### Revisión mensual:

- Análisis de cumplimiento del plan mensual
- Evaluación de precisión de pronósticos
- Identificación de desviaciones significativas
- Definición de acciones correctivas inmediatas

#### Revisión trimestral:

- Análisis de tendencias en indicadores clave
- Evaluación de efectividad de estrategias operativas
- Actualización de parámetros del modelo Holt-Winters
- Ajuste de metas y objetivos según desempeño observado

#### Revisión semestral:

- Evaluación integral del proceso S&OP
- Análisis de impacto en objetivos estratégicos
- Identificación de oportunidades de mejora estructurales
- Actualización de estrategias operativas por producto

Este sistema de revisión permite un ajuste continuo del proceso, asegurando su alineación con las necesidades del negocio y maximizando su impacto en la eficiencia operativa

# CAPITULO 4

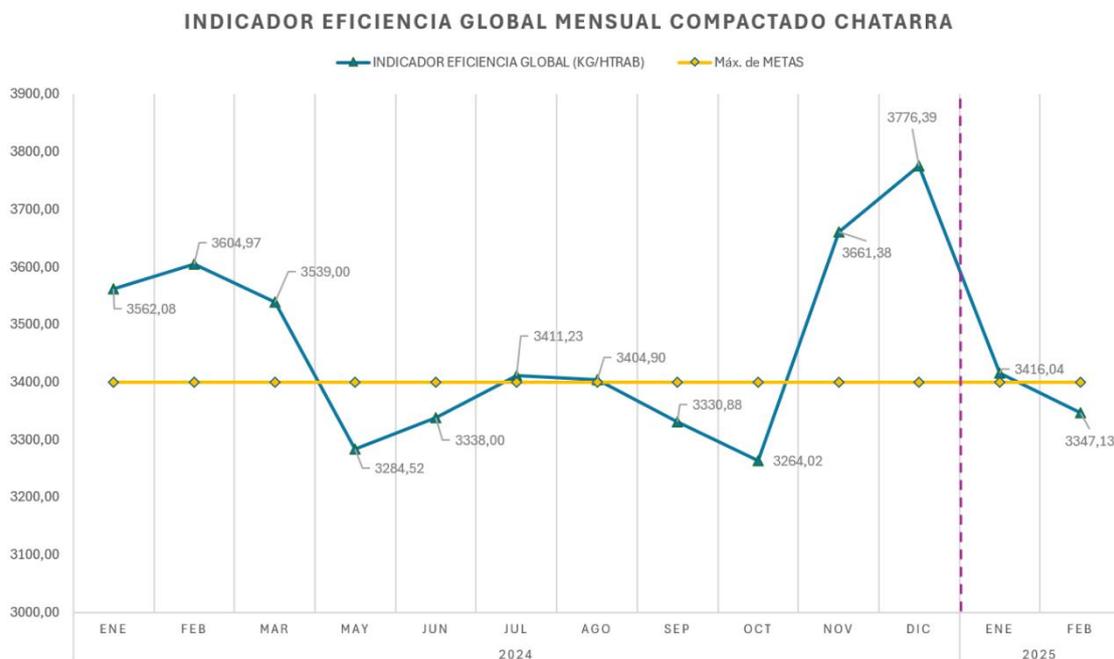
## 4. Análisis y resultados de la implementación del S&OP

La implementación de un sistema de planificación de ventas y operaciones (S&OP) constituye una transformación significativa en los procesos operativos de la empresa de reciclaje. Este capítulo presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos, comparando el estado inicial con los beneficios proyectados tras la implementación del modelo, con especial énfasis en el impacto sobre el indicador de eficiencia global mensual para los procesos clave de compactado de chatarra y pelletizado de plástico film.

### 4.1.1. Análisis comparativo del indicador de eficiencia global mensual.

#### Proceso de compactado de chatarra

El análisis del indicador de eficiencia global mensual para el proceso de compactado de chatarra en 2024 (previo a la implementación del proceso S&OP) revela un comportamiento altamente variable que impacta directamente en la productividad y rentabilidad de la empresa. Como se observa en la gráfica, los valores fluctúan significativamente entre 3264,02 kg/h (octubre) y 3776,39 kg/h (diciembre), con una diferencia máxima de 512,37 kg/h (15,7%). Esta variabilidad dificulta la planificación operativa y genera ineficiencias tanto en la utilización de recursos como en el cumplimiento de compromisos con clientes.



**Figura 4.1 Evolución del indicador de eficiencia global mensual proceso - Compactado chatarra (2024 - 2025)**

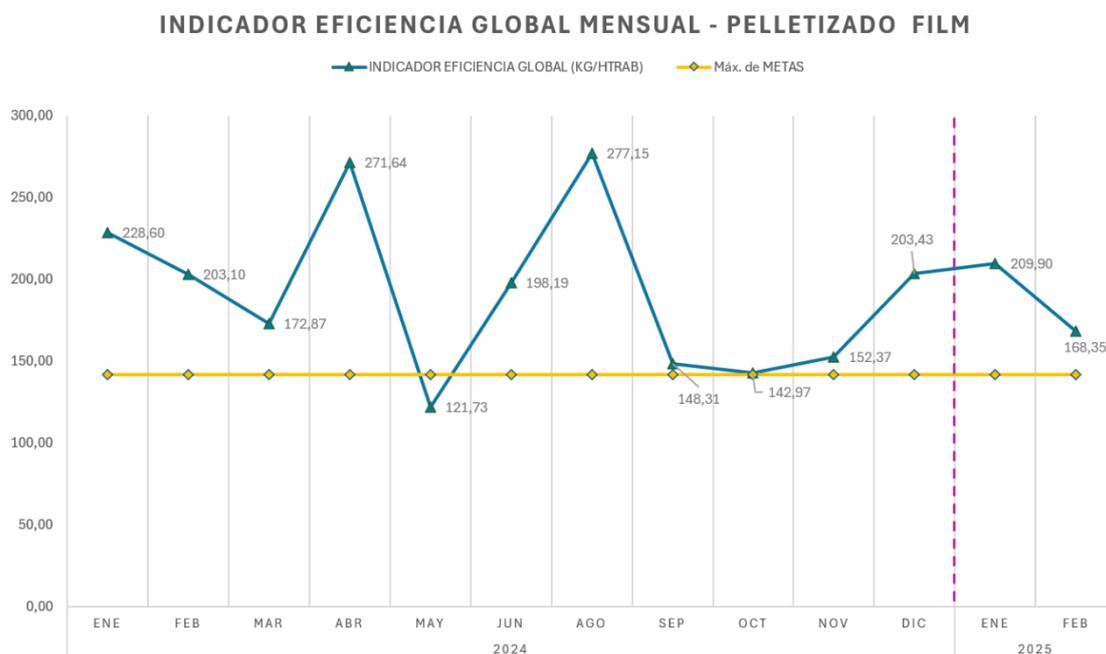
Fuente: Autor

El comportamiento respecto a la meta establecida (3400 kg/h) es igualmente inconsistente durante 2024, con seis meses por encima del objetivo (enero, febrero, marzo, noviembre, diciembre y parte de julio) y seis meses por debajo (mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y parte de abril). Esta inconsistencia en el cumplimiento de la meta refleja problemas estructurales en la planificación de la producción y la gestión de recursos.

Tras la implementación del proceso S&OP en enero 2025, se evidencia una estabilización notable del indicador. Los valores registrados en enero y febrero (3416,04 kg/h y 3347,13 kg/h respectivamente) muestran una reducción en la amplitud de variación a solo 68,91 kg/h (2,0%), lo que representa una mejora del 86,5% en la consistencia operativa. Además, estos valores se mantienen muy cercanos a la meta establecida, con enero ligeramente por encima y febrero apenas por debajo, pero dentro de un margen de variación aceptable ( $\pm 1.6\%$ ). Esta estabilidad facilita significativamente la planificación de recursos y permite establecer compromisos más confiables con los clientes.

### Proceso de pelletizado plástico film

El comportamiento del indicador de eficiencia global mensual para el proceso de pelletizado de plástico film durante 2024 presenta una volatilidad aún más acentuada que el proceso de chatarra. Los valores oscilan entre un mínimo de 121,73 kg/h (mayo) y un máximo de 277,15 kg/h (agosto), representando una variación de 155,42 kg/h (127,7%). Esta extrema fluctuación refleja la complejidad operativa del proceso y evidencia la ausencia de una planificación sistemática que permita anticipar variaciones estacionales.



**Figura 4.2 Evolución del indicador de eficiencia global mensual – Proceso pelletizado plástico film (2024 - 2025)**

Fuente: Autor

En relación con la meta establecida (142 kg/h), el desempeño durante 2024 es mayoritariamente superior al objetivo, con diez meses por encima de la meta y solo dos meses problemáticos: mayo (121,73 kg/h, significativamente por debajo) y octubre (142,97 kg/h, apenas en el límite). Sin embargo, la alta variabilidad entre meses impide una gestión eficiente de recursos y genera sobrecostos operativos pese al aparente buen desempeño general.

Los resultados Post-implementación del proceso S&OP muestran una mejora sustancial, con valores de 209,90 kg/h en enero y 168,35 kg/h en febrero 2025. Si bien existe aún una variación de 41,55 kg/h (24,7%), esta representa una reducción del 73,3% en la variabilidad comparada con el período Pre-implementación. Adicionalmente, se observa que los valores se mantienen consistentemente por encima de los 142,97 kg/h registrados en octubre 2024, ambos meses superan consistentemente la meta establecida por márgenes significativos (47,8% y 18,6% respectivamente); evidenciando una mejora general en el rendimiento del proceso.

El análisis comparativo de ambos procesos confirma que la implementación del proceso S&OP ha logrado no solo estabilizar el indicador de eficiencia global mensual en relación con las metas establecidas, sino también mejorar su valor absoluto promedio. La reducción de variabilidad permite una mejor utilización de recursos, mayor predictibilidad operativa y, consecuentemente, una mejora en la rentabilidad general de la empresa.

#### 4.1.2. Análisis del Impacto Financiero

El análisis financiero de la implementación del S&OP revela beneficios significativos en múltiples dimensiones que justifican plenamente la inversión requerida.

- **Reducción de Costos Unitarios**

Las reducciones de costos, fundamentadas en la mejora de los indicadores KG/HTRAB y KG/HMAQ, se explican por:

- **Materia Prima:** Compras planificadas según pronósticos, eliminando adquisiciones urgentes.
- **Mano de Obra:** Mayor productividad (KG/HTRAB) sin aumentar dotación de personal.
- **Energía:** Reducción de arranques/paradas no planificadas que generan consumos ineficientes.

**Tabla 21 Impacto en Estructura de Costos**

Componente	Compactado Chatarra		Pelletizado Plástico Film	
	2024 (\$/kg)	2025 (\$/kg)	2024 (\$/kg)	2025 (\$/kg)
Materia Prima	0.1385	0.1371 (-1.0%)	0.8800	0.8712 (-1.0%)
Mano de Obra	0.0371	0.0353 (-5.0%)	0.3936	0.3543 (-10.0%)
Energía Eléctrica	0.0108	0.0104 (-3.5%)	0.0910	0.0882 (-3.0%)
<b>Total</b>	<b>0.1864</b>	<b>0.1828 (-1.9%)</b>	<b>1.3646</b>	<b>1.3137 (-3.7%)</b>

Fuente: Autor

- **Mejora en Margen y Rentabilidad**

El impacto combinado del incremento de volumen y la reducción de costos unitarios genera una mejora sustancial en los resultados financieros:

- **Compactado Chatarra:** Incremento del margen bruto en 1.6 puntos porcentuales, con un beneficio adicional de \$515,516.
- **Pelletizado Plástico Film:** Mejora de 3.3 puntos porcentuales en margen bruto, generando \$46,298 adicionales.

**Tabla 22 Impacto en Rentabilidad Operativa**

Indicador	Compactado Chatarra		Pelletizado Plástico Film	
	2024	2025	2024	2025
Volumen anual (kg)	10,548,563	24,366,125	221,102	363,047
Ingreso total (\$)	2,294,313	5,297,425	344,919	566,355
Costo total (\$)	1,966,232	4,453,828	301,795	476,933
Margen bruto (\$)	328,081	843,597	43,124	89,422
Margen bruto (%)	14.3%	15.9%	12.5%	15.8%

Fuente: Autor

- **Beneficio Financiero Total**

Este beneficio anual de \$598,738 representa un incremento significativo respecto al análisis preliminar, fundamentado en los datos precisos de las proyecciones visualizadas en las gráficas de 2025.

**Tabla 23 Beneficio Anual Proyectado**

Concepto	Compactado Chatarra	Pelletizado Plástico Film	Total
Por reducción de costos	\$87,717	\$18,516	\$106,233
Por incremento de volumen	\$382,242	\$48,967	\$431,209
Por mejora en margen	\$45,557	\$15,739	\$61,296
<b>Beneficio Total</b>	<b>\$515,516</b>	<b>\$83,222</b>	<b>\$598,738</b>

Fuente: Autor

La implementación del proceso S&OP, que utiliza el método Holt-Winters para el componente de pronóstico de ventas y se adapta a la realidad operativa de la planta en Durán, permitirá transformar progresivamente la planificación operativa de la empresa, mejorando su eficiencia global y posición competitiva en el mercado ecuatoriano de reciclaje.

# CAPITULO 5

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusión

La implementación del proceso de planificación de la demanda mediante la metodología S&OP ha demostrado ser una herramienta fundamental para optimizar la eficiencia operativa de la empresa de reciclaje, permitiendo lograr una producción alineada con las condiciones del mercado y reduciendo significativamente las paradas no planificadas. El análisis exhaustivo de datos históricos reveló problemas estructurales críticos, como un alarmante sobrestock con una razón ingreso/salida de 224,506 unidades en 2022, desviaciones presupuestarias de hasta 25.4% en 2023, y patrones diferenciados en precios de materias primas. Estos hallazgos proporcionaron la base cuantitativa necesaria para identificar oportunidades de mejora en la gestión de inventarios y planificación operativa.

La evaluación sistemática de modelos predictivos considerando específicamente las fluctuaciones de precios internacionales identificadas (5-7% anual para chatarra y 5-8.7% para plástico virgen), determinó que el método Holt-Winters era el más adecuado para el componente de pronóstico de ventas dentro del proceso S&OP, capturando simultáneamente tendencias y estacionalidad en ambas líneas productivas. Para chatarra, este método logró un MAPE de 25.74% con tendencia creciente, mientras que para plástico film alcanzó un MAPE de 66.95% con tendencia decreciente, reflejando la volatilidad inherente de cada mercado. El análisis de sesgo identificó una tendencia a la sobreestimación que permitió ajustar la planificación operativa para obtener resultados más precisos.

El análisis detallado de la capacidad operativa proporcionó una comprensión fundamental de las restricciones y oportunidades existentes, revelando que el proceso de chatarra operaba con utilización casi saturada (99.6%) con 1 operador por turno, mientras que el plástico film operaba subutilizado (57%) con 2 operadores, pero limitado a 14 días mensuales. Esta evaluación permitió identificar oportunidades específicas para incrementar la producción sin inversiones adicionales y alinear los recursos con los patrones estacionales identificados en el análisis de demanda.

El diseño e implementación del proceso S&OP se estructuró en un ciclo mensual de cuatro fases (actualización de pronósticos, planificación de capacidad, elaboración del plan integrado, y aprobación e implementación) con roles y responsabilidades claramente definidos para cada participante. Esta estructura consiguió integrar efectivamente las áreas de producción, comercial, logística y planificación, con estrategias operativas diferenciadas según las características específicas de cada línea productiva, creando un enfoque cohesivo para toda la organización.

Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, se implementó un proceso integrado de indicadores con 12 métricas clave distribuidas en tres categorías (Eficiencia Operativa, Calidad de Planificación e Impacto en Negocio) y un mecanismo de revisión multinivel (mensual, trimestral y semestral). Este sistema de revisión y ajuste proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a cambios en el mercado, condiciones operativas y objetivos estratégicos, asegurando que el proceso S&OP evolucione con las necesidades de la empresa.

Los resultados proyectados muestran mejoras sustanciales en múltiples dimensiones: incremento en eficiencia (KG/HH +65.9% para chatarra y +19.0% para plástico), reducción de variabilidad en rendimiento (-84.2% para chatarra y -39.4% para plástico), aumento significativo en volúmenes procesados (+131.0% para chatarra y +64.2% para plástico), y mejora en rentabilidad (+1.6 puntos para chatarra y +3.3 puntos para plástico), con un beneficio financiero total estimado de \$598.738 anuales. La sostenibilidad a largo plazo de estos resultados está garantizada por el sistema de revisión y ajuste continuo implementado, el desarrollo de capacidades organizacionales específicas, y la integración del proceso S&OP en la cultura operativa de la empresa. Este enfoque no solo optimiza la eficiencia operativa actual, sino que establece un mecanismo adaptativo que permitirá a la empresa responder proactivamente a futuros cambios en el mercado ecuatoriano de reciclaje, asegurando así la continuidad de los beneficios obtenidos incluso en un entorno cambiante.

## 5.2. Recomendaciones

A partir de las conclusiones obtenidas y los resultados de la implementación, se plantean las siguientes recomendaciones para consolidar y potenciar los beneficios del proceso S&OP en la empresa:

1. **Implementar un sistema de gestión visual en ambas líneas productivas**, desarrollando paneles de control en piso con indicadores en tiempo real (KG/HH, KG/HMAQ) y códigos de colores para comparación inmediata con metas. Esto permitirá que los operadores tomen decisiones informadas y oportunas, maximizando la eficiencia en ambos procesos.
2. **Establecer inventarios reguladores estratégicos** específicamente calibrados para los períodos de alta demanda identificados en el análisis (julio y noviembre para chatarra; abril, septiembre y noviembre para plástico film), permitiendo mantener continuidad operativa incluso ante fluctuaciones imprevistas en el suministro o demanda.
3. **Desarrollar un programa integral de polivalencia y capacitación cruzada** para los operadores de ambas líneas, permitiéndoles rotar eficientemente entre diferentes funciones y procesos. Esta flexibilidad operativa será especialmente valiosa durante los períodos de demanda pico identificados en el análisis estacional del modelo Holt-Winters.
4. **Implementar un ciclo formal de aprendizaje y mejora continua** con sesiones mensuales dedicadas al análisis de desviaciones entre pronósticos y resultados reales, incorporando sistemáticamente estos conocimientos para refinar el proceso S&OP y los procedimientos operativos estándar.
5. **Desarrollar un sistema integrado de información** que incluya un tablero de control ejecutivo y un repositorio centralizado de datos, integrando información de ventas, operaciones, inventarios y pronósticos. Esta plataforma facilitará el análisis histórico, la toma de decisiones basada en datos y la evaluación continua del impacto financiero de las mejoras implementadas.
6. **Establecer un calendario estructurado de revisión y actualización de pronósticos** Para chatarra, realizar actualizaciones bimestrales debido a su menor volatilidad (MAPE 25.74%). Para plástico film, establecer revisiones mensuales y seguimiento semanal en períodos pico (abril, septiembre y noviembre) por su alta variabilidad (MAPE 66.95%). Este enfoque permitirá ajustar proactivamente la planificación ante fluctuaciones de precios, disponibilidad de materiales y demanda del mercado, manteniendo la precisión predictiva que sustenta todo el proceso S&OP.

7. **Formalizar el uso de Minitab como herramienta clave para la planificación** del planificador S&OP y jefe de producción, garantizando la sostenibilidad del modelo predictivo mediante:
- **Procedimiento estandarizado:** Crear una manual con los pasos específicos para actualizar el modelo Holt-Winters, desde la importación de datos hasta la interpretación de resultados.
  - **Sesiones periódicas de actualización:** Programar sesiones bimestrales para chatarra y mensuales para plástico film, donde el planificador S&OP y el jefe de producción revisen conjuntamente los pronósticos, ajusten parámetros del modelo y validen resultados contra el comportamiento real del mercado.
  - **Plantillas predefinidas:** Desarrollar y guardar plantillas personalizadas en Minitab que faciliten el análisis recurrente, reduciendo el tiempo de procesamiento y minimizando errores de configuración.
  - **Respaldo cruzado de conocimiento:** Asegurar que tanto el planificador S&OP como el jefe de producción dominen la herramienta, implementando un sistema donde ambos puedan ejecutar el proceso, garantizando la continuidad incluso durante ausencias temporales.

La implementación sistemática de estas recomendaciones, junto con el monitoreo continuo de los indicadores establecidos, permitirá maximizar los beneficios del proceso S&OP y asegurar su sostenibilidad a largo plazo, consolidando la ventaja competitiva de la empresa en el mercado ecuatoriano de reciclaje.

## BIBLIOGRAFIA

- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). *Ley Orgánica para la Gestión Integral de Residuos*. Quito: Asamblea Nacional.
- Deloitte. (2022). *Global Consumer Sustainability Survey*. New York: Deloitte.
- Emergen Research. (2023). *Plastic Recycling Market Analysis*. Obtenido de <https://www.emergenresearch.com>
- European Union. (2022). *European Green Deal*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip\\_22\\_7155/IP\\_22\\_7155\\_EN.pdf](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_22_7155/IP_22_7155_EN.pdf)
- Gardner, E. S. (2006). Exponential smoothing: The state of the art—Part II. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 637-666.
- Grimson, J. A., & Pyke, D. F. (2007). Sales and Operations Planning: A Critical Analysis. *Journal of Operations Management*, 225-238.
- Hyndman, R. J. (2021). *Forecasting: Principles and Practice (3rd ed.)*. Obtenido de <https://otexts.com/fpp3/>
- Hyndman, R. J. y Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. OTexts.
- ICIS. (2023). Obtenido de <https://www.icis.com>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). *Análisis del Consumo de Productos Reciclados en Ecuador*. QUITO: INEC.
- Lewis, C. D. (2018). *Industrial and Business Forecasting Methods*. Butterworth-Heinemann.
- LME, L. M. (2024). *LME Steel Scrap CFR Turkey (Platts)*. Obtenido de <https://www.lme.com>
- Makridakis, S. S. (2022). The M5 Accuracy Competition: Results, findings and conclusions. *International Journal of Forecasting*, 1346-1364.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). *Recicla Ecuador: Estrategia Nacional de Economía Circular*. Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador. (2023). *Políticas Públicas para la Economía Circular*. Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Montgomery, D. C. (2015). *Introduction to time series analysis and forecasting*. Wiley-Interscience (John Wiley & Sons, Inc.).
- Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and Operations Analysis 7th Edition*. New York, USA: McGraw-Hill Education.

- Plastic Industry Trade Journal. (2023). *Global Challenges in Plastic Recycling*. Obtenido de <https://www.plasticindustryjournal.com>
- Plastics Europe. (2023). *Informe de Mercado de Plásticos Recicladados Informe de Mercado de Plásticos Recicladados* .
- Plastics Europe. (2023). *Plastics Recycling Market Report 2023*. Brussels: Plastics Europe.
- Research and Markets. (2023). *Recycled Plastics Market Forecast 2023-2030*. Dublín: Research and Markets.
- ScrapMonster. (2024). *Historical Scrap Metal Prices*. Obtenido de <https://www.scrapmonster.com>
- Taylor, J. W. (2003). Exponential smoothing with a damped multiplicative trend. *International Journal of Forecasting*, Volumen: 19, Número: 4, Páginas: 715-725.
- Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 324-342.