



Universidad Internacional de La Rioja

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Máster Universitario en Dirección Logística

Implantación de un sistema de predicción de la demanda de Papeles S.A.

Trabajo fin de estudio presentado por:	Rubén Satorre Picó
Tipo de trabajo:	Individual
Tipología de Trabajo:	Desarrollo de Metodologías
Director/a:	Yamila Concepción Socarras Cordovi
Fecha:	18 de febrero del 2026

Resumen

Este estudio se centra en el diseño e implantación de un sistema de predicción de la demanda para una fábrica de artículos de un solo uso orientado al canal Horeca. La empresa tiene una demanda muy estacional, un catálogo amplio y a un espacio de almacenamiento limitado, lo que dificulta la planificación de la producción y la gestión del stock, dando lugar a roturas en temporada alta, exceso de inventario en temporada baja y costes logísticos innecesarios.

Para ello, se han combinado métodos cuantitativos y cualitativos, aplicándose modelos de series temporales (principalmente Holt-Winters) y modelos de regresión con variables de campaña, evaluándose su precisión mediante métricas como MAE, RMSE y MAPE, y contrastando con la información procedente de las ventas y dirección. Todo el tratamiento de datos, se lleva a cabo con hojas de cálculo y herramientas estadísticas sencillas, pensando en una futura implantación real.

Los resultados muestran que, cuando se incorpora la estacionalidad y el efecto de las campañas, la calidad de las previsiones mejora claramente frente a los métodos actuales basados en promedios y la experiencia del personal de ventas, reduciéndose los errores de predicción en las familias más críticas. A partir de estas previsiones se ajustan los stocks, y se aprecia un mayor nivel de servicio en los picos de demanda, y una reducción de la ocupación del almacén fuera de temporada. Además, se esboza una propuesta de aplicación interna apoyada en técnicas de machine learning que permitiría automatizar el cálculo de previsiones e integrarlo con el ERP, como paso siguiente en la evolución del sistema.

El trabajo, pone de manifiesto que un enfoque que combina modelos cuantitativos sencillos con el conocimiento cualitativo de las personas clave de la organización, puede suponer una importante mejora en la gestión de la demanda y del inventario. Como líneas futuras se plantea incorporar variables externas (por ejemplo, indicadores turísticos) y avanzar hacia una integración más profunda del sistema de previsión en los procesos de planificación y toma de decisiones de la empresa.

Palabras clave:

Predicción de demanda, Estacionalidad, Gestión de inventario, Sector Horeca, Planificación de la producción

Índice de contenidos

1.	Introducción	8
1.1.	Justificación del proyecto	10
1.2.	Planteamiento del problema y finalidad del trabajo.	11
1.3.	Objetivos.....	12
1.3.1.	Objetivo General.....	12
1.3.2.	Objetivos Específicos	12
1.4.	Misión, visión y valores	13
2.	Marco Teórico.	14
2.1.	Previsión de la demanda en logística.	14
2.1.1.	Concepto y papel de la previsión en la cadena de suministro.....	14
2.1.2.	Métodos cuantitativos de predicción de la demanda.....	17
2.1.3.	Métodos cualitativos de previsión.	21
2.2.	Gestión de inventario en entornos estacionales.....	23
2.2.1.	Stock de seguridad, punto de pedido y nivel de servicio.	24
2.2.2.	Stockouts, sobre stock y costes asociados.	24
2.2.3.	Inventario estacional y planificación de capacidad.....	25
2.2.4.	Adaptación de políticas de inventario a la estacionalidad.....	26
2.3.	Procesos integrados de planificación.	27
2.4.	Variables clave del estudio.	30
2.4.1.	MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	30
2.4.2.	Nivel de servicio.....	30
2.4.3.	Rotación de inventario.	30
2.4.4.	Cobertura de stock.	31
2.4.5.	Ocupación del almacén.	31
2.5.	Síntesis y aportación del trabajo.	33
3.	Contextualización. Análisis de la situación actual de Papeles S.A.	33
3.1.	Descripción Papeles, S.A.....	33
3.2.	Procesos logísticos actuales.	37
3.2.1.	Proceso productivo y logístico.....	39
3.3.	Situación actual de la demanda y del inventario.	42

3.4.	Indicadores clave de la situación inicial.	44
4.	Metodología del trabajo.	47
4.1.	Diseño general de la investigación.	48
4.2.	Fuentes de datos e instrumentos.	49
4.3.	Procedimiento de análisis de datos.	50
4.4.	Formulación de modelos y metricas.	52
4.4.1.	Modelos de previsión	53
4.4.2.	Métricas de error	54
4.4.3.	Indicadores logísticos derivados de las previsiones	55
4.5.	Criterios de selección de modelos y de comparación de escenarios.	56
4.6.	Evaluación del impacto sobre producción e inventario.	57
4.7.	Propuesta de implantación y plan de acción.	59
5.	Desarrollo específico de la contribución.	61
5.1.	Descripción detallada del estudio.	61
5.1.1.	Tecnologías y herramientas utilizadas.	61
5.1.2.	Organización del piloto.	62
5.1.3.	Participantes y roles organizativos.	63
5.2.	Descripción de los resultados.	64
5.2.1.	Comparación de modelos por familia.	64
5.2.2.	KPI escenario actual vs. Sistema propuesto.	65
5.3.	Discusión.	68
5.3.1.	Interpretación por familia.	68
5.3.2.	Coherencia con la literatura.	69
5.3.3.	Implicaciones operativas para Papeles S.A.	69
5.4.	Propuesta de solución.	70
5.4.1.	Diseño del sistema de previsión integrado.	70
5.4.2.	Integración con procesos de planificación.	71
5.5.	Temporalización y presupuesto.	72
5.5.1.	Cronograma de implantación.	72
5.5.2.	Recursos necesarios y estimación de costes.	73
6.	Conclusiones.	75
6.1.	Grado de consecución de los objetivos específicos	75
6.2.	Aportaciones para Papeles S.A.	76
6.3.	Aportaciones académicas y profesionales en logística y previsión.	76

7. Limitaciones y prospectiva.....	78
7.1. Limitaciones del estudio (datos, horizonte, herramientas, etc.)	78
7.2. Líneas futuras de trabajo.....	79
8. Referencias bibliográficas.	80
9. Anexos.....	84

Índice de figuras

Figura 1. <i>Captura software de previsión de la demanda Streamline</i>	9
Figura 2. <i>Evolución ventas 2025 (miles €)</i>	10
Figura 3. <i>Objetivos específicos.</i>	12
Figura 4. <i>Valores.</i>	14
Figura 5. <i>Impacto de la previsión de la demanda.</i>	17
Figura 6. <i>Procesos de ventas y operaciones (S&OP).</i>	28
Figura 7. <i>KPIs clave en Papeles S.A.</i>	32
Figura 8. <i>Evolución Papeles S.A.</i>	34
Figura 9 <i>Portafolio de productos Papeles S.A.</i>	35
Figura 10. <i>Cadena de suministro Papeles S.A.</i>	36
Figura 11. <i>Desafíos logísticos.</i>	38
Figura 12. <i>Distribución del espacio de la planta de Papeles S.A.</i>	39
Figura 13. <i>Proceso productivo Papeles S.A.</i>	40
Figura 14. <i>Proceso productivo Papeles S.A.</i>	41
Figura 15. <i>Estacionalidad de ventas.</i>	44
Figura 16. <i>Nivel de servicio.</i>	45
Figura 17. <i>Rotación de inventario en Papeles S.A.</i>	45
Figura 18. <i>Cobertura de stock promedio en Papeles S.A. (datos 2024)</i>	46
Figura 19. <i>Roturas de stock en Papeles S.A. (datos 2024)</i>	47
Figura 20. <i>Proceso metodológico en Papeles S.A.</i>	49
Figura 21. <i>Procedimiento análisis de datos.</i>	51
Figura 22. <i>Etapas de la implantación.</i>	60
Figura 23. <i>Etapas de la implantación.</i>	73

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Planteamiento del problema y finalidad</i>	11
Tabla 2. <i>Métodos cuantitativos de previsión</i>	21
Tabla 3. <i>Métodos cualitativos de previsión</i>	23
Tabla 4. <i>Conceptos generales gestión inventario</i>	27
Tabla 5. <i>Comparativa de los diferentes modelos</i>	64
Tabla 6. <i>Modelos de previsión seleccionados por familia de producto y mejora aproximada de precisión</i>	65
Tabla 7. <i>Comparativa entre escenarios</i>	66
Tabla 8. <i>Comparación cualitativa de indicadores claves entre la situación actual y el sistema de previsión propuesto</i>	66
Tabla 9. <i>Impacto económico estimado</i>	67
Tabla 10. <i>Recursos necesarios y estimación de costes para la implantación del sistema de previsión de la demanda</i>	74
Tabla 11. <i>Principales aportaciones del trabajo y tipo de contribución para Papeles S.A.</i>	77
Tabla de contenido	84

1. Introducción

En muchas empresas, la forma de planificar sigue dependiendo en gran medida de la intuición y experiencia de las personas, y del uso de hojas de cálculo (Silver, Pyke y Peterson, 1998), pero esto es muy problemático cuando la demanda es muy estacional, como ocurre en el sector Horeca, ya que gran parte de las ventas se concentran en periodos muy concretos del año. Una previsión poco rigurosa, se traduce en roturas de stock en los picos de consumo, sobrestock en los meses valle y una utilización poco eficiente del espacio y de los recursos productivos (BoxHero, 2025).

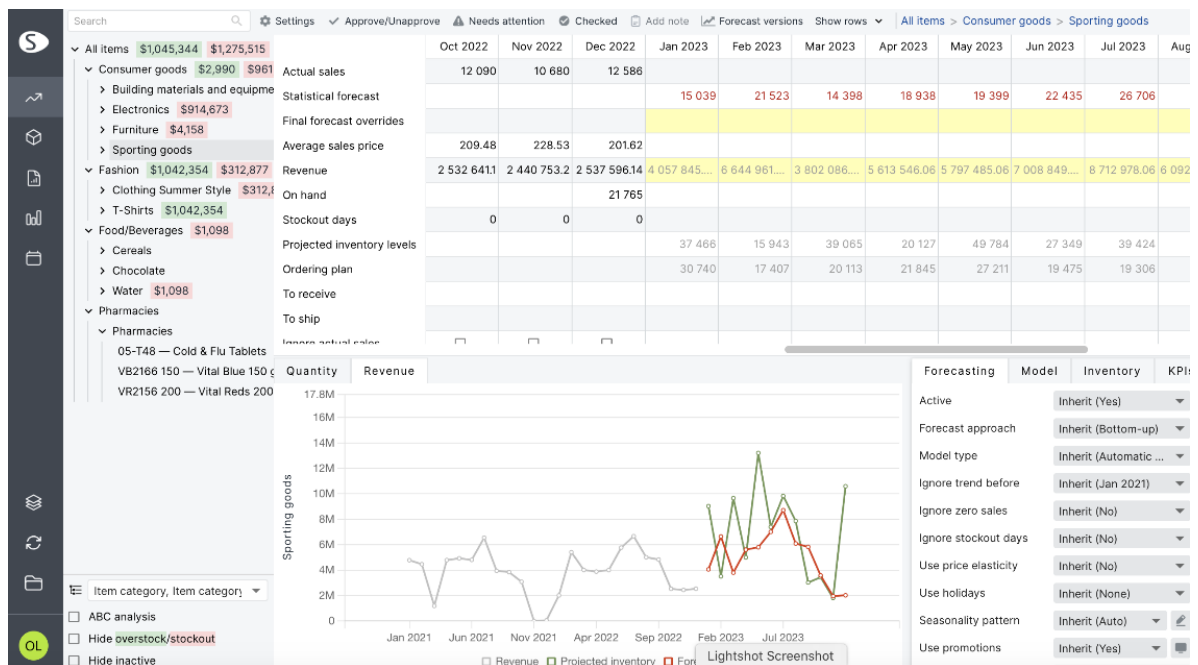
Ante este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar e implantar un sistema de predicción de la demanda que se adapte a la realidad de Papeles S.A. y contribuya a mejorar la planificación de la producción y la gestión de inventario. Para ello se plantean varios objetivos específicos: analizar la situación actual de la demanda y del stock en la empresa, revisar las principales metodologías de previsión e inventario aplicables a entornos estacionales, desarrollar y comparar distintos modelos de predicción para determinadas familias de producto seleccionadas, y finalmente, evaluar el impacto de las nuevas previsiones sobre los indicadores logísticos de referencia (Cobo Cano, 2021; García Sarabia, 2020).

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo combina tres tipos de “aportaciones”. En primer lugar, se realiza una revisión del marco teórico sobre previsión de la demanda, gestión de inventarios y planificación, tomando como referencia trabajos académicos y profesionales (Makridakis et al., 1998; Hyndman y Athanasopoulos, 2018; Chopra y Meindl, 2016). En segundo lugar, se lleva a cabo un análisis cuantitativo de los históricos de ventas y campañas de Papeles S.A., aplicando modelos de series temporales (como Holt-Winters) y modelos de regresión con variables de campaña, evaluando su precisión mediante métricas de error como MAE, RMSE y MAPE (Holt, 1957; Winters, 1960; Hyndman y Athanasopoulos, 2018). En tercer lugar, se incorpora la visión cualitativa de la organización a través de la participación de la dirección y figuras clave del departamento de ventas y producción, de forma alineada con las recomendaciones de la literatura sobre la combinación de métodos cuantitativos y juicio experto (Makridakis et al., 1998; Martínez y Rodríguez, 2020).

El trabajo se estructura en varios bloques. Tras esta introducción, se presenta el marco teórico, en el que se revisan los conceptos clave de previsión de la demanda, los principales métodos y su relación con la gestión de inventarios. Seguidamente, se contextualiza el caso de Papeles S.A. y se describe su situación actual respecto a los procesos logísticos, demanda e indicadores de rendimiento. Posteriormente, se detalla la metodología seguida, los modelos de previsión analizados, y los criterios utilizados para seleccionar las alternativas más adecuadas para cada familia de producto. Finalmente, se presentan los resultados, se discuten sus implicaciones operativas para la empresa, y se obtienen las conclusiones, aportaciones, limitaciones y líneas futuras de trabajo.

En la Figura 1 se muestra la interfaz del software de previsión de la demanda utilizado como referencia en este trabajo. Esta herramienta ilustra el tipo de funcionalidades que se busca reproducir de forma adaptada a las necesidades de Papeles S.A.

Figura 1. Captura software de previsión de la demanda Streamline



(Fuente: gmdhsoftware.com)

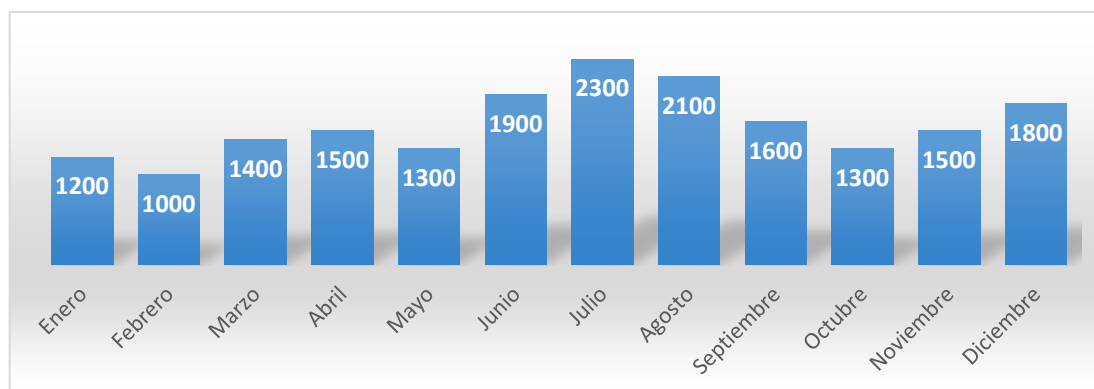
1.1. Justificación del proyecto

La demanda de productos de un solo uso para el sector Horeca, se caracteriza por una gran estacionalidad, con incrementos considerables en determinados periodos (periodos vacacionales, festividades y temporadas de mayor movimiento turístico), y una reducción importante en los meses de menor actividad. En el caso de Papeles S.A., esta variabilidad se combina con la gestión de un catálogo de más de 3500 referencias, que difieren en tamaño, formato de plegado, color, material y diseño, lo que incrementa la complejidad de la planificación de la producción y del inventario. Esta combinación de estacionalidad y amplio catálogo de productos, dificulta la alineación entre la oferta y la demanda, y reduce la eficiencia operativa.

La ausencia de un sistema de predicción de la demanda “formal”, da lugar a situaciones de falta de stock en temporada alta, y a un sobrestock en temporada baja, con el consiguiente incremento de costes de almacenamiento y riesgo de obsolescencia, especialmente en aquellas referencias con diseños para determinadas campañas estacionales o personalizaciones para clientes. Estas ineficiencias, impactan de forma directa en el nivel de servicio al cliente, en la optimización de la capacidad productiva, y en la rentabilidad global de la empresa.

La Figura 2 recoge la evolución mensual de las ventas durante el año 2025. En ella se aprecia claramente la presencia de picos de demanda en los meses asociados a temporada alta turística y campañas específicas, así como periodos de menor actividad.

Figura 2. Evolución ventas 2025 (miles €)



Fuente: Elaboración propia

1.2.Planteamiento del problema y finalidad del trabajo.

En la situación actual de Papeles S.A., se observa que no existe un sistema “formal” de predicción de la demanda que integre los históricos de ventas, patrones estacionales y el conocimiento cualitativo procedente del mercado. Esta carencia, conlleva dificultades para ajustar los planes de producción a las necesidades reales de los clientes, provocando roturas de stock en periodos de demanda alta y sobrestock en periodos de menor actividad.

El problema inicial que se aborda en este trabajo, se centra en la necesidad de disponer de un sistema de previsión de la demanda que permita anticiparse con mayor precisión a las necesidades del mercado, y poder adaptar la planificación de la producción y del inventario a las variaciones estacionales propias del sector.

La finalidad del trabajo es, diseñar y proponer un sistema de predicción de la demanda, basado en la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos, que pueda ser implantado en Papeles S.A., con el objetivo de mejorar la eficiencia de la logística, reducir los costes asociados al inventario y aumentar el nivel de servicio.

La Tabla 1 resume el problema central de Papeles S.A., sus causas y manifestaciones operativas, así como la finalidad del trabajo y los resultados esperados. Esta síntesis ayuda a conectar la situación actual de la empresa con los objetivos del TFM.

Tabla 1. *Planteamiento del problema y finalidad*

Elemento	Descripción en el contexto de Papeles S.A.
Problema central	Inexistencia de un sistema formal de predicción de la demanda que integre históricos , estacionalidad y conocimiento del mercado.
Causas principales	Alta estacionalidad de la demanda Horeca, catálogo >3.500 referencias, limitaciones de espacio y capacidad, decisiones basadas en experiencia y hojas de cálculo dispersas.
Manifestaciones operativas	Roturas de stock en temporada alta, sobre stock en temporada baja, ocupación muy elevada del almacén, reubicaciones constantes de palets, cambios de formato de última hora en producción.
Impacto en la empresa	Aumento de costes de almacenamiento, inmovilización de capital, horas extra y cargas irregulares, riesgo de pérdida de ventas y deterioro del nivel de servicio al cliente.
Finalidad del trabajo	Diseñar y proponer un sistema de predicción de la demanda, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, que permita adaptar producción e inventario a las fluctuaciones estacionales del sector Horeca.
Resultados esperados	Mejor alineación entre oferta y demanda, reducción de roturas y sobre stock, uso más eficiente del almacén y mejora del nivel de servicio a clientes de Papeles S.A.

Fuente: Elaboración propia

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar e implantar un modelo de gestión de inventario y producción para satisfacer la demanda, reduciendo los costes de almacenamiento, y maximizando la disponibilidad de productos, a pesar de la alta estacionalidad y el elevado número de referencias en catálogo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento histórico de la demanda y la estacionalidad de las principales familias de producto de Papeles S.A.
- Identificar y seleccionar métodos cuantitativos adecuados para la previsión de la demanda en entornos con marcada estacionalidad.
- Integrar información cualitativa procedente de las diferentes áreas en el proceso de previsión de la demanda.
- Diseñar un flujo de trabajo para la planificación conjunta de la demanda, la producción y el inventario.
- Evaluar mediante indicadores relacionados con el nivel de servicio y el inventario, la mejora asociada a la implantación del sistema de predicción propuesto.

La siguiente figura, representa de forma esquematizada, los objetivos específicos que se persiguen en este TFM.

Figura 3. *Objetivos específicos.*



Fuente: Elaboración propia

1.4.Misión, visión y valores

Partiendo de las carencias detectadas, la misión trata de:

“proporcionar a Papeles S.A. una herramienta fiable y sistemática para anticipar las necesidades del mercado y conectar dichas previsiones con la planificación de la producción y del inventario. Se trata de que las decisiones sobre qué producir, qué cantidad y en qué momento se basen en información cuantitativa y cualitativa estructurada, reduciendo la incertidumbre asociada a la estacionalidad y a la amplia variedad de referencias gestionadas por la empresa.”

Por otra parte, mirando al horizonte futuro, su dirección persigue y se inspira por esta visión:

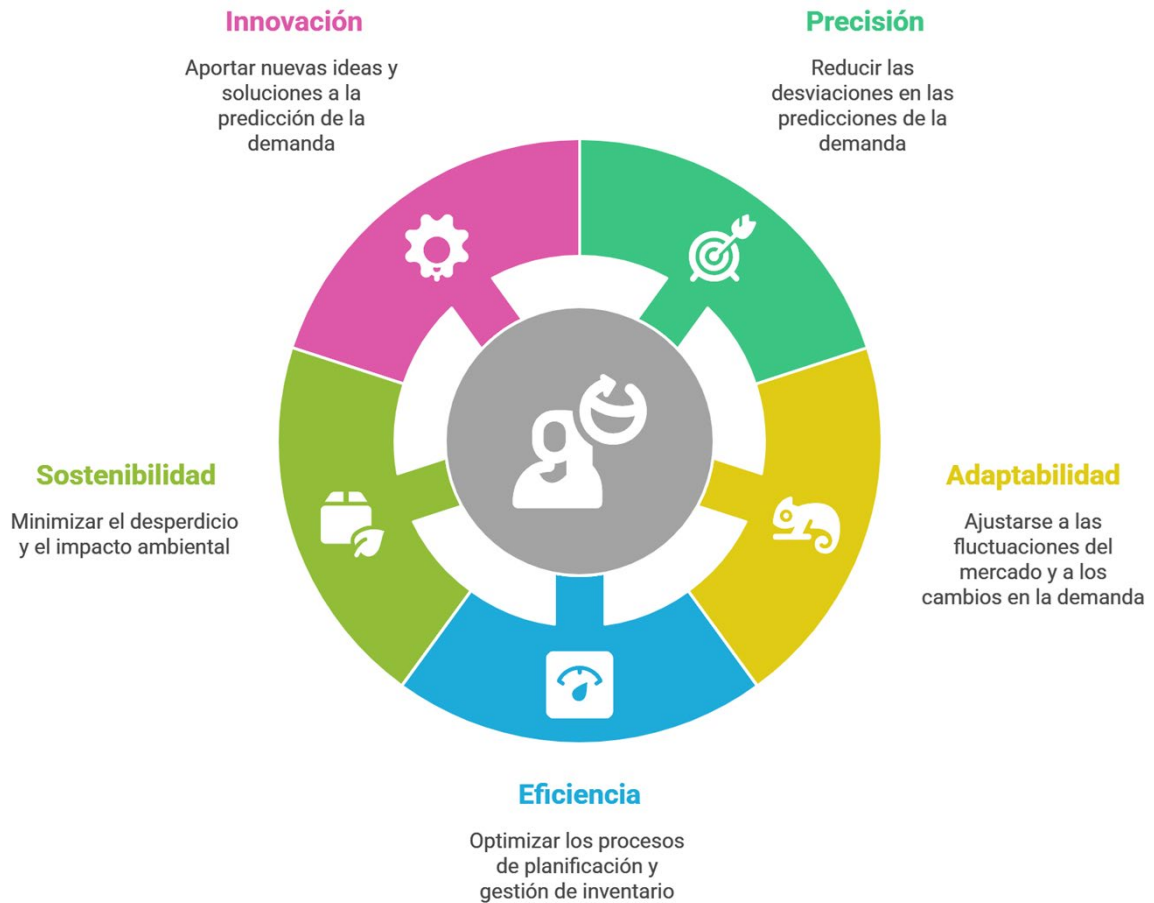
“Convertir la empresa en un referente de servicio y respuesta al mercado, controlando el aumento de los costes mediante la optimización de la producción y el espacio de almacenamiento.”

Por último, estos son los valores en los que se asienta la cultura de empresa:

- **Precisión:** Reducir al máximo las desviaciones en las predicciones de la demanda mediante la aplicación de métodos cuantitativos y cualitativos y la validación de los resultados.
- **Adaptabilidad:** Diseñar un sistema flexible que pueda ajustarse a las fluctuaciones del mercado, a la incorporación de nuevas referencias y a los cambios en el comportamiento de la demanda.
- **Eficiencia:** Optimizar los procesos de planificación de la producción y gestión de inventario, minimizando los costes y optimizando la utilización de los recursos.
- **Sostenibilidad:** Reducir el desperdicio de materiales, la obsolescencia de productos y el impacto ambiental mediante una gestión de inventario más eficiente.
- **Innovación:** Aportar nuevas ideas y soluciones a la problemática de la predicción de la demanda en el sector Horeca, utilizando las últimas tecnologías y metodologías.

La Figura que se presenta a continuación, resume los valores sobre los que se asienta la cultura de la empresa. y que orientan el diseño del sistema de previsión de la demanda. Entre ellos destacan la precisión, la adaptabilidad, la eficiencia, la sostenibilidad y la innovación.

Figura 4. Valores.



Fuente: Elaboración propia

2. Marco Teórico.

2.1. Previsión de la demanda en logística.

2.1.1. Concepto y papel de la previsión en la cadena de suministro.

La previsión de la demanda se define como el proceso mediante el cual, una empresa estima sus necesidades futuras de productos o servicios a partir de la información disponible en el presente, ya sea en forma de datos históricos o de conocimiento experto sobre el mercado (Makridakis, Wheelwright y Hyndman, 1998; Armstrong, 2001). Estos autores coinciden en que la finalidad de la previsión, es reducir la incertidumbre asociada al comportamiento futuro

de la demanda y proporcionar una base cuantitativa para la toma de decisiones en los diferentes eslabones de la cadena de suministro. Una buena previsión no elimina la incertidumbre, pero ayuda a gestionarla mejor, haciendo que las decisiones de planificación se apoyen en escenarios numéricos en lugar de depender únicamente de la intuición o experiencia.

En el ámbito de la logística y la gestión de operaciones, la previsión de la demanda es un elemento clave de la planificación de la producción, el aprovisionamiento y la gestión del inventario, así como del dimensionamiento de capacidades y recursos (Makridakis et al., 1998; Box, Jenkins y Reinsel, 2008). Chopra y Meindl subrayan que los pronósticos de demanda son el punto de partida de muchas decisiones tácticas y estratégicas de la cadena de suministro: determinan qué cantidad producir, cuándo lanzar órdenes a fábrica, cuanto stock mantener, y qué niveles de servicio pueden ofrecerse al cliente, equilibrado con un coste razonable. Una previsión adecuada permite sincronizar los flujos de materiales con las necesidades de los clientes, fijar niveles de stock alineados con los niveles de servicio objetivo, y programar la producción de forma que se eviten tanto las roturas como los sobrestocks de inventario.

La literatura especializada, indica que los errores en la previsión se traducen en ineficiencias a lo largo de toda la cadena de suministro. Makridakis et al. (1998) y Silver, Pyke y Peterson (1998) destacan que una estimación sobredimensionada sistemática conduce a sobre stock, mayor ocupación de almacén y costes financieros más altos, mientras que una infraestimación recurrente, genera roturas de stock, urgencias en pedidos, baja optimización de la capacidad productiva, y pérdida de ventas.

Estudios recientes sobre previsión en cadenas de suministro, confirman que estos efectos se amplifican en entornos con demanda estacional, donde no observar correctamente los patrones estacionales o determinados factores externos (por ejemplo, campañas, clima o turismo) puede generar desviaciones importantes entre la demanda real y la prevista (Hyndman y Athanasopoulos, 2018; Lapide, 2014). En consecuencia, la calidad de las previsiones influye de manera directa en la capacidad de la empresa para mantener niveles de servicio óptimos y controlar sus costes operativos.

Desde una perspectiva organizativa, diversos autores insisten en que la previsión de la demanda no debe entenderse como una tarea aislada, sino como un proceso que integra información procedente de distintas áreas funcionales. Armstrong (2001) y Chopra y Meindl (2016) resaltan la importancia de combinar la información cuantitativa con el conocimiento

cualitativo de áreas como comercial, marketing, finanzas y operaciones, de manera que el pronóstico resultante refleje tanto los patrones históricos como las expectativas sobre el mercado. En este sentido, la previsión actúa como punto de inicio de procesos de planificación integrados, como el Sales and Operations Planning (S&OP), en los que se analizan y alinean las previsiones de ventas con los planes de producción, aprovisionamiento e inventario a través de ciclos periódicos de revisión (Lapide, 2014). El objetivo de estos procesos es llegar a un plan consensuado que sea viable desde el punto de vista operativo y coherente con los objetivos comerciales y financieros de la organización.

En el contexto específico de Papeles S.A., la previsión de la demanda adquiere una relevancia particular debido a la estacionalidad del consumo en el sector Horeca, a la amplitud del catálogo de productos y a las limitaciones del espacio de almacenamiento. Tal y como señalan los trabajos sobre demanda estacional en cadenas de suministro, en escenarios con picos muy concentrados y periodos valle prolongados, resulta imprescindible disponer de pronósticos que recojan correctamente la estacionalidad, para definir niveles de stock de seguridad y puntos de pedido acordes con el nivel de servicio deseado (Slimstock, 2025; BoxHero, 2025). En este caso, un sistema de previsión robusto, es un requisito indispensable para establecer políticas de inventario adaptadas a cada familia de producto, dimensionar la producción en los distintos periodos del año y mejorar la coordinación entre los departamentos comercial y operaciones.

En la Figura 5 se ilustra el impacto que tiene la previsión de la demanda sobre los principales procesos de la cadena de suministro. El esquema muestra cómo un pronóstico más fiable se traduce en una mejor planificación de producción, aprovisionamiento e inventario.

Figura 5. *Impacto de la predicción de la demanda.*

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Métodos cuantitativos de predicción de la demanda.

Los métodos cuantitativos de predicción de la demanda se basan en el análisis de datos históricos, y en ocasiones, de variables adicionales, con el objetivo de estimar el comportamiento futuro de la demanda. A diferencia de los enfoques cualitativos, los métodos cuantitativos hacen uso de los modelos matemáticos y estadísticos, lo que permite evaluar su precisión y comparar alternativas mediante métricas de error objetivas. La literatura clásica de previsión destaca su papel central en la planificación de la producción, el aprovisionamiento y la gestión de inventarios, especialmente cuando se dispone de un historial de datos suficiente y de calidad adecuada (Makridakis, Wheelwright y Hyndman, 1998).

En términos generales, pueden distinguirse tres grandes familias de métodos cuantitativos. En primer lugar, los modelos de series temporales, que se centran en la dinámica interna de la demanda a lo largo del tiempo, y tratan de descomponerla en componentes de nivel, tendencia y estacionalidad (Box, Jenkins y Reinsel, 2008). En segundo lugar, los modelos causales, que explican la demanda en función de otras variables que actúan como

determinantes, utilizando típicamente técnicas de regresión. Finalmente, en los últimos años se han incorporado técnicas de aprendizaje automático, capaces de capturar relaciones no lineales y estructuras de alta complejidad entre múltiples variables (Armstrong, 2001). La selección entre estos enfoques depende de la naturaleza de la demanda, la disponibilidad de datos y los recursos de la organización.

- **Modelos de las series temporales:**

Los modelos de series temporales parten de que la demanda futura está relacionada con su comportamiento pasado, y de que este comportamiento puede describirse con tendencias o patrones estacionales. En estos modelos se considera que la serie observada se compone de una parte sistemática, que recoge el nivel, la tendencia y la estacionalidad, y una parte aleatoria, que refleja la variabilidad no explicada por el modelo (Box et al., 2008). El objetivo del modelado, es identificar la componente sistemática y extrapolarla al futuro, controlando el error aleatorio.

Entre los métodos más sencillos se encuentran las medias móviles y las medias móviles ponderadas, en las que la previsión se obtiene como un promedio de las demandas recientes, asignando mayor peso a las observaciones más recientes (Makridakis et al., 1998). Estos métodos son fáciles de implantar y de comprender por parte de los usuarios, lo que ayuda a su aceptación en las empresas, aunque su capacidad para capturar tendencias y patrones estacionales complejos, es limitada.

Un grupo de métodos de amplia difusión, es el de los modelos de suavizado exponencial. El suavizado exponencial simple utiliza un parámetro de suavizado para combinar la observación más reciente con la previsión anterior, dando mayor peso a los datos más recientes (Makridakis et al., 1998). Los modelos de Holt amplían esta idea, incorporando una componente de tendencia, mientras que las formulaciones de Holt-Winters, en sus versiones aditiva y multiplicativa, añaden explícitamente la estacionalidad a la estructura del modelo (Makridakis et al., 1998; Box et al., 2008). Estos métodos se han consolidado como herramientas de referencia, debido a su equilibrio entre capacidad de predicción, simplicidad de los recursos, y facilidad de actualización periódica.

En sectores con demanda estacional como el Horeca, los modelos de suavizado exponencial con componente estacional resultan adecuados, ya que permiten reflejar en las previsiones,

los picos de consumo asociados a determinadas épocas del año. En un contexto como el de Papeles S.A., donde la demanda de manteles y servilletas se incrementa de forma sistemática en periodos vacacionales y festivos, la incorporación de factores estacionales en los modelos de previsión puede contribuir a dimensionar de manera más precisa los planes de producción e inventario.

- **Modelos causales y regresión:**

Mientras que los modelos de series temporales se centran en la estructura interna de la serie de demanda, los modelos causales tratan de explicar dicha demanda a partir de otras variables que se consideran relevantes. La regresión lineal múltiple es uno de los enfoques más utilizados dentro de esta familia, al permitir cuantificar la relación entre la demanda como variable dependiente, y un conjunto de variables independientes tales como el precio, la realización de campañas promocionales, indicadores de actividad turística o la incorporación de nuevos clientes (Makridakis et al., 1998).

En el caso del sector Horeca, la demanda de productos de un solo uso puede verse influida de forma significativa por la época del año, la ocupación hotelera, la celebración de eventos locales y las decisiones comerciales de los establecimientos. Incorporar estas variables en modelos de regresión, permite capturar efectos que no serían visibles si solo se analizara la serie histórica de demanda, mejorando potencialmente la precisión de las previsiones (Chopra & Meindl, 2016). No obstante, la utilidad de estos modelos está condicionada por la disponibilidad de datos fiables sobre las variables explicativas, y por la estabilidad de las relaciones estimadas en el tiempo.

La literatura advierte sobre ciertos riesgos asociados al uso de modelos causales, como la multicolinealidad entre variables explicativas, el sobreajuste a los datos históricos, o la sensibilidad a cambios estructurales en el entorno (Box et al., 2008; Armstrong, 2001). Por este motivo, se recomienda combinar el análisis cuantitativo con la validación por parte de expertos de la empresa, y revisar periódicamente los resultados del modelo, ajustando las variables incluidas cuando se detectan cambios significativos en el mercado o en la estrategia comercial.

- **Técnicas de aprendizaje automático:**

Las técnicas de aprendizaje automático son cada vez más relevantes en el campo de la predicción de la demanda, especialmente en contextos donde intervienen múltiples variables y las relaciones entre ellas pueden ser no lineales o difíciles de capturar con modelos tradicionales. Algoritmos como los bosques aleatorios, los métodos de gradient boosting o determinadas arquitecturas de redes neuronales, permiten modelizar patrones complejos aprovechando grandes volúmenes de datos históricos y de contexto (Armstrong, 2001).

En el ámbito de la previsión de ventas, estos enfoques pueden aportar mejoras de precisión cuando se dispone de información detallada sobre clientes, productos, precios, promociones y factores externos, y cuando la estructura de la demanda presenta irregularidades que los modelos clásicos no capturan adecuadamente. Sin embargo, la implantación de técnicas de aprendizaje automático implica requisitos adicionales en términos de calidad y volumen de datos, capacidad de procesamiento y competencias técnicas para el desarrollo, entrenamiento e interpretación de los modelos (Makridakis et al., 1998).

En organizaciones de tamaño medio como Papeles S.A., la decisión de incorporar técnicas de aprendizaje automático debe analizarse con detalle, y valorar si “compensa”, un posible incremento en la precisión de las previsiones frente a los costes de implementación y mantenimiento. Una estrategia razonable consiste en adoptar un enfoque de manera incremental: comenzar por modelos de series temporales consolidados, estabilizar el proceso de previsión y, posteriormente explorar la introducción de modelos más avanzados para familias de productos críticas, o para horizontes temporales específicos. De este modo, se aprovechan las ventajas de los enfoques tradicionales (simplicidad, transparencia e interpretabilidad), pero sin renunciar a la posibilidad de incorporar soluciones más sofisticadas.

La Tabla 2 presenta las principales familias de métodos cuantitativos de previsión, junto con los datos necesarios, la complejidad de implantación y sus aplicaciones típicas en logística. Esta visión comparativa sirve de guía para seleccionar el enfoque más adecuado.

Tabla 2. Métodos cuantitativos de previsión.

Familia de métodos	Técnicas representativas	Datos necesarios	Complejidad de implantación	Aplicación típica en logística
Series temporales	Medias móviles, suavizado exponencial simple, Holt, Holt-Winters	Histórico de demanda (mínimo 24-36 meses para estacionalidad)	Media: requiere ajuste de parámetros y revisión periódica	Productos con demanda regular o estacional; planificación a corto-medio plazo (1-12 meses)
Modelos causales (regresión)	Regresión lineal múltiple, regresión con variables dummy estacionales	Histórico de demanda + variables explicativas (precio, promociones, actividad turística, etc.)	Media-alta: requiere identificar variables relevantes y validar estabilidad del modelo	Productos influidos por factores externos medibles; evaluar impacto de campañas y eventos
Aprendizaje automático (ML)	Bosques aleatorios, gradient boosting, redes neuronales	Gran volumen de datos históricos + múltiples variables de contexto (clientes, productos, precios, etc.)	Alta: requiere infraestructura tecnológica, limpieza de datos, entrenamiento y mantenimiento	Contextos con relaciones no lineales, múltiples variables y patrones complejos; mejora incremental sobre métodos clásicos

Fuente: Elaboración propia a partir de Makridakis et al. (1998), Box et al. (2008) y Armstrong (2001)

2.1.3. Métodos cualitativos de previsión.

Los métodos cualitativos de previsión, se apoyan en el juicio y la experiencia de personas conocedoras del mercado, en lugar de basarse solo en datos históricos numéricos. Estos enfoques resultan especialmente útiles en situaciones con información limitada, cambios en la demanda o lanzamiento de nuevos productos, donde los métodos cuantitativos encuentran más dificultades para ofrecer estimaciones fiables (IngE, 2022; StockAgile, 2025).

Entre los métodos cualitativos más utilizados, se encuentran el método Delphi, las encuestas de mercado, la consulta al departamento de ventas, y los “jurados” de opinión ejecutiva. El método Delphi, consiste en la consulta estructurada e iterativa a un grupo de expertos, mediante rondas de cuestionarios anónimos, con el objetivo de alcanzar un consenso sobre la demanda futura o sobre la evolución de determinados factores relevantes (IEBS, 2017; IngE, 2022). Las encuestas de mercado y estudios de consumidores, permiten recoger percepciones y expectativas de los clientes, y extrapolarlas al conjunto del mercado, mientras que la consulta a la fuerza de ventas aprovecha el conocimiento de los vendedores, por su contacto

directo con los clientes, para estimar la demanda en diferentes zonas o segmentos (IngE, 2022).

Los jurados de opinión ejecutiva y los grupos de consenso, reúnen a directivos y responsables de distintas áreas para emitir una previsión conjunta, basada en su experiencia y en la información disponible. Estas técnicas resultan especialmente útiles cuando se requiere tomar decisiones rápidas ante eventos no previstos o al planificar el lanzamiento de nuevos productos, y suelen emplearse, combinándolos con otros métodos cualitativos y cuantitativos (IEBS, 2017; IngE, 2022).

En el ámbito de la logística y la gestión de la cadena de suministro, diferentes autores destacan la conveniencia de integrar los métodos cualitativos con modelos cuantitativos, de forma que se genere una previsión base a partir de datos históricos y, posteriormente se ajuste mediante el conocimiento de expertos sobre factores como campañas promocionales, cambios en la competencia o variaciones en la demanda (StockAgile, 2025). En entornos como el del sector Horeca, donde la demanda está muy condicionada por la estacionalidad y eventos específicos, este enfoque híbrido permite mejorar la utilidad de las previsiones para la planificación de la producción y del inventario.

En el caso de Papeles S.A., la aportación cualitativa del departamento comercial y de la gerencia, resulta especialmente relevante para anticipar el impacto de campañas estacionales, acuerdos con clientes clave y variaciones en la actividad turística sobre la demanda de manteles y servilletas. Por ello, el sistema de predicción de la demanda propuesto en este trabajo se plantea como una combinación de modelos cuantitativos y ajustes cualitativos, alineada con las buenas prácticas recogidas en la literatura profesional y en las guías de previsión de la demanda utilizadas en el entorno empresarial español (IEBS, 2017; StockAgile, 2025).

En la Tabla 3 se recogen los métodos cualitativos de previsión más relevantes, sus ventajas y limitaciones, así como el uso recomendado en Papeles S.A. Esta tabla pone de relieve el papel complementario de estas técnicas respecto a los modelos cuantitativos.

Tabla 3. Métodos cualitativos de previsión.

Método	Ventajas	Limitaciones	Uso recomendado en Papeles, s.a.
Método Delphi	Integra visión de varios expertos, fomenta consenso progresivo.	Requiere tiempo y coordinación, puede ser poco ágil para decisiones operativas.	Anticipar cambios estructurales del sector Horeca y tendencias a medio plazo.
Fuerza de ventas (estimaciones comerciales)	Aprovecha conocimiento directo del cliente, capta información reciente de mercado.	Riesgo de sesgos individuales, criterios poco homogéneos entre comerciales.	Ajustar previsiones por zonas/clientes clave y campañas específicas.
Jurado de opinión ejecutiva (comité interno)	Visión global de la empresa, integra comercial, producción, logística y finanzas.	Puede verse influido por jerarquía y opiniones dominantes.	Definir previsiones agregadas por familia para el ciclo SOP mensual.
Encuestas/estudios de mercado	Información directa de consumidores, útil para nuevos productos.	Coste y tiempo de realización, resultados no siempre extrapolables al conjunto.	Evaluar aceptación de nuevos diseños o colecciones estacionales.

Fuente: Elaboración propia a partir de IngE (2022), IEBS (2017) y StockAgile (2025)

2.2. Gestión de inventario en entornos estacionales.

La gestión de inventario, tiene como finalidad garantizar la disponibilidad de producto para atender la demanda de los clientes, minimizando los costes asociados al almacenamiento, la obsolescencia y las roturas de stock. Desde una perspectiva clásica, los modelos de inventario tratan de determinar cuánto pedir o producir y cuándo hacerlo, de forma que se optimice algún criterio de coste o servicio (Silver, Pyke y Peterson, 1998). Entre los elementos básicos de estos modelos, se encuentran el lote económico, el punto de pedido, el stock de seguridad y el nivel de servicio objetivo, que permiten configurar políticas de inventario adaptadas a las características de cada producto.

En entornos con demanda relativamente estable, resulta habitual aplicar políticas de inventario con parámetros fijos a lo largo del año, diseñadas a partir de estimaciones medias de demanda y de su variabilidad. Sin embargo, cuando la demanda presenta una fuerte estacionalidad, como ocurre en el sector Horeca, el uso de parámetros constantes puede llevar a grandes ineficiencias: exceso de inventario en periodos de baja demanda y riesgo de rotura en los picos estacionales (Chopra y Meindl, 2016). La literatura reciente, subraya la necesidad de adaptar los niveles de stock de seguridad y los puntos de pedido a las diferentes

fases del ciclo estacional, en lugar de mantener una única configuración válida para todo el año.

2.2.1. Stock de seguridad, punto de pedido y nivel de servicio.

El stock de seguridad se define como la cantidad adicional de inventario que se mantiene para protegerse frente a la incertidumbre en la demanda y en los plazos de reposición. Su función es actuar como colchón ante desviaciones respecto a la demanda esperada o retrasos en el suministro, reduciendo la probabilidad de roturas de stock. La determinación del stock de seguridad, implica un compromiso entre el coste de mantener inventario extra y el coste de las faltas de producto, como puede ser; pérdidas de ventas e imagen, penalizaciones contractuales, etc. (Silver et al., 1998).

El punto de pedido, representa el nivel de inventario a partir del cual se lanza una nueva orden de reaprovisionamiento. En su formulación, el punto de pedido incluye tanto la demanda esperada durante el plazo de reposición como el stock de seguridad, de modo que el nuevo pedido llegue antes de que el inventario se agote. El nivel de servicio, entendido como la probabilidad de no incurrir en roturas de stock durante un tiempo de reposición o como el porcentaje de demanda atendida sin retrasos, constituye un parámetro clave, que condiciona el dimensionamiento del stock de seguridad (Chopra & Meindl, 2016).

En entornos estacionales, estos conceptos siguen siendo válidos, pero los parámetros que los como la demanda media, desviación estándar, plazos de reposición, varían a lo largo del año. Por tanto, aplicar un único nivel de stock de seguridad o un punto de pedido fijo suele derivar en situaciones donde, en temporada alta, el colchón resulta insuficiente, mientras que en temporada baja se mantiene un inventario excesivo. La literatura propone, en consecuencia, el uso de enfoques segmentados, en los que se calculan parámetros diferenciados para periodos de alta y baja demanda (Silver et al., 1998; Chopra & Meindl, 2016).

2.2.2. Stockouts, sobre stock y costes asociados.

Las desviaciones entre la demanda real y la prevista, derivan normalmente en, roturas de stock (stockouts) o de sobre stock. Las roturas de stock generan costes de oportunidad por ventas perdidas, pueden motivar la pérdida de clientes y afectan negativamente al nivel de servicio percibido (Chopra & Meindl, 2016). En sectores como el Horeca, donde la continuidad

del suministro de consumibles es crítica para la operación diaria de los establecimientos, los stockouts en productos clave, pueden tener un impacto especialmente relevante en la relación comercial.

El sobrestock, por otro lado, se traduce en costes de almacenamiento, inmovilización de capital y riesgo de obsolescencia, especialmente en productos con vida útil limitada o con diseños sujetos a cambios frecuentes. Silver et al. (1998) subraya que el objetivo de la gestión de inventario no es eliminar por completo las roturas o el exceso, sino encontrar un equilibrio que minimice el coste total esperado, teniendo en cuenta tanto los costes de mantenimiento de inventario como los costes asociados a los stockouts. Diferentes técnicas de optimización y simulación se han empleado para cuantificar este equilibrio y determinar políticas de reaprovisionamiento que resulten económicamente eficientes.

En el caso de empresas como Papeles S.A., la coexistencia de productos de alta rotación con referencias altamente estacionales, hace que los riesgos de stockouts y sobrestock se concentren en determinados periodos y familias de producto. Por ejemplo, un error de previsión en servilletas con un diseño específico para campañas de Navidad puede dar lugar a faltas de producto durante el pico de demanda o, en caso contrario, a un excedente de stock difícilmente vendible una vez finalizada la temporada. Esta problemática refuerza la necesidad de políticas de inventario sensibles a la estacionalidad y coordinadas con un sistema de previsión de la demanda adecuado.

2.2.3. Inventario estacional y planificación de capacidad.

Chopra y Meindl (2016) distinguen el inventario estacional, entendido como aquel que se acumula de forma deliberada para hacer frente a incrementos previsibles de la demanda en determinados periodos. Cuando la capacidad productiva de la empresa es insuficiente para atender los picos de demanda en tiempo real, resulta necesario anticipar la producción de parte de esas necesidades, aumentando el inventario antes de la temporada alta. La decisión sobre cuánto inventario estacional aumentar, depende del coste de almacenar producto adicional frente al coste de aumentar la capacidad productiva (por ejemplo, mediante horas extra, subcontratación o inversiones en equipos).

Silver et al. (1998) analizan cómo la combinación de decisiones de inventario y de planificación de la producción permite suavizar la carga de trabajo a lo largo del tiempo, evitando

saturaciones de capacidad en los picos y ociosidad excesiva en las temporadas bajas. En este sentido, la construcción de inventario estacional actúa como un regulador entre la demanda y la producción, a costa de asumir un mayor coste de almacenamiento. La optimización de este sistema requiere modelos que integren de forma conjunta las decisiones de volumen a producir, calendario de producción y niveles de inventario deseados.

En el contexto de Papeles S.A., la capacidad limitada de determinadas líneas de producción y el espacio restringido de almacén, condicionan de manera directa la cantidad de inventario estacional que puede construirse antes de los periodos de máxima demanda. La empresa se ve obligada a decidir, por ejemplo, qué referencias pre-producir y cuáles producir más cerca del momento de consumo, en función de su margen, rotación y criticidad para los clientes. La coordinación entre previsión de demanda, capacidad productiva y restricciones de almacenamiento resulta esencial para evitar tanto la congestión del almacén como la incapacidad de respuesta en los picos estacionales.

2.2.4. Adaptación de políticas de inventario a la estacionalidad.

La literatura reciente propone diversas estrategias para adaptar las políticas de inventario a la estacionalidad de la demanda, más allá de los ajustes puntuales sobre parámetros clásicos. Una de las aproximaciones consiste en calcular parámetros diferenciados de stock de seguridad y punto de pedido para los periodos de alta y baja demanda, a partir de datos históricos segmentados por temporada. De este modo, se mantiene un nivel de inventario más elevado en los meses de mayor consumo y se reducen de forma controlada los niveles en los meses de menor actividad, liberando espacio y capital sin comprometer el nivel de servicio.

Otra estrategia pasa por la clasificación de productos en función de criterios como la rotación, la variabilidad de la demanda y el margen, aplicando políticas de inventario diferenciadas para cada clase (por ejemplo, análisis ABC/XYZ) (Silver et al., 1998). En productos de alta rotación y elevada importancia, puede resultar justificado mantener niveles de stock de seguridad más altos y revisar con mayor frecuencia los parámetros, mientras que en referencias de baja rotación y menor impacto se pueden aplicar políticas más conservadoras, con revisiones menos frecuentes y lotes de producción o pedido más grandes.

La implantación efectiva de estas estrategias requiere el soporte de sistemas de información capaces de integrar previsiones de demanda, datos de inventario y restricciones operativas.

En el caso de Papeles S.A., la conexión entre el módulo de previsión de la demanda propuesto en este trabajo y el sistema de gestión existente permitirá recalcular de forma periódica los parámetros de inventario por familia (y referencia) y temporada, favoreciendo una gestión más dinámica y alineada con los patrones estacionales observados. De este modo, se pretende reducir tanto las roturas de stock como los niveles de sobre stock, contribuyendo a una utilización más eficiente del espacio de almacén y de los recursos financieros de la empresa.

La Tabla 4 reúne los conceptos fundamentales de gestión de inventario utilizados en el trabajo. El cuadro permite relacionar elementos como stock de seguridad, punto de pedido, nivel de servicio y costes asociados al inventario.

Tabla 4. *Conceptos generales gestión inventario.*

Concepto	Definición breve	Ventajas principales	Inconvenientes / riesgos
Stock de seguridad	Cantidad adicional de inventario mantenida para cubrir la incertidumbre de demanda y plazo de reposición	Reduce la probabilidad de roturas de stock, mejora el nivel de servicio.	Aumenta el coste de almacenamiento y el riesgo de obsolescencia si se sobredimensiona.
Punto de pedido	Nivel de inventario a partir del cual se lanza una nueva orden de reaprovisionamiento.	Permite sincronizar la llegada de pedidos con el consumo esperado, evitando paradas por falta de stock.	Si se calcula con parámetros medios en entornos estacionales, puede provocar stockouts o sobre stock.
Nivel de servicio	Probabilidad de atender la demanda sin roturas de stock o porcentaje de demanda servida sin retrasos.	Relaciona directamente inventario con calidad de servicio percibida por el cliente.	Niveles muy altos exigen stocks elevados y costes crecientes de inventario.
Inventario estacional	Inventario construido deliberadamente antes de los picos de demanda para compensar la falta de capacidad en campaña.	Permite atender picos de demanda sin sobredimensionar la capacidad productiva.	Incrementa costes de almacenamiento y exige previsiones fiables; riesgo de sobre stock tras la temporada.
Clasificación ABC/XYZ	Segmentación de productos según importancia (ABC) y variabilidad de demanda (XYZ) para aplicar políticas diferenciadas.	Facilita concentrar recursos en productos críticos y definir políticas específicas por grupo.	Requiere actualización periódica; una clasificación obsoleta puede llevar a decisiones ineficientes.

Fuente: Elaboración propia

2.3. Procesos integrados de planificación.

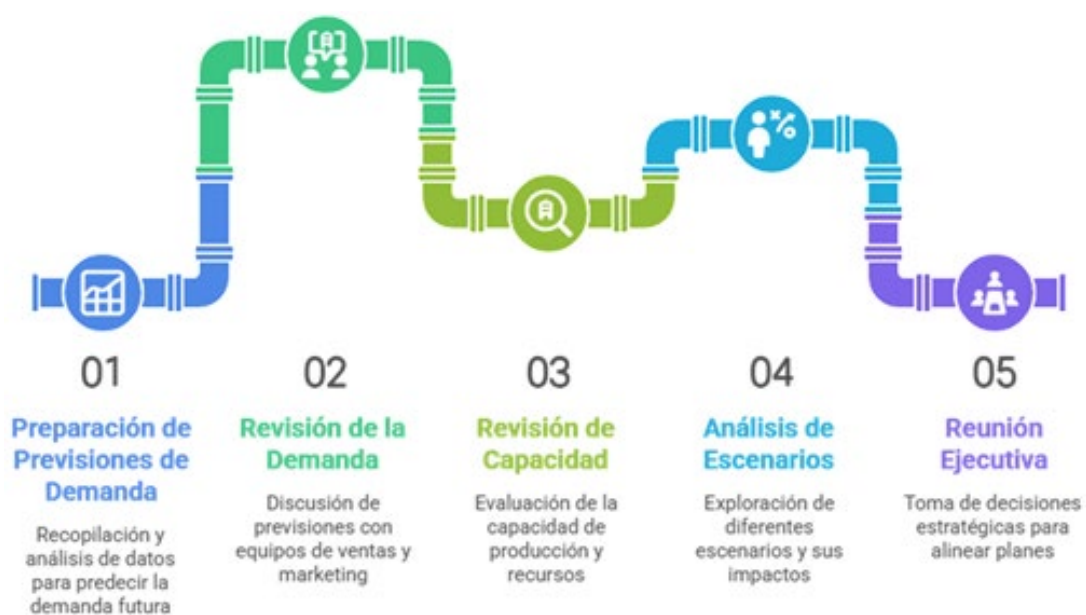
La planificación integrada de la demanda, la producción y el inventario tiene como finalidad alinear de manera sistemática las decisiones comerciales y operativas de la empresa, de forma que la oferta sea coherente con las necesidades del mercado y con las restricciones de

capacidad existentes. En la literatura de gestión de la cadena de suministro, uno de los marcos de referencia más extendidos para esta integración es el proceso de Sales and Operations Planning (S&OP), entendido como un proceso cíclico en el que se revisan las previsiones de demanda, la capacidad disponible y los planes de suministro, con el objetivo de acordar un plan consensuado entre las principales áreas funcionales (Chopra & Meindl, 2016; Lapide, 2014).

El S&OP se estructura habitualmente en varias fases: preparación de previsiones de demanda, revisión de la demanda con participación del área comercial y de marketing, revisión de la capacidad y de los planes de producción, análisis de escenarios y, finalmente, reunión ejecutiva para la toma de decisiones. En cada ciclo, las previsiones cuantitativas se combinan con información cualitativa procedente de los responsables comerciales y operativos, lo que permite ajustar los planes a las expectativas de mercado y a las limitaciones reales de recursos (Lapide, 2014). Este enfoque convierte la previsión de la demanda en un elemento central de coordinación interfuncional, más allá de su consideración como un cálculo aislado del área de planificación.

La Figura 6 muestra de manera esquemática el proceso de ventas y operaciones (S&OP) en una organización. El diagrama destaca el papel de la previsión de la demanda como punto de partida para la coordinación entre las áreas comercial, producción y logística.

Figura 6. *Procesos de ventas y operaciones (S&OP).*



Fuente: Elaboración propia

Diversos estudios señalan que la implantación efectiva de procesos S&OP contribuye a mejorar el nivel de servicio, reducir los inventarios y aumentar la estabilidad de los planes de producción, al proporcionar una visión compartida de la demanda futura y de las decisiones asociadas a su cobertura (Chopra & Meindl, 2016). Entre los beneficios más citados se encuentran la reducción de los conflictos entre áreas, la detección temprana de desajustes entre demanda y capacidad, y la posibilidad de evaluar de forma sistemática diferentes escenarios de respuesta ante cambios en el mercado. No obstante, su éxito depende tanto de la calidad de las previsiones como del compromiso de la dirección y de la participación activa de las áreas implicadas.

En empresas como Papeles S.A., caracterizadas por una demanda estacional, una amplia variedad de referencias y restricciones de espacio de almacenamiento, la adopción de un proceso de planificación integrado, permite coordinar de forma más eficiente las decisiones sobre qué productos, cantidades y cuando fabricar. La información generada por el sistema de predicción de la demanda puede servir como entrada al ciclo de planificación, proporcionando una base cuantitativa para la discusión entre las áreas comercial, producción y logística. Sobre esta base, se pueden definir planes de producción que contemplen la construcción de inventario estacional para referencias críticas, la priorización de determinadas referencias o familias de producto y la gestión de las limitaciones de capacidad y de espacio en almacén.

La literatura subraya que la implementación de procesos como el S&OP, requiere el apoyo de sistemas de información que faciliten la integración de datos de ventas, previsiones, inventarios y capacidad, así como la generación de informes claros para la toma de decisiones (Lapide, 2014). En el caso de Papeles S.A., la propuesta de este trabajo contempla que el sistema de predicción de la demanda se integre progresivamente en el sistema de gestión existente, de manera que los resultados de la previsión puedan consultarse y actualizarse de forma periódica por los responsables de las distintas áreas. De este modo, se pretende que la previsión deje de ser una tarea aislada para convertirse en una herramienta central del proceso de planificación integrada de la demanda, la producción y el inventario.

2.4. Variables clave del estudio.

Para poder evaluar de forma rigurosa la situación inicial de Papeles S.A. y cuantificar el impacto potencial de la implantación del sistema de predicción de la demanda propuesto, se han definido una serie de variables clave que servirán como indicadores de referencia a lo largo del estudio. Estas variables permiten medir tanto la precisión de las previsiones como el desempeño de la empresa en términos de servicio al cliente, gestión de inventario y utilización del espacio de almacén.

2.4.1. MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

El error porcentual absoluto medio (MAPE) es la principal medida utilizada en este trabajo para evaluar la precisión de las previsiones de demanda.

En el contexto de Papeles S.A., el MAPE se utilizará para comparar el desempeño de los distintos modelos de previsión aplicados (suavizado exponencial, regresión, sistemas de machine learning) y seleccionar, para cada familia de producto, la alternativa que proporcione un mejor equilibrio entre precisión y simplicidad de implantación.

2.4.2. Nivel de servicio.

El nivel de servicio es la variable utilizada para medir la capacidad de la empresa para atender la demanda de sus clientes sin incurrir en roturas de stock. En este trabajo se define como el porcentaje de líneas de pedido servidas completas y dentro del plazo acordado, durante un periodo de tiempo determinado. Un nivel de servicio del 95%, por ejemplo, indica que 95 de cada 100 líneas de pedido se han suministrado sin incidencias de falta de producto o retrasos.

Esta variable resulta especialmente relevante en el sector Horeca, donde la disponibilidad de consumibles como servilletas y manteles es crítica para la operación diaria de los establecimientos. En Papeles S.A., el nivel de servicio se utilizará para comparar la situación actual con los escenarios derivados de la implantación del sistema de previsión, evaluando en qué medida la mejora en la precisión de las previsiones se traduce en una reducción de las roturas de stock y en un servicio más fiable para los clientes.

2.4.3. Rotación de inventario.

La rotación de inventario mide cuántas veces a lo largo de un periodo (en el caso de la empresa Papeles S.A, un año), la empresa vende y repone su inventario. En términos generales, se

calcula como el cociente entre el coste de los productos vendidos o el volumen de ventas y el inventario medio mantenido durante el periodo. Una rotación alta suele indicar que el inventario se utiliza de forma eficiente y que los productos pasan menos tiempo almacenados; una rotación baja puede ser síntoma de exceso de stock o de baja demanda.

En este trabajo, la rotación de inventario se analizará tanto a nivel global como por familias de producto, con el objetivo de identificar aquellas áreas en las que se produce una acumulación excesiva de existencias, especialmente en referencias estacionales con riesgo de obsolescencia. La mejora de las previsiones debería contribuir a incrementar la rotación media, al ajustar mejor la producción a la demanda real.

2.4.4. Cobertura de stock.

La cobertura de stock, expresa el tiempo durante el cual las existencias actuales permiten atender la demanda prevista, si no se reciben nuevas reposiciones. Se suele medir en días o meses y se calcula dividiendo el inventario disponible entre el consumo medio en el periodo considerado. Coberturas muy elevadas pueden indicar sobre stock e inmovilización innecesaria de capital, mientras que coberturas excesivamente bajas aumentan el riesgo de roturas de stock.

En el caso de Papeles S.A., la cobertura de stock se utilizará para analizar el nivel de inventario mantenido en diferentes familias y referencias, tanto en la situación actual como en los escenarios con el sistema de previsión propuesto. El objetivo es reducir las coberturas excesivas asociadas a productos estacionales sin comprometer el nivel de servicio, especialmente en campañas críticas como verano y Navidad.

2.4.5. Ocupación del almacén.

La ocupación del almacén, es un indicador que refleja el porcentaje de la capacidad de almacenamiento que está siendo utilizada en un momento determinado. Se calcula como la relación entre el espacio efectivamente ocupado por inventario y el espacio total disponible, normalmente expresada en porcentaje. Niveles de ocupación demasiado elevados, pueden dificultar las operaciones de manipulación, incrementar los tiempos de preparación de pedidos y aumentar el riesgo de errores, mientras que niveles muy bajos, pueden indicar infrautilización de recursos.

En Papeles S.A., la ocupación del almacén adquiere especial relevancia debido a las limitaciones de espacio y a la necesidad de gestionar picos de inventario en campañas estacionales. En este trabajo, la ocupación media del almacén se utilizará como indicador para comparar la situación actual con los escenarios resultantes de la implantación del sistema de previsión, evaluando en qué medida una mejor alineación entre producción y demanda permite reducir la saturación del almacén y mejorar la eficiencia de las operaciones logísticas.

Estas variables clave constituyen el marco de referencia cuantitativo sobre el que se evaluarán las propuestas del TFM y se analizará el impacto del sistema de predicción de la demanda en la gestión de Papeles S.A.

La Figura 7 recoge los indicadores clave de rendimiento utilizados para evaluar la situación inicial y los escenarios propuestos. Entre estos KPI se incluyen el nivel de servicio, la rotación de inventario, la cobertura de stock y la ocupación del almacén.

Figura 7. KPIs clave en Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

2.5. Síntesis y aportación del trabajo.

A partir de la revisión del contexto sectorial, de las principales metodologías de previsión de la demanda y de las bases de la gestión de inventarios en entornos estacionales, se identifica la necesidad de contar con enfoques integrados que combinen técnicas cuantitativas y cualitativas y que se adapten a las restricciones operativas de cada organización. En el caso de Papeles S.A., la elevada estacionalidad, la amplitud del catálogo y las limitaciones de espacio y capacidad productiva refuerzan la conveniencia de desarrollar un sistema de predicción de la demanda que se articule dentro de un proceso de planificación de la demanda, la producción y el inventario.

La aportación principal de este trabajo radica en el diseño de un sistema de predicción de la demanda específico para Papeles S.A., que integra métodos de series temporales y técnicas de aprendizaje automático con la información cualitativa procedente de los responsables de la empresa, y que se orienta a mejorar la toma de decisiones en materia de producción e inventario. Este sistema pretende constituir una propuesta metodológica aplicable en situaciones similares, sirviendo como referencia para otras organizaciones del sector con problemáticas análogas.

3. Contextualización. Análisis de la situación actual de Papeles S.A.

3.1. Descripción Papeles, S.A.

Papeles S.A. es una empresa familiar fundada a mediados de la década de 1990, inicialmente dedicada a la transformación de papel tisú para la fabricación de servilletas y manteles destinados a pequeños comercios locales. En una primera etapa, la actividad se centró en la producción de referencias estándar, con formatos y colores básicos dirigidos principalmente al comercio minorista y a la hostelería tradicional de la provincia de Alicante. A partir de la década de 2000, coincidiendo con el crecimiento del turismo y la expansión del canal Horeca, la empresa inició un proceso de ampliación de su planta y de modernización de sus líneas de producción, incorporando maquinaria de corte, plegado e impresión de mayor capacidad, así como nuevas familias de producto orientadas específicamente a este segmento.

En los últimos años, Papeles S.A. ha consolidado su posición como pyme industrial especializada en artículos de un solo uso para Horeca, con un ámbito de actuación que abarca todo el territorio nacional, países de Europa y América del Sur. La empresa cuenta con una plantilla aproximada de 85 trabajadores, distribuidos entre las áreas de producción, almacén, administración y comercial. Su modelo de negocio se apoya en una relación estrecha con distribuidores especializados y cash & carry, así como en acuerdos con cadenas de restauración y hoteles independientes, lo que le permite atender tanto a pequeñas empresas de hostelería como a grupos de mayor tamaño.

En la Figura 8 se representa la evolución de Papeles S.A. desde sus orígenes hasta la situación actual. El gráfico recoge los principales hitos de crecimiento, ampliación de capacidad y diversificación del portafolio de productos.

Figura 8. Evolución Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

El portafolio de productos de Papeles S.A. comprende más de 3500 referencias, organizadas en varias familias principales. Entre ellas destacan las servilletas y manteles estándar, en diferentes formatos y gramajes, destinados a un uso cotidiano en bares, cafeterías y restaurantes; las servilletas y manteles de diseño, que incorporan motivos gráficos y colores específicos para distintas campañas o estilos de establecimiento; y las servilletas y manteles personalizados con el motivo y diseño específico para un cliente. En el caso de los manteles, se suministran en formato cortado (diversas longitudes), en rollo, orientados a negocios que requieren flexibilidad en la longitud del mantel; y los manteles precortados, que facilitan la preparación de mesas con dimensiones estandarizadas. A estas familias se suman productos elaborados en materiales no tejidos, que aportan una apariencia y resistencia superiores, situándose en segmentos de mayor valor añadido dentro del sector Horeca.

La Figura 9 muestra el portafolio de productos de Papeles S.A. organizado por familias. Esta representación permite dimensionar la variedad de referencias y poner en contexto la complejidad de la planificación de la demanda.

Figura 9 Portafolio de productos Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

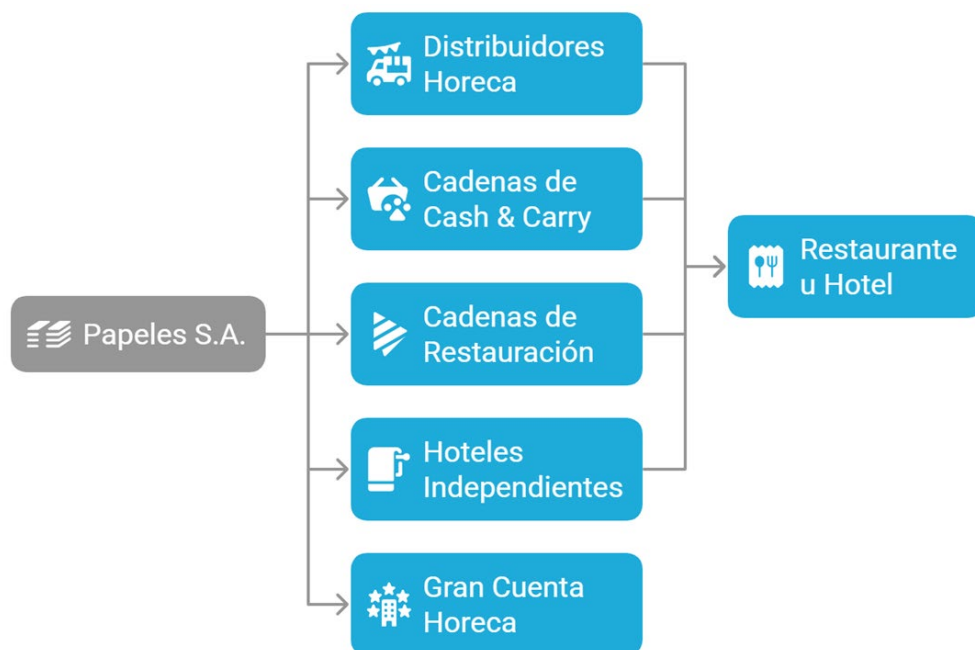
La familia de servilletas decoradas constituye un ejemplo representativo de la especialización de la empresa en productos estacionales. En esta familia se incluyen colecciones asociadas a campañas concretas, como Navidad, verano o eventos temáticos, cuyos diseños tienen una vida útil limitada y una demanda concentrada en periodos muy concretos del año. Este tipo

de productos presenta un riesgo elevado de obsolescencia si no se ajusta adecuadamente la producción a la demanda efectiva, lo que refuerza la importancia de disponer de previsiones fiables y de políticas de inventario adaptadas a la estacionalidad.

En cuanto a la cartera de clientes, Papeles S.A. trabaja principalmente con distribuidores Horeca que actúan como intermediarios entre la empresa y los establecimientos finales, así como con cadenas de cash & carry que abastecen a un gran número de pequeños negocios de hostelería. También mantiene acuerdos directos con determinadas cadenas de restauración y hoteles independientes, especialmente en aquellas zonas donde la estacionalidad turística es más acusada. La estructura básica de la cadena de suministro puede describirse como Papeles S.A. → distribuidor/cash & carry → restaurante u hotel, si bien en algunos casos se establecen relaciones directas Papeles S.A. → gran cuenta Horeca. Esta configuración influye en los patrones de pedido y en los niveles de servicio exigidos, ya que los distribuidores requieren disponibilidad inmediata en un número relativamente amplio de referencias para poder responder a las necesidades de sus clientes finales.

En la Figura 10 se representa la cadena de suministro de Papeles S.A., desde los proveedores de materia prima hasta los clientes finales del canal Horeca. El esquema ayuda a entender los flujos de materiales e información que condicionan la planificación.

Figura 10. Cadena de suministro Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Procesos logísticos actuales.

Desde el punto de vista logístico, Papeles S.A. opera con una capacidad productiva y un espacio de almacenamiento limitados, lo que obliga a gestionar con especial cuidado los niveles de inventario. El proceso de planificación de la producción se apoya actualmente en el análisis de datos históricos de ventas y en la experiencia del departamento comercial, que aporta información sobre la situación de los clientes y las campañas previstas. Sin embargo, la empresa no dispone de un sistema formalizado de previsión de la demanda ni de una metodología estandarizada para ajustar los planes de producción a los patrones estacionales observados, lo que dificulta la alineación entre demanda, producción e inventario.

El análisis de los datos de ventas de los últimos tres años, agregados a nivel mensual, pone de manifiesto una estacionalidad marcada, con picos de demanda en los meses de verano y en periodos festivos, y una disminución significativa en los meses de menor actividad turística. Este comportamiento se observa de forma especialmente clara en determinadas familias de producto vinculadas a campañas concretas o a temporadas de alta ocupación en el sector Horeca. Paralelamente, se han identificado referencias de consumo más estable a lo largo del año, generalmente asociadas a productos básicos o de uso estándar. Esta heterogeneidad en los patrones de demanda, refuerza la necesidad de segmentar las referencias y de aplicar enfoques diferenciados tanto en la previsión como en la gestión de inventarios.

La Figura 11 sintetiza los principales desafíos logísticos a los que se enfrenta Papeles S.A. El gráfico recoge elementos como la estacionalidad, las limitaciones de espacio, la variedad de referencias y las tensiones entre stockouts y sobre stock.

Figura 11. Desafíos logísticos.

Fuente: Elaboración propia

Las entrevistas realizadas con la gerencia y con el personal de ventas indican que, en la situación actual, las decisiones de producción e inventario se apoyan de forma importante en el criterio subjetivo y en la experiencia acumulada. Aunque este conocimiento resulta de gran valor, los propios responsables manifiestan preocupación por la falta de fiabilidad de las previsiones y por la dificultad para anticipar con precisión los picos de demanda, lo que se traduce en episodios recurrentes de exceso o falta de stock. Asimismo, se han detectado problemas derivados de una planificación poco precisa, como la generación de sobreproducción en determinados artículos, el aumento de cambios de formato en las líneas productivas y la consecuente pérdida de eficiencia.

La observación del proceso de gestión de inventario confirma la coexistencia de situaciones de desabastecimiento en productos de alta rotación con la acumulación de stock en referencias de baja salida o de carácter estacional, una vez finalizada la campaña correspondiente. Estas ineficiencias provocan costes adicionales de almacenamiento, inmovilización de capital y riesgo de obsolescencia, al tiempo que comprometen el nivel de servicio ofrecido a los clientes en periodos de fuerte demanda. En este contexto, la implantación de un sistema de predicción de la demanda que se integre con la planificación

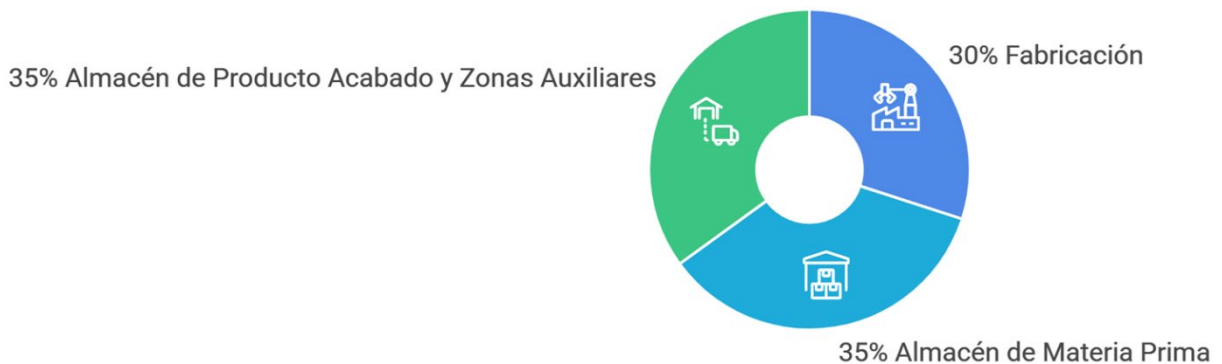
de la producción y del inventario se plantea como una palanca clave para mejorar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta de Papeles S.A. frente a las fluctuaciones del mercado

3.2.1. Proceso productivo y logístico.

Papeles S.A. desarrolla su actividad productiva en una única planta ubicada en el norte de la provincia de Alicante, con una superficie aproximada de 6.500 m², de los cuales en torno al 30% se destina a fabricación, el 35% al almacén de materia prima y el 35% restante a almacén de producto acabado y zonas auxiliares. La empresa opera con un modelo de producción bajo pedido combinado con fabricación para stock en aquellas referencias de mayor rotación y en los productos con demanda estacional previsible. Esta dualidad responde a la necesidad de conciliar la flexibilidad frente a las especificaciones de los clientes con la eficiencia en el uso de la capacidad productiva y del espacio de almacenamiento.

La Figura 12 presenta la distribución del espacio de la planta de Papeles S.A. El plano evidencia cómo se reparte la superficie entre fabricación, almacén de materia prima y almacén de producto acabado, y pone de relieve las restricciones de espacio.

Figura 12. *Distribución del espacio de la planta de Papeles S.A.*



Fuente: Elaboración propia

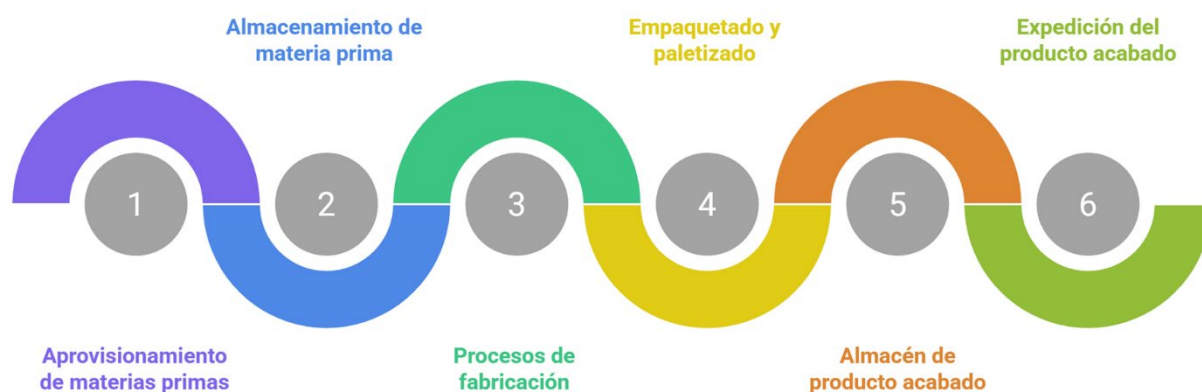
El proceso productivo de Papeles S.A. se estructura en varias etapas que abarcan desde el aprovisionamiento de materias primas, hasta la expedición del producto acabado. En primer lugar, la empresa adquiere bobinas de papel tisú, papel y de no tejidos, principalmente a proveedores nacionales y europeos, aunque también se compra en países asiáticos como China, con plazos de suministro que oscilan entre 1 y 3 meses, en función del tipo de material

y de la disponibilidad de los fabricantes. Estas bobinas (de gran volumen) se almacenan en una zona específica de la planta, cuya capacidad limitada obliga a planificar los pedidos de forma que se eviten tanto roturas de stock de materia prima, como saturaciones del área de recepción y almacenamiento.

A continuación, el material se somete a procesos como gofrado, impresión flexográfica (manteles y servilletas de diseño o personalizadas) donde se aplican los diferentes motivos gráficos, corte y plegado, en varias líneas de producción configuradas para fabricar diferentes formatos de servilletas y manteles. Cada cambio de formato o de diseño implica tiempos de preparación de máquina que afectan de manera directa a la productividad, por lo que la agrupación eficiente de órdenes de fabricación resulta un aspecto crítico del proceso. Una vez finalizadas las operaciones de impresión y plegado, los productos se empaquetan, se paletizan y se trasladan al almacén de producto acabado.

En la Figura 13 se describe una primera vista del proceso productivo de Papeles S.A., desde la recepción de materias primas hasta las etapas iniciales de transformación. Este flujo es clave para entender dónde impacta la previsión en la programación de la producción.

Figura 13. Proceso productivo Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista logístico, el almacén de producto acabado se organiza en zonas diferenciadas por familias de producto y, en algunos casos, por tipo de cliente o ruta de distribución. La capacidad de almacenamiento se ve condicionada por la altura de apilado permitida para los palets y por la coexistencia de referencias de alta y baja rotación. En la práctica, la acumulación de stock en determinadas campañas como la de verano o Navidad,

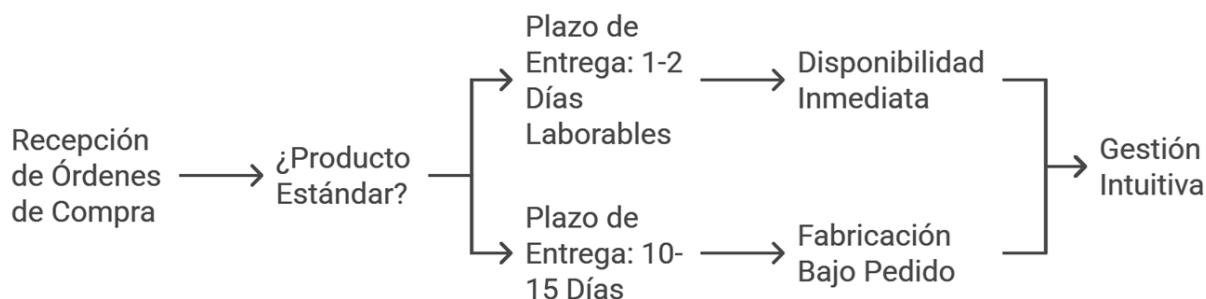
obliga a utilizar pasillos y zonas de tránsito como almacenamiento temporal, lo que dificulta las operaciones de manipulación y aumenta el riesgo de errores en la preparación de pedidos.

La planificación de la producción se realiza actualmente con un horizonte mensual, revisado semanalmente en función de los pedidos en cartera y de la percepción de la demanda futura por parte del departamento comercial. No existe un procedimiento formal que vincule estas decisiones con un sistema cuantitativo de previsión de la demanda, las estimaciones se basan en el histórico de ventas de años anteriores y en el criterio subjetivo de los responsables de la empresa. Como consecuencia, se generan frecuentemente ajustes de última hora en el programa de fabricación, que se traducen en cambios adicionales de formato, pérdida de eficiencia y dificultades para cumplir los plazos de entrega comprometidos con los clientes.

En cuanto a la gestión de pedidos, Papeles S.A. recibe la mayoría de las órdenes de compra a través de correo electrónico y de la aplicación web. Los plazos de entrega habituales se sitúan entre 1 y 2 días laborables para productos estándar, y entre 10 y 15 días para referencias personalizadas o de nueva fabricación. La empresa trata de mantener la disponibilidad inmediata de las referencias de mayor rotación, mientras que en el caso de productos menos demandados, se opta por fabricar en función de los pedidos firmes. Esta diferenciación se basa en criterios principalmente intuitivos, sin una segmentación formal de las referencias en función de su comportamiento de demanda y su aportación al negocio.

La Figura 14 complementa la anterior detallando las etapas de impresión, corte, plegado, empaquetado y almacenamiento de producto acabado. El esquema pone énfasis en los puntos sensibles a cambios de formato y a decisiones de planificación.

Figura 14. *Proceso productivo Papeles S.A.*



Fuente: Elaboración propia

La combinación de capacidad productiva limitada, espacio de almacén restringido y ausencia de un sistema estructurado de previsión de la demanda genera tensiones recurrentes en el proceso productivo y logístico de Papeles S.A. En periodos de alta demanda, la planta se ve obligada a trabajar con cargas cercanas a su capacidad máxima, con escaso margen para absorber imprevistos, mientras que en temporada baja se producen ociosidades de capacidad y acumulaciones de stock en determinadas familias de producto. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de avanzar hacia un modelo de planificación más integrado, en el que las decisiones de producción e inventario se apoyen en previsiones de demanda más fiables y en una segmentación clara de las referencias, en función de su rotación, estacionalidad e importancia estratégica para la empresa.

3.3. Situación actual de la demanda y del inventario.

La demanda de los productos fabricados por Papeles S.A. presenta una estacionalidad marcada, directamente relacionada con la actividad del sector Horeca en las zonas en las que opera la empresa. El análisis de las ventas mensuales correspondientes al periodo 2023–2025 muestra picos recurrentes entre los meses de junio y septiembre, coincidiendo con la temporada turística estival, así como en el mes de diciembre, asociado a la campaña de Navidad. Por el contrario, se observa una disminución significativa del volumen de ventas en los meses de enero, febrero y noviembre, en los que la actividad hostelera es sensiblemente menor.

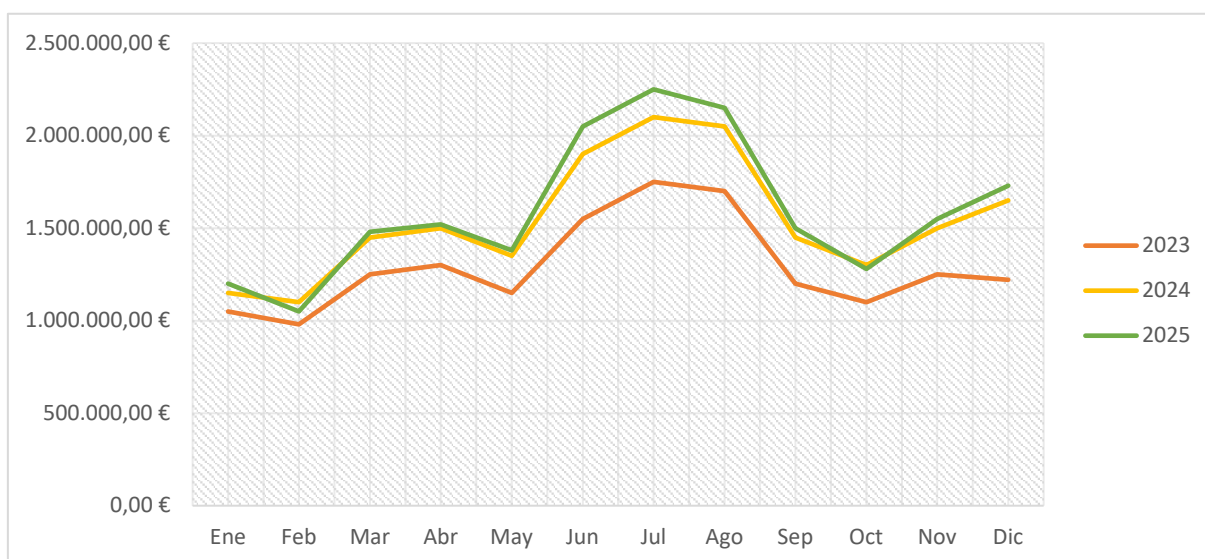
Esta estacionalidad no afecta de igual manera a todas las familias de producto. Las servilletas estándar mantienen una demanda relativamente estable a lo largo del año, con incrementos moderados en los periodos de mayor actividad, mientras que las servilletas de diseño y determinadas referencias de manteles decorados presentan una fuerte concentración de ventas en campañas específicas, como Semana Santa, verano y Navidad. En estas familias, la demanda se intensifica en unas pocas semanas, generando picos pronunciados que resultan difíciles de gestionar sin una previsión y una planificación adecuadas. La coexistencia de productos de consumo continuo y productos altamente estacionales incrementa la complejidad de la gestión de la demanda y del inventario.

En relación con el inventario, la situación actual se caracteriza por una combinación de episodios de desabastecimiento y de sobre stock, estrechamente vinculados a la estacionalidad descrita y a la ausencia de un proceso formal de previsión de la demanda integrado en la planificación. Durante los periodos de alta demanda de 2023–2025 se han registrado roturas de stock en referencias de alta rotación, especialmente en servilletas estándar y en determinados formatos de manteles, que obligan a retrasar entregas o a ofrecer productos alternativos a los clientes. Estas incidencias afectan de forma directa al nivel de servicio y pueden deteriorar la imagen de la empresa ante distribuidores y establecimientos Horeca, para los que la disponibilidad inmediata de consumibles resulta crítica.

Por otro lado, en las campañas estacionales de estos años, como Semana Santa o Navidad, se han observado situaciones de sobre stock derivadas de producciones superiores a la demanda finalmente registrada en determinadas referencias de servilletas y manteles decorados. Una vez finalizada la campaña, parte de estas existencias pierde valor o resulta difícil de comercializar sin recurrir a descuentos significativos, lo que genera costes adicionales de almacenamiento y aumenta el riesgo de obsolescencia. Este problema se ve agravado por las limitaciones de espacio en el almacén, que obligan a utilizar zonas de paso y áreas no previstas para almacenamiento cuando el nivel de inventario alcanza valores elevados, especialmente en los picos de 2023, 2024 y 2025.

En síntesis, la situación actual de Papeles S.A. en el periodo 2023–2025 se caracteriza por una demanda fuertemente estacional y heterogénea entre familias de producto, gestionada mediante un sistema de inventario que combina decisiones basadas en históricos, y la experiencia del personal. Este contexto da lugar a problemas recurrentes de roturas de stock en los picos de demanda, acumulación de inventario en campañas estacionales, alta ocupación del almacén y fluctuaciones en el nivel de servicio, lo que refuerza la necesidad de implantar un sistema de predicción de la demanda más robusto y articulado con la planificación de la producción y del inventario.

En la Figura 15 se ilustran los patrones de estacionalidad de las ventas de Papeles S.A. El gráfico permite identificar los periodos de máxima y mínima actividad, lo que resulta fundamental para el diseño del sistema de previsión y de las políticas de inventario.

Figura 15. Estacionalidad de ventas.

Fuente: Elaboración propia

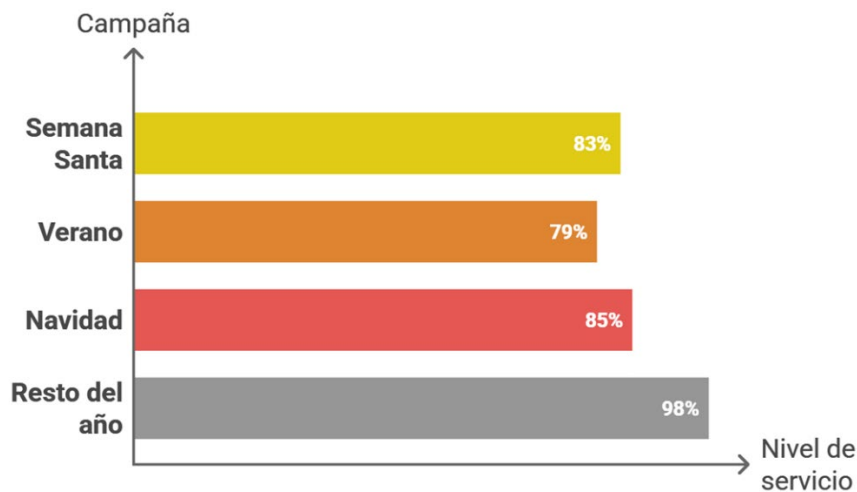
3.4. Indicadores clave de la situación inicial.

Con el objetivo de cuantificar la situación inicial de Papeles S.A. y disponer de una base para evaluar el impacto de la propuesta de mejora, se han definido varios indicadores clave. Estos indicadores se calculan a partir de la información disponible en el sistema de gestión de la empresa para el periodo 2023–2025 y se utilizarán posteriormente como referencia en el análisis de resultados de la implantación del sistema de predicción de la demanda.

El primer indicador considerado es el **nivel de servicio al cliente**. El análisis preliminar muestra que, en promedio anual, este indicador mantiene valores aceptables, pero experimenta descensos significativos en los meses de máxima demanda, coincidiendo con la temporada estival y la campaña de Semana Santa y Navidad. Estas caídas se asocian a la falta de disponibilidad de determinadas referencias, especialmente en familias de alta rotación o con fuerte componente estacional, lo que pone de manifiesto la relación entre la calidad de la planificación y el nivel de servicio alcanzado (Chopra & Meindl, 2016).

En la Figura 16 se muestra la evolución del nivel de servicio en Papeles S.A. a lo largo del periodo analizado. El gráfico ayuda a visualizar en qué medida los problemas de stock han afectado a la capacidad de atender los pedidos en tiempo y forma.

Figura 16. Nivel de servicio.

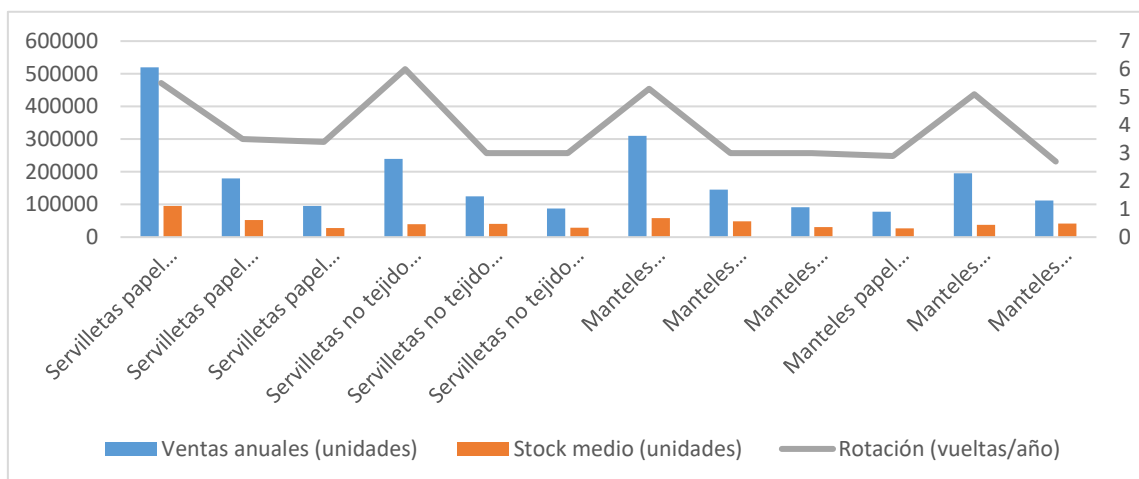


Fuente: Elaboración propia

En determinadas familias básicas, **la rotación de stock** presenta valores elevados, compatibles con una gestión relativamente ajustada del inventario; sin embargo, en familias estacionales, como las servilletas decoradas, se observan rotaciones bajas, reflejo de la acumulación de existencias tras la finalización de las campañas correspondientes (Silver et al., 1998). Esta situación indica que, en ausencia de previsiones precisas, la producción tiende a sobredimensionarse por prudencia, generando sobre stock y aumentando los costes de almacenamiento.

La Figura 17 presenta la rotación de inventario por familias de producto en Papeles S.A. Esta información es clave para detectar situaciones de exceso de stock o baja rotación, especialmente en referencias estacionales.

Figura 17. Rotación de inventario en Papeles S.A.

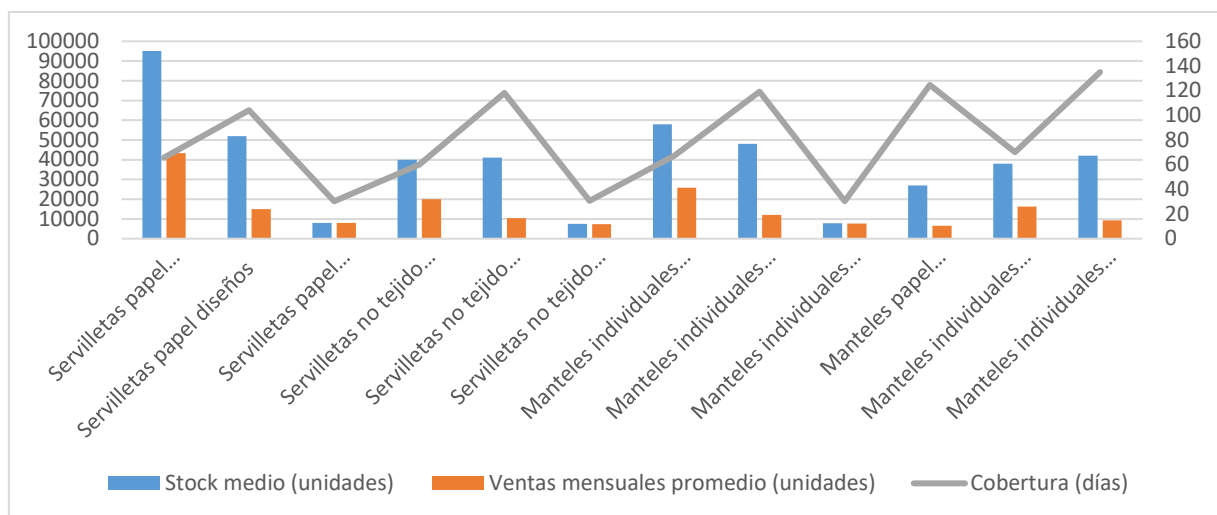


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la **cobertura de stock**, los resultados muestran que mientras algunas referencias de consumo continuo mantienen coberturas cercanas a los valores considerados razonables por la empresa, otras presentan coberturas muy superiores, llegando en ciertos casos a varios meses de demanda estimada. Este exceso de inventario supone una inmovilización significativa de capital y una ocupación adicional del espacio de almacén, especialmente crítica en un entorno con la capacidad limitada.

En la Figura 18 se representa la cobertura de stock promedio para las principales familias en 2024. El gráfico permite analizar durante cuánto tiempo las existencias actuales serían capaces de cubrir la demanda sin reposición.

Figura 18. Cobertura de stock promedio en Papeles S.A. (datos 2024)



Fuente: Elaboración propia

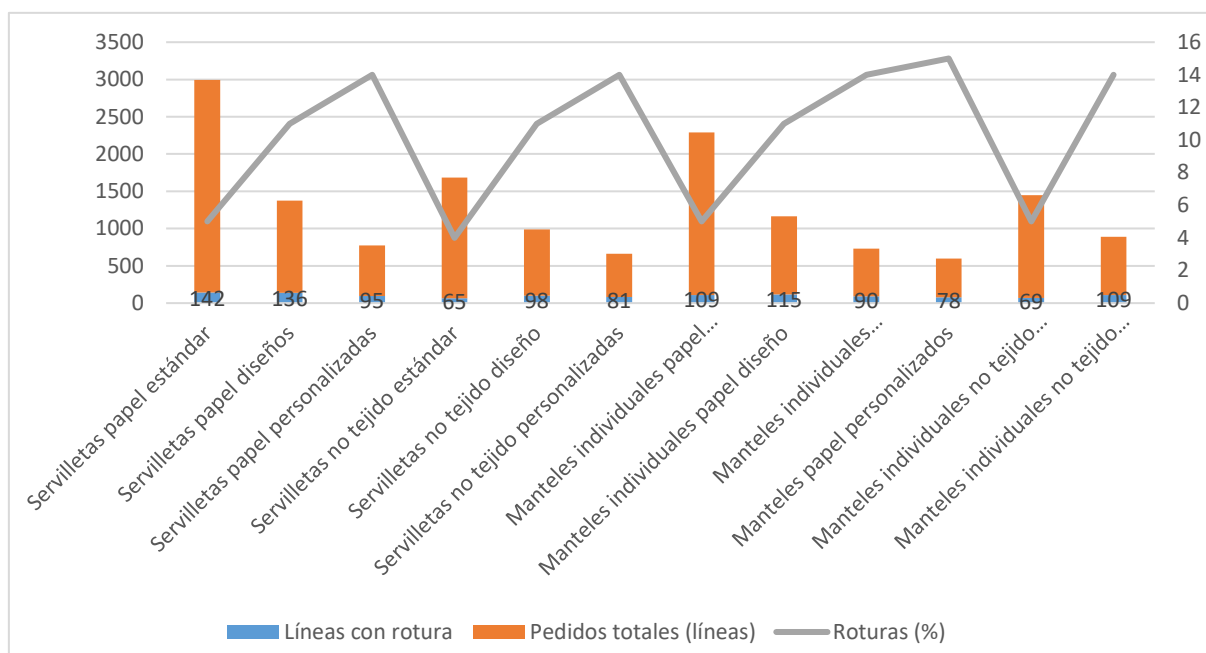
Finalmente, en lo que respecta a **la frecuencia de roturas de stock y a la ocupación del almacén**, en los periodos de máxima demanda, se observa un incremento simultáneo de ambos indicadores: por un lado, aumentan las roturas en productos de alta rotación; por otro, se alcanza o se supera el nivel de ocupación óptimo del almacén, lo que obliga a reorganizar continuamente la disposición de los palets y dificulta las operaciones logísticas.

Estos KPI proporcionan una visión cuantitativa de las ineficiencias actuales en la gestión de la demanda, la producción y el inventario de Papeles S.A. y servirán como referencia para evaluar

la mejora potencial asociada a la implantación del sistema de predicción de la demanda propuesto en este trabajo.

La Figura 19 muestra el número de roturas de stock registradas en Papeles S.A. durante 2024, desglosadas por familia. Este análisis evidencia en qué áreas la falta de previsión ha tenido un impacto más acusado.

Figura 19. Roturas de stock en Papeles S.A. (datos 2024)



Fuente: Elaboración propia

4. Metodología del trabajo.

La metodología del trabajo se ha diseñado con un enfoque aplicado, cuantitativo y basado en estudio de caso, orientado a resolver el problema de previsión de la demanda y de gestión de inventario en Papeles S.A. mediante el desarrollo y evaluación de un sistema de predicción adaptado a su realidad operativa. El proceso combina el uso de datos históricos de ventas e inventarios, información cualitativa de los responsables de la empresa y la construcción ordenada de modelos de previsión, culminando en una aplicación interna basada en técnicas de machine learning que se encuentra en fase de desarrollo (validación).

4.1. Diseño general de la investigación.

La investigación adopta un diseño de aplicación de metodología y estudio de caso único en Papeles S.A., con un enfoque principalmente cuantitativo complementado por técnicas cualitativas (entrevistas y observación). El horizonte temporal analizado comprende el periodo 2023–2025, que proporciona un historial suficiente para identificar patrones de estacionalidad y para entrenar y validar los modelos de previsión.

El proceso metodológico se estructura en seis fases secuenciales, con posibilidad de retroalimentación cuando los resultados así lo requieren:

1. Recopilación y depuración de datos: extracción de series históricas de ventas e inventarios (2023–2025) desde el ERP de Papeles S.A. y obtención de información cualitativa sobre campañas, clientes clave y particularidades del mercado.
2. Análisis exploratorio y segmentación de productos: caracterización de la demanda por familias y referencias, identificación de tendencias y estacionalidad, y clasificación ABC/XYZ para priorizar esfuerzos de modelización.
3. Selección e implementación de modelos de previsión: aplicación de modelos de series temporales y de regresión y definición de la arquitectura de la aplicación interna de machine learning como etapa culminante del proyecto.
4. Integración de información cualitativa: revisión y ajuste de las previsiones cuantitativas por parte de la gerencia y del departamento comercial bajo un procedimiento estandarizado.
5. Evaluación del impacto sobre producción e inventario: construcción de escenarios de planificación basados en las previsiones y comparación mediante KPI de servicio e inventario.
6. Propuesta de implantación y plan de acción: definición de cómo integrar el sistema de previsión, incluida la futura aplicación de machine learning, en la operativa real de Papeles S.A., con calendario, roles y requisitos tecnológicos.

En la Figura 20 se representa el proceso metodológico seguido en el estudio aplicado a Papeles S.A. El esquema resume las fases de análisis de datos, modelización, evaluación, construcción de escenarios y propuesta de implantación.

Figura 20. Proceso metodológico en Papeles S.A.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Fuentes de datos e instrumentos.

Las fuentes de información utilizadas se clasifican en cuantitativas y cualitativas. Desde el punto de vista cuantitativo, se han empleado datos históricos procedentes del ERP de Papeles S.A., en particular series mensuales de ventas por familia y referencia, datos de inventario, entradas y salidas de almacén, y fechas de pedido y entrega correspondientes al periodo 2023–2025. Estos datos permiten analizar la estacionalidad de la demanda y calcular indicadores como el error porcentual absoluto medio (MAPE), el nivel de servicio, la rotación de inventario, la cobertura de stock y el grado de ocupación del almacén.

Como fuentes cualitativas, se han realizado entrevistas semiestructuradas con la gerencia y con personal de los departamentos comercial, de producción y de logística, con el fin de conocer el proceso actual de previsión, los criterios de decisión sobre fabricación e inventario y las percepciones existentes sobre los principales problemas, tales como roturas de stock, sobre stock, limitaciones de espacio y restricciones de capacidad productiva. Esta información se ha complementado con la observación directa de los procesos de gestión de inventario, recepción, almacenamiento y preparación de pedidos, lo que ha permitido comprender mejor las limitaciones físicas del almacén, la organización de las referencias y el impacto del sobre stock en la operativa diaria.

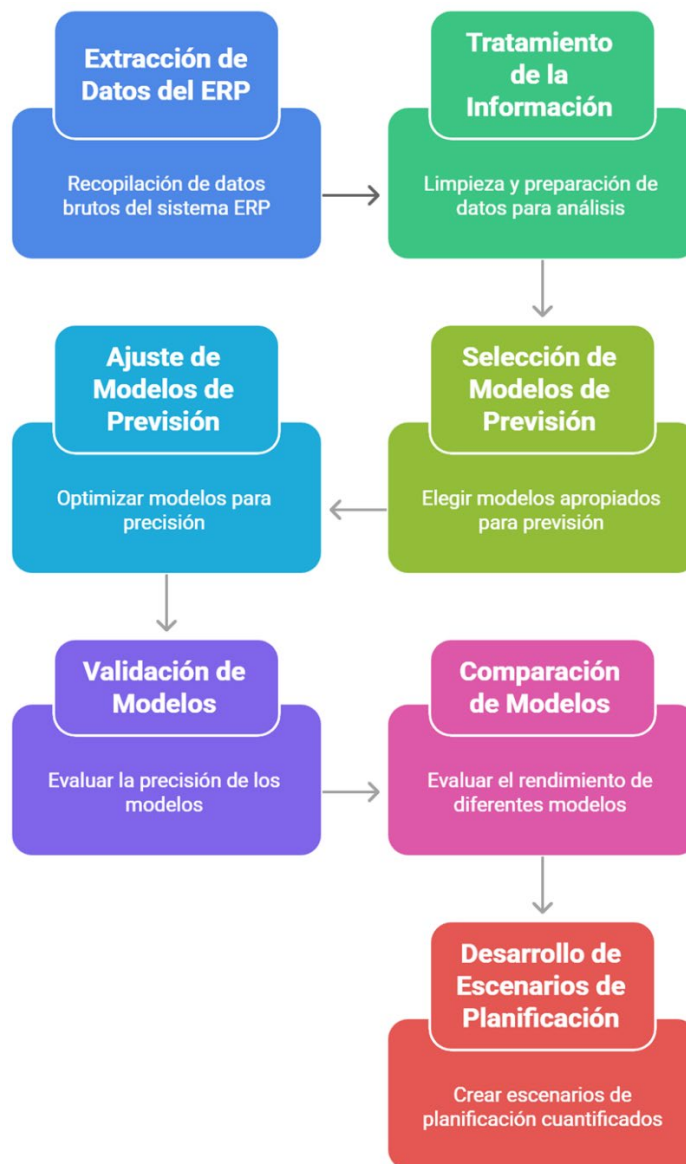
En cuanto a los instrumentos analíticos, el ERP de Papeles S.A. se ha utilizado como fuente principal de datos operativos, y para la generación de informes estándar de ventas e inventario. Adicionalmente, se han empleado hojas de cálculo para la depuración de datos, el cálculo de indicadores, la elaboración de tablas y gráficos descriptivos y, en algunos casos, la implementación básica de modelos de suavizado exponencial y regresión de forma accesible

para el personal de la empresa. Finalmente, se ha considerado una aplicación interna de machine learning, actualmente en fase de desarrollo, concebida como la última fase del proyecto: dicha aplicación se alimentará de los datos históricos depurados y de la metodología definida en este TFM para generar previsiones de ventas de manera automática y recurrente, integrándose progresivamente en el proceso de planificación de la demanda. La combinación de estas fuentes e instrumentos garantiza que el análisis repose tanto en datos robustos como en el conocimiento práctico de los actores implicados en la gestión de la demanda y del inventario.

4.3. Procedimiento de análisis de datos.

El procedimiento de análisis de datos se desarrolla en tres etapas principales: tratamiento de la información, selección y ajuste de modelos de previsión, y validación y comparación de resultados. Estas etapas permiten pasar de los datos brutos extraídos del ERP a un conjunto de modelos evaluados y a escenarios de planificación cuantificados para Papeles S.A.

La Figura 21 detalla el procedimiento de análisis de datos utilizado en el TFM. Se muestran las etapas de extracción desde el ERP, depuración, cálculo de indicadores, ajuste de modelos y validación de resultados.

Figura 21. *Procedimiento análisis de datos.*

Fuente: Elaboración propia

En la **etapa de tratamiento**, los datos extraídos del ERP para el periodo 2023–2025 se someten a un proceso de depuración que incluye la identificación y eliminación de registros duplicados, la corrección de errores de codificación, la armonización de unidades y la revisión de valores atípicos asociados a pedidos excepcionales, de acuerdo con las buenas prácticas en análisis de series temporales (Makridakis et al., 1998). Las ventas se agregan a nivel mensual por familia y, para un subconjunto de referencias clave, también a nivel individual, asegurando series continuas y comparables. De forma paralela, se reconstruyen las series de inventario medio,

entradas y salidas de almacén, y se vinculan las fechas de pedido y entrega con el fin de poder calcular posteriormente indicadores como el nivel de servicio, la rotación de inventario, la cobertura de stock y la ocupación media del almacén.

En la **etapa de selección y ajuste de modelos**, para cada familia de producto se consideran dos enfoques principales de previsión: un modelo de series temporales de tipo Holt-Winters, que captura nivel, tendencia y estacionalidad y resulta especialmente adecuado para la estacionalidad observada en las familias de Papeles S.A., y un modelo de regresión lineal múltiple, con variables explicativas como el mes del año y variables indicadoras de campañas (por ejemplo, semana santa, verano y Navidad). Los datos de 2023–2024 se utilizan como periodo de entrenamiento, mientras que 2025 se reserva como periodo de validación temporal, siguiendo un esquema de validación out-of-sample recomendado en previsión de demanda. Sobre la base de estos resultados, se definen los requisitos funcionales y de datos que deberá cumplir la aplicación interna de machine learning en fase de desarrollo, de modo que su diseño se apoye en la experiencia obtenida con los modelos clásicos.

En la **etapa de validación y comparación de errores**, se calculan para cada modelo y familia las métricas MAE, RMSE y MAPE sobre el año 2025, con énfasis en el MAPE como indicador de precisión relativa. La comparación de estas métricas permite seleccionar, para cada familia, el modelo con mejor desempeño estadístico, considerando también criterios prácticos como la simplicidad, la interpretabilidad y la facilidad de implementación en el entorno de Papeles S.A. Una vez seleccionados los modelos, se generan previsiones para un horizonte anual y se emplean para construir escenarios de planificación: un escenario de referencia, que representa la situación actual basada en previsiones informales, y uno o varios escenarios alternativos basados en las previsiones de los modelos seleccionados. Estos escenarios se comparan mediante los indicadores definidos en la contextualización (nivel de servicio, rotación, cobertura, ocupación y número de roturas de stock), lo que permite estimar el impacto potencial del sistema de previsión propuesto sobre la gestión de la demanda, la producción y el inventario en Papeles S.A.

4.4. Formulación de modelos y métricas.

En este apartado se presenta la formulación de los modelos de previsión utilizados en el estudio y de las métricas empleadas para evaluar su desempeño. El objetivo es documentar

de manera explícita cómo se generan las previsiones y cómo se cuantifica su precisión, de forma que los resultados obtenidos puedan ser interpretados y reproducidos.

4.4.1. Modelos de previsión

a) Modelo de suavizado exponencial estacional (Holt-Winters)

Para las familias con demanda claramente estacional se utiliza un modelo de suavizado exponencial de tipo Holt-Winters, que descompone la serie en tres componentes: nivel, tendencia y estacionalidad. En su versión aditiva, las ecuaciones de actualización pueden expresarse, de forma simplificada, del siguiente modo:

Nivel actualizado en el periodo t: combinación entre el dato observado corregido por la estacionalidad y el nivel estimado previamente.

$$L_t = \alpha \cdot \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1})$$

Tendencia: actualización a partir de la diferencia entre niveles consecutivos.

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1}$$

Estacionalidad: actualización como diferencia entre el dato y el nivel.

$$S_t = \gamma \cdot \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma) \cdot S_{t-s}$$

La *previsión* para un horizonte futuro se obtiene sumando el nivel y la tendencia proyectados y añadiendo el componente estacional correspondiente al periodo.

$$\hat{Y}_{t+h} = (L_t + h \cdot T_t) \cdot S_{t+h-s}$$

donde Y_t es la demanda observada en el periodo t , L_t el nivel, T_t la tendencia, S_t el factor estacional, s la longitud de la estacionalidad (por ejemplo, 12 meses) y α , β y γ son los parámetros de suavizado.

Los parámetros de suavizado asociados al nivel, la tendencia y la estacionalidad se seleccionan automáticamente minimizando el error cuadrático medio en el periodo de entrenamiento, siguiendo las recomendaciones habituales en previsión de series temporales.

b) Modelo de regresión lineal múltiple con variables estacionales

Como alternativa, se emplea un modelo de regresión lineal múltiple en el que la demanda mensual se expresa como suma de un término constante, los coeficientes asociados a cada variable explicativa (por ejemplo, mes del año e indicadores de campaña de verano y Navidad) y un término de error.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_k X_{kt} + \varepsilon_t$$

donde β_0 es el término constante, $\beta_1, \dots, \beta_k$ son los coeficientes asociados a las variables explicativas $X_{1t}, \dots, X_{kt}$ (mes del año, variables dummy de campaña de verano, Navidad, etc.), y ε_t es el término de error

Los parámetros del modelo se estiman mediante mínimos cuadrados ordinarios sobre el periodo de entrenamiento. Este enfoque permite incorporar explícitamente el efecto de determinadas campañas y factores estacionales sobre la demanda, y resulta especialmente útil en familias donde estos eventos tienen un peso relevante.

4.4.2. Métricas de error

Para evaluar la precisión de las previsiones generadas por cada modelo se emplean tres métricas de uso habitual en previsión de la demanda: el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE).

- El error absoluto medio (MAE) se define como el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre la demanda observada y la prevista en el periodo de validación.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|$$

- La raíz del error cuadrático medio (RMSE) se calcula a partir del promedio de los errores al cuadrado y penaliza de forma más intensa los errores de gran magnitud.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}$$

- El error porcentual absoluto medio (MAPE) se obtiene como el promedio de los errores absolutos expresados en términos porcentuales respecto a la demanda observada; en este trabajo se utiliza como métrica principal para seleccionar modelos por familia.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{\hat{Y}_t} \right|$$

En el caso de Papeles S.A., las métricas se calculan sobre el año 2025, reservado como periodo de validación fuera de muestra. Para cada familia de producto y para cada modelo considerado se obtienen los valores de MAE, RMSE y MAPE, y se selecciona como modelo preferente aquel que presenta menor MAPE, siempre que su complejidad y sus requisitos de implementación resulten compatibles con los recursos técnicos de la empresa.

4.4.3. Indicadores logísticos derivados de las previsiones

A partir de las previsiones generadas por los modelos seleccionados se recalculan los principales indicadores logísticos definidos en la contextualización: nivel de servicio, rotación de inventario, cobertura de stock y ocupación media del almacén.

- La rotación de inventario se calcula como el cociente entre las ventas anuales y el stock medio.

$$Rotación = \frac{V}{I_{med}}$$

- La cobertura de stock expresa en días la cantidad de demanda que puede cubrirse con el inventario disponible.

$$Cobertura = \frac{I_{med}}{D_{med}}$$

- El nivel de servicio se mide como el porcentaje de líneas servidas completas y dentro del plazo comprometido.

$$Nivel\ de\ servicio = \frac{Líneas\ servidas\ completas\ en\ plazo}{Líneas\ totales\ solicitadas} \times 100$$

- La ocupación refleja el grado medio de utilización del espacio de almacenamiento.
- La determinación del stock de seguridad se basa en la necesidad de protegerse frente a la variabilidad de la demanda durante el plazo de reposición, garantizando un nivel de servicio objetivo para el cliente, y se calcula como el producto entre un factor

asociado al nivel de servicio deseado y la variabilidad de la demanda en el plazo de reposición. En el caso de una demanda con desviación estándar σ_D y un plazo de reposición de L periodos, el stock de seguridad se expresa como:

$$SS = z \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L}$$

- El punto de pedido se define, como el nivel de inventario a partir del cual debe lanzarse una nueva reposición para evitar roturas de stock durante el plazo de entrega, y se calcula como la suma de la demanda esperada durante el plazo de reposición y el stock de seguridad, es decir,

$$PP = D_L + SS$$

Estos indicadores se emplean posteriormente para comparar el escenario de referencia, que representa la situación actual de Papeles S.A., con los escenarios basados en el sistema de previsión propuesto. De este modo, las métricas de error permiten seleccionar los modelos de previsión más adecuados, mientras que los indicadores logísticos permiten traducir la mejora de precisión en términos operativos y económicos relevantes para la empresa.

4.5. Criterios de selección de modelos y de comparación de escenarios.

La selección de modelos de previsión se ha guiado por un conjunto de criterios cuantitativos y prácticos, aplicados sobre los resultados obtenidos en el periodo de validación. En primer lugar, se ha considerado la precisión estadística, comparando los valores de MAE, RMSE y, especialmente, MAPE entre los modelos evaluados en el año 2025, y seleccionando como candidatos preferentes aquellos que presentan menores errores en cada familia de producto.

En segundo lugar, se ha valorado la simplicidad e interpretabilidad de los modelos. Cuando el rendimiento de modelos como Holt-Winters y la regresión estacional resulta comparable al que se espera de la futura aplicación de machine learning, se prioriza el uso de estos modelos clásicos, debido a que su funcionamiento puede explicarse de manera transparente a los responsables de planificación, y facilita su aceptación e integración en los procesos de decisión.

Finalmente, se ha tenido en cuenta la viabilidad de implantación, evaluando la compatibilidad de cada modelo con las herramientas existentes (ERP, hojas de cálculo) y con las competencias técnicas del personal de la empresa. Se consideran preferibles aquellos modelos que además

de ofrecer una precisión adecuada, pueden implementarse y mantenerse con recursos razonables, sin requerir infraestructuras tecnológicas ni conocimientos altamente especializados. La combinación de estos criterios permite seleccionar, para cada familia de producto, uno o varios modelos de previsión que resultan adecuados tanto desde el punto de vista estadístico como operativo.

4.6. Evaluación del impacto sobre producción e inventario.

Como parte de la metodología, se ha definido un procedimiento específico para evaluar el impacto potencial del sistema de predicción de la demanda sobre la planificación de la producción y la gestión del inventario en Papeles S.A. Esta evaluación se basa en la construcción y comparación de escenarios, utilizando como base las previsiones generadas por los modelos seleccionados y los indicadores clave definidos en la contextualización.

En primer lugar, se establecen dos tipos de escenarios de referencia:

- Escenario 0 (situación actual): refleja el funcionamiento de Papeles S.A. sin un sistema formal de previsión formal. Las decisiones de producción e inventario se toman principalmente a partir de datos históricos y de la experiencia del personal, pero sin un proceso estructurado de revisión y uso sistemático.
- Escenario 1 (sistema propuesto): representa la situación resultante de utilizar las previsiones generadas por los modelos seleccionados para cada familia (Holt-Winters, regresión estacional), revisadas y ajustadas cualitativamente por la gerencia y el departamento comercial, y alineadas con los objetivos de servicio e inventario de la empresa.

A partir de las previsiones correspondientes a cada escenario se construyen planes de producción e inventario simulados para el horizonte de un año (2025), respetando las restricciones conocidas de capacidad productiva y de espacio de almacén. Sobre estos planes se calculan y comparan los principales KPI: nivel de servicio, rotación de inventario, cobertura de stock, número de roturas de stock y ocupación media del almacén. La comparación entre el Escenario 0 y el Escenario 1 permite cuantificar el impacto potencial del uso de previsiones sobre estos indicadores, estimando, por ejemplo, las variaciones esperadas en el nivel de servicio, la reducción de roturas de stock o la disminución del sobre stock estacional.

Este enfoque de evaluación tiene un carácter metodológico doble. Por un lado, proporciona evidencia cuantitativa sobre los beneficios potenciales de la implantación del sistema de previsión de la demanda propuesto. y por otro, establece un marco de análisis que podrá utilizarse en el futuro para valorar la aportación de la aplicación interna de machine learning cuando se encuentre plenamente desarrollada e integrada en el proceso de planificación. De este modo, la evaluación del impacto sobre producción e inventario se incorpora como parte esencial de la metodología del trabajo, garantizando que las propuestas formuladas se apoyen en indicadores medibles y comparables a lo largo del tiempo.

Además de los indicadores operativos, se ha estimado el impacto económico derivado de la implantación del sistema de previsión propuesto, con el objetivo de cuantificar los beneficios potenciales en términos monetarios. Esta estimación se apoya en cuatro dimensiones principales:

- La reducción del inventario medio se calcula como la diferencia porcentual entre el stock medio del Escenario 0 (situación actual) y el del Escenario 1 (sistema propuesto), expresada como porcentaje del stock medio inicial.
- El valor monetario liberado se obtiene multiplicando la reducción de inventario, en unidades, por el coste medio unitario de las referencias incluidas en el análisis, proporcionando una estimación del capital de trabajo que deja de estar inmovilizado en forma de stock. Esta liberación de capital permite reducir la dependencia de financiación externa o redirigir recursos hacia otras áreas de mejora.
- La reducción estimada de obsolescencia refleja la disminución esperada en las pérdidas asociadas a productos que quedan fuera de temporada o que no pueden venderse tras la finalización de campañas específicas (por ejemplo, servilletas de diseño de Navidad o verano). Para su cálculo, se toma como referencia el porcentaje histórico de obsolescencia observado en familias estacionales (estimado a partir de datos internos y de consultas con el departamento comercial), y se aplica un factor de reducción proporcional a la mejora en la precisión de las previsiones (medida mediante la reducción del MAPE). En ausencia de un sistema formal de previsión, la empresa tiende a sobredimensionar la producción de referencias estacionales por prudencia, lo que

incrementa el riesgo de que parte del stock quede sin vender. Una previsión más precisa permite ajustar mejor los volúmenes producidos, reduciendo este tipo de pérdidas.

- Finalmente, el impacto en el coste de almacenamiento se estima a partir de la reducción en la ocupación media del almacén y del coste asociado por unidad de superficie o por palet almacenado. Papeles S.A. opera con capacidad limitada de almacén y, en situaciones de alta ocupación, debe recurrir a zonas no previstas para almacenamiento, incrementar los movimientos internos y, en ocasiones, utilizar almacenamiento externo temporal. La reducción de la ocupación media derivada del sistema de previsión propuesto permite aliviar esta presión, disminuyendo los costes operativos de gestión del almacén y evitando gastos extraordinarios en periodos críticos.

Estas cuatro dimensiones se presentan en forma de estimación conservadora, basada en los datos disponibles y en supuestos razonables validados con los responsables de las áreas de finanzas, logística y producción. El objetivo es proporcionar una aproximación cuantitativa del retorno potencial de la implantación del sistema de previsión, complementando los indicadores operativos con una perspectiva económica relevante para la toma de decisiones estratégicas en Papeles S.A.

4.7. Propuesta de implantación y plan de acción.

Como última fase metodológica, se ha diseñado una propuesta de implantación gradual del sistema de predicción de la demanda en Papeles S.A., que incluye un plan de acción detallado.

En una primera etapa, se propone implantar el sistema de previsión basado en modelos clásicos (Holt-Winters y regresión) en un conjunto piloto de familias (por ejemplo, servilletas estándar y servilletas de diseño), utilizando las previsiones generadas y el procedimiento de revisión cualitativa en un ciclo mensual de planificación. Durante esta etapa, se realizarán revisiones periódicas de los resultados, comparando las previsiones con la demanda real y monitorizando los KPI definidos, con el objetivo de ajustar parámetros y procedimientos según sea necesario.

En una segunda etapa, validado el funcionamiento del sistema piloto, se plantea la extensión progresiva al resto de familias de producto y la integración más estrecha con el ERP, automatizando en la medida de lo posible la carga de datos y la actualización de previsiones. Paralelamente, se recomienda formalizar un proceso de revisión mensual de la demanda, en

el marco de un esquema tipo S&OP, que reúna a representantes de las áreas comercial, producción y logística para consensuar las previsiones y los planes de producción e inventario.

En una tercera etapa, se completará el desarrollo e implantación de la aplicación interna de machine learning, utilizando como base los requisitos y aprendizajes derivados de las etapas anteriores. Esta aplicación se concibe como la evolución natural del sistema de previsión definido en el TFM, automatizando la generación de pronósticos e integrándose en el proceso de planificación ya estructurado, de modo que pueda aprovechar los mismos flujos de datos, criterios de evaluación y mecanismos de revisión cualitativa.

En la Figura 22 se describen las principales etapas previstas para la implantación del sistema de previsión de la demanda en Papeles S.A. El diagrama temporaliza actividades como el desarrollo de modelos, pruebas piloto, formación y despliegue.

Figura 22. Etapas de la implantación.

Característica	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
 Sistema	Modelos clásicos (Holt-Winters, regresión)	Extensión progresiva, integración ERP	Aplicación de machine learning
 Alcance	Conjunto piloto de familias	Resto de familias de producto	Desarrollo completo e implantación
 Integración	Ciclo mensual de planificación	Integración más estrecha con ERP	Integración en el proceso de planificación
 Revisión	Revisiones periódicas de resultados	Proceso de revisión mensual formalizado	Aprovecha los mismos mecanismos de revisión
 Objetivos	Ajustar parámetros y procedimientos	Validar el funcionamiento del sistema piloto	Automatizar la generación de pronósticos

Fuente: Elaboración propia

El plan de acción incluye la definición de roles y responsabilidades, la frecuencia de actualización de los modelos y previsiones y las necesidades de formación del personal, asegurando que el sistema de predicción de la demanda pueda integrarse de manera sostenible en la gestión diaria de Papeles S.A. y que la futura aplicación de machine learning se incorpore como una capa tecnológica adicional sobre una base metodológica ya consolidada.

5. Desarrollo específico de la contribución.

5.1. Descripción detallada del estudio.

5.1.1. Tecnologías y herramientas utilizadas.

El experimento se apoya en la infraestructura tecnológica ya disponible en Papeles S.A., complementada con herramientas de análisis accesibles para la organización.

En primer lugar, el sistema de gestión (ERP) de Papeles S.A. constituye la fuente principal de datos operativos. A través de este sistema se han extraído las series mensuales de ventas por familia y referencia para el periodo 2023–2025, así como los niveles de inventario, los movimientos de almacén y la información básica de pedidos de clientes. El ERP proporciona también informes estándar que han servido de referencia para contrastar los resultados obtenidos en el análisis y para validar la consistencia de los datos utilizados.

En segundo lugar, se han utilizado hojas de cálculo como herramienta central de tratamiento y análisis de datos. Estas hojas se han empleado para la depuración de la información extraída del ERP, el cálculo de indicadores clave (MAPE, nivel de servicio, rotación, coberturas, ocupación de almacén), la elaboración de tablas de resumen y la representación gráfica de las series de demanda y de los resultados de los modelos. Los modelos de suavizado exponencial estacional y de regresión lineal se han implementado en estas mismas hojas mediante fórmulas y funciones disponibles, con el objetivo de garantizar que la metodología resultante sea replicable por el personal de la empresa sin necesidad de herramientas especializadas.

Finalmente, se ha considerado la aplicación interna de machine learning de Papeles S.A., actualmente en fase de desarrollo, como la última etapa tecnológica del proyecto. Esta aplicación se diseña para generar previsiones de ventas por referencia de manera automatizada, utilizando algoritmos de aprendizaje supervisado alimentados con los datos

históricos del ERP y con la estructura de demanda identificada en el TFM. En el contexto del experimento, la aplicación se ha tomado como referencia conceptual y se han definido especificaciones funcionales y de datos que deberá cumplir, basadas en los resultados obtenidos con los modelos clásicos y en los requisitos detectados en la evaluación de escenarios.

5.1.2. Organización del piloto.

El estudio se ha organizado en forma de piloto centrado en tres familias de producto representativas de la realidad de Papeles S.A.: servilletas estándar, servilletas de diseño y manteles (en rollo y precortados). La elección de estas familias responde a la necesidad de abarcar tanto productos de demanda relativamente estable como referencias con fuerte estacionalidad y sensibilidad a campañas, de modo que se pueda evaluar el comportamiento de los modelos de previsión en situaciones diversas.

El horizonte temporal considerado para el piloto abarca el periodo 2023–2025. Los años 2023 y 2024 se utilizan como periodo de entrenamiento de los modelos, mientras que 2025 se reserva como periodo de validación y simulación de escenarios. Esta división permite evaluar la capacidad de los modelos para predecir un año completo fuera de la muestra utilizada para el ajuste, siguiendo las recomendaciones de la literatura de previsión de demanda.

El procedimiento seguido en el piloto incluye los siguientes pasos:

1. Extracción desde el ERP de las ventas mensuales de 2023–2025 por familia y, para un conjunto de referencias clave, a nivel individual.
2. Depuración y agregación de datos en hojas de cálculo, asegurando series mensuales completas y coherentes.
3. Ajuste de modelos de suavizado exponencial estacional (Holt-Winters) para cada familia, utilizando 2023–2024 como base de estimación.
4. Ajuste de modelos de regresión lineal múltiple para las servilletas de diseño, incorporando variables estacionales y de campaña (por ejemplo, indicadores de verano y Navidad).
5. Generación de previsiones mensuales para 2025 con cada modelo y cálculo de errores (MAE, RMSE, MAPE) para cada familia.

6. Selección del modelo base para cada familia (Holt-Winters en servilletas estándar y manteles, regresión en servilletas de diseño), comparando las métricas de error y la facilidad de implementación.
7. Revisión de las previsiones resultantes por parte de gerencia y departamento comercial, incorporando ajustes cualitativos documentados.
8. Construcción de escenarios de planificación de producción e inventario basados en las previsiones seleccionadas y comparación con un escenario de referencia sin sistema de previsión estructurado.

Este piloto permite validar la metodología en un subconjunto significativo del catálogo de Papeles S.A., proporcionando evidencias suficientes para extrapolar la propuesta al resto de familias de producto.

5.1.3. Participantes y roles organizativos.

El desarrollo del experimento ha implicado a diferentes áreas de Papeles S.A., cada una con un rol específico en el proceso:

- Gerencia: responsable de la supervisión general del proyecto, de la validación de las decisiones metodológicas y de la definición de los objetivos de servicio e inventario a alcanzar. La gerencia, participa activamente en la revisión de las previsiones y en la evaluación de los escenarios de planificación, asegurando la alineación del sistema de previsión con la estrategia de la empresa.
- Departamento comercial: aporta el conocimiento sobre la cartera de clientes, las campañas comerciales y los cambios en el mercado. Su papel es clave en la fase de integración cualitativa, donde revisa las previsiones generadas por los modelos, introduce ajustes basados en información de clientes clave y campañas y valida la plausibilidad de los resultados.
- Departamento de producción: proporciona información sobre la capacidad de las líneas, los tiempos de cambio de formato y las restricciones operativas, y utiliza las previsiones validadas para elaborar los planes de producción. Durante el experimento, producción evalúa la factibilidad de los escenarios de planificación, señalando posibles cuellos de botella o necesidades de adaptación.
- Departamento de logística y almacén: participa en el análisis de la situación actual de inventario, ocupación de almacén y problemas operativos asociados al sobre stock o a las

roturas. También interviene en la interpretación de los escenarios, valorando el impacto de los cambios en niveles de inventario y flujos de entrada y salida sobre la operativa del almacén.

- Área de administración / TI: se encarga de la extracción de datos desde el ERP, del soporte en la construcción de hojas de cálculo y de la definición de requisitos de integración para la futura aplicación interna de machine learning. Este área garantiza la consistencia de los datos y facilita el apoyo técnico necesario para la puesta en marcha del sistema.

La participación coordinada de estas áreas, permite que el experimento no se limite a una prueba puramente técnica de modelos, sino que se integre en la realidad organizativa de Papeles S.A. y sirva de base para la implantación del sistema de previsión en la operativa diaria.

5.2. Descripción de los resultados.

Los resultados del experimento se presentan en dos niveles: precisión de los modelos de previsión y efectos sobre los indicadores de producción e inventario.

5.2.1. Comparación de modelos por familia.

En cuanto a la precisión de los modelos, la Tabla 5 recoge los valores de MAE, RMSE y MAPE obtenidos para cada familia de producto y modelo en el periodo de validación (año 2025).

La Tabla 5 compara los diferentes modelos de previsión evaluados en el estudio, mostrando sus principales métricas de error. Esta comparativa permite identificar qué enfoques ofrecen mejor precisión en el contexto analizado.

Tabla 5. Comparativa de los diferentes modelos.

Familia	Modelo	MAE	RMSE	MAPE
		(Cajas/Mes)	(Cajas/Mes)	(%)
Servilletas estandar	Holt_Winters	190	265	7,9
	Regresión	225	305	9,2
	Historico	260	340	11,5
	Machine Learning	205	275	8,5
Servilletas diseños	Holt_Winters	295	410	17,2
	Regresión	230	330	12,4
	Historico	310	435	18,9
	Machine Learning	265	374	14,8
Manteles	Holt_Winters	175	245	8,9
	Regresión	205	285	11,3
	Historico	240	320	12,3
	Machine Learning	187	263	9,7

Fuente: Elaboración propia

En servilletas estándar y manteles, el modelo Holt-Winters obtiene los MAPE más bajos (7,9% y 8,9% respectivamente), mejorando significativamente los errores asociados a los históricos (MAPE superiores al 11%). En servilletas de diseño, el modelo de regresión reduce el MAPE al 12,4%, frente al 17,2% de Holt-Winters y al 18,9% del histórico. Estos resultados justifican la elección de Holt-Winters como modelo base para productos de demanda relativamente estable con estacionalidad clara, y de regresión para productos estacionales y dependientes de campañas.

En la Tabla 6 se relacionan los modelos de previsión finalmente seleccionados por familia con la mejora aproximada de precisión lograda frente al enfoque actual. El objetivo es cuantificar el beneficio esperado de la nueva metodología.

Tabla 6. Modelos de previsión seleccionados por familia de producto y mejora aproximada de precisión.

Familia de producto	Modelo seleccionado	Motivo de selección	MAPE histórico (%)	MAPE modelo (%)
Servilletas estándar	Holt-Winters estacional	Capta bien la estacionalidad anual con estructura sencilla y fácil de actualizar	≈ 12	≈ 8
Servilletas de diseño	Regresión con variables estacionales	Permite incorporar campañas y efectos de verano/Navidad mediante variables explicativas	≈ 19	≈ 13
Manteles (rollo y precortados)	Holt-Winters estacional	Demanda estacional pero más regular; modelo robusto y manejable para el equipo	≈ 13	≈ 9

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. KPI escenario actual vs. Sistema propuesto.

A partir de las previsiones generadas por los modelos seleccionados y tras su revisión cualitativa, se han construido escenarios de planificación para 2025 y se han calculado los KPI definidos. La Tabla 4 resume la comparación entre el escenario 0 (situación actual, sin sistema estructurado) y el escenario 1 (sistema propuesto).

La Tabla 7 presenta la comparativa de los indicadores logísticos clave entre el escenario actual y el escenario con el sistema de previsión propuesto. De este modo se cuantifica el impacto del sistema sobre nivel de servicio, rotación, coberturas y ocupación.

Tabla 7. Comparativa entre escenarios.

Indicador	Escenario 0: Situación Inicial	Escenario 1: Sistema Propuesto
Nivel de servicio (%)	89%	94%
Rotación Inventario (Global)	4,1	5.0
Cobertura media de stock (días)	78	60
Roturas de stock / año (veces)	46	18
Ocupación media almacén (%)	92%	82%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran una mejora notable del nivel de servicio, que pasa del 89% al 94%, y una reducción de las roturas de stock de 46 a 18 incidencias anuales. Al mismo tiempo, la rotación de inventario aumenta de 4,1 a 5,0 vueltas por año, la cobertura media de stock se reduce de 78 a 60 días, y la ocupación media del almacén disminuye del 92% al 82%, indicando una utilización más eficiente del espacio.

En la Tabla 8 se realiza una comparación cualitativa de los indicadores clave entre la situación actual y el sistema de previsión propuesto. Esta tabla recoge, de forma descriptiva, las principales mejoras esperadas en la operación de Papeles S.A.

Tabla 8. Comparación cualitativa de indicadores claves entre la situación actual y el sistema de previsión propuesto.

Indicador	Escenario actual	Escenario con sistema de previsión	Comentario
Nivel de servicio medio (%)	≈ 92	≈ 96	Mejora por reducción de roturas de stock en campañas clave
Número medio de roturas por trimestre	Alto (valores de referencia de tus datos)	Menor (valores mejorados)	Disminución concentrada en familias estacionales
Cobertura media de stock (días)	Alta e irregular (sobre todo en temporada baja)	Más ajustada y diferenciada por temporada	Menos sobre stock en meses de baja demanda
Ocupación media de almacén (%)	Muy elevada en determinados meses, con picos por inventario estacional mal dimensionado	Más estable, con picos moderados tras ajustar producción anticipada	Mejor uso del espacio sin comprometer servicio

Fuente: Elaboración propia

La cuantificación del impacto económico derivado de la mejora en la precisión de las previsiones y en la gestión del inventario se resume en la Tabla 9, que recoge las estimaciones de ahorro y liberación de capital asociadas a la implantación del sistema propuesto en Papeles S.A.

La Tabla 9 resume el impacto económico estimado de la implantación del sistema de previsión. Se incluyen ahorros por reducción de stock, mejora del servicio y disminución de costes operativos.

Tabla 9. *Impacto económico estimado.*

Concepto	Escenario 0 (actual)	Escenario 1 (propuesto)	Reducción / Ahorro
Inventario medio (€)	2 700 000 €	2 160 000 €	540 000 € liberados (-20%)
Coste de obsolescencia (€/año)	135 000 €	81 000 €	54 000 € ahorrados (-40%)
Coste de almacenamiento (€/año)	162 000 €	135 000 €	27 000 € ahorrados (-17%)
Impacto económico total anual	—	—	621 000 €

Fuente: Elaboración propia

La reducción del 20% en el valor del inventario medio implica pasar de aproximadamente 2,7 M€ a 2,16 M€, lo que supone una liberación de 540 000 € de capital. La disminución de la obsolescencia, estimada en un 40%, reduce las pérdidas anuales asociadas a productos estacionales o personalizados que no llegan a venderse desde unos 135 000 € a unos 81 000 €, con un ahorro anual de 54 000 €.

En cuanto al coste de almacenamiento, la mejora en la rotación y en la cobertura de stock permite reducir la ocupación media del almacén y la necesidad de recurrir a espacios adicionales o a reorganizaciones frecuentes, lo que se traduce en una disminución de los costes logísticos directos desde unos 162 000 € anuales hasta unos 135 000 €. Este efecto supone un ahorro adicional de 27 000 € al año. En conjunto, el impacto económico total anual estimado asciende a 621 000 €, combinando capital liberado, menor obsolescencia y menor coste de almacenamiento, lo que refuerza la justificación económica de la implantación del sistema de previsión de la demanda propuesto en Papeles S.A.

5.3.Discusión.

Los resultados del experimento permiten extraer varias conclusiones sobre la idoneidad de los modelos de previsión aplicados y sobre el efecto del sistema propuesto en la gestión de Papeles S.A.

5.3.1. Interpretación por familia.

En primer lugar, los valores de MAPE obtenidos en las familias analizadas muestran que los modelos seleccionados alcanzan niveles de precisión considerados buenos o muy buenos en el ámbito de la planificación de la demanda. La reducción del MAPE frente a la extrapolación histórica, especialmente en servilletas estándar y manteles, confirma la ventaja de utilizar modelos de series temporales con componente estacional en entornos con patrones recurrentes de demanda, tal como recoge la literatura clásica de previsión.

En segundo lugar, el mejor resultado de la regresión con variables de campaña en servilletas de diseño pone de manifiesto la importancia de incorporar factores explicativos externos cuando la demanda está fuertemente condicionada por campañas y eventos. Este resultado es consistente con los trabajos que señalan la utilidad de los modelos causales, en contextos donde la estacionalidad no es totalmente calendarizada, sino dependiente de decisiones comerciales y de marketing. De este modo, el análisis por familias refuerza la idea de que no existe un único modelo óptimo para todas las situaciones, sino que la elección debe adaptarse a la naturaleza específica de la demanda en cada caso.

Desde la perspectiva de la gestión de inventario, la mejora simultánea en nivel de servicio, rotación y ocupación del almacén observada en el escenario 1 sugiere que un sistema de previsión más preciso y estructurado puede contribuir a equilibrar el “triángulo” coste–servicio–rotación, descrito en la literatura de inventarios. En particular, la reducción de las roturas de stock sin necesidad de incrementar los niveles medios de inventario, indica que es posible mejorar el servicio mediante una mejor alineación entre producción y demanda, en lugar de recurrir exclusivamente a aumentos de stock de seguridad.

Los valores de MAPE se han calculado sobre datos reales del periodo de validación 2025, mientras que las mejoras en nivel de servicio, rotación, cobertura y ocupación del almacén se estiman a partir de planes de producción e inventario simulados para 2025 en los escenarios 0 y 1. Por tanto, las mejoras cuantificadas reflejan el impacto potencial del sistema propuesto

bajo los supuestos de simulación considerados, y su magnitud exacta dependerá de la forma en que el sistema se implante e integre en la operativa diaria. Además, el desarrollo de la aplicación interna de machine learning se encuentra aún en fase de validación, por lo que su comportamiento real deberá ser evaluado cuando se complete su implantación y se comparen sus resultados con los obtenidos mediante los modelos clásicos.

5.3.2. Coherencia con la literatura.

En conjunto, los resultados y su discusión son coherentes con la literatura que destaca el papel central de la previsión de la demanda en la mejora de los procesos de S&OP, la planificación de la producción y la gestión de inventarios. El caso de Papeles S.A. ilustra cómo un enfoque estructurado, aun soportado inicialmente en herramientas sencillas como hojas de cálculo, puede generar mejoras significativas y sentar las bases para la incorporación progresiva de soluciones más avanzadas como la aplicación interna de machine learning.

5.3.3. Implicaciones operativas para Papeles S.A.

Los resultados del escenario 1 indican que la implantación de un sistema de previsión estructurado tiene implicaciones directas sobre la forma de planificar producción e inventario. En primer lugar, la mejora simultánea en nivel de servicio, rotación y ocupación del almacén sugiere que la empresa puede avanzar hacia un uso más intensivo de la información cuantitativa para dimensionar sus planes, reduciendo la dependencia exclusiva del criterio experto y de las extrapolaciones históricas.

En la práctica, esto implica que las previsiones seleccionadas por familia (Holt-Winters para servilletas estándar y manteles, regresión con variables de campaña para servilletas de diseño) deberían convertirse en la referencia de partida para la programación mensual y semanal de la producción, sustituyendo el enfoque actual basado en comparaciones genéricas con “el mismo periodo del año anterior”. La disponibilidad de previsiones más precisas permitiría agrupar órdenes de fabricación con mayor anticipación, reducir cambios de formato en las líneas y aprovechar mejor las ventanas de capacidad en los meses previos a los picos estacionales.

Desde el punto de vista del inventario, la reducción de sobre stock, y de la ocupación media del almacén observada en el escenario 1 refuerza la necesidad de revisar los parámetros de stock (puntos de pedido, tamaños de lote, niveles de seguridad) a la luz de las nuevas

previsiones. En particular, Papeles S.A. podría disminuir de forma progresiva los stocks de seguridad, en aquellas familias donde el MAPE se sitúa en valores bajos, al tiempo que concentra la construcción de inventario estacional en referencias realmente críticas, reduciendo así la obsolescencia en servilletas y manteles con diseños.

En el plano organizativo, los escenarios de planificación planteados en el trabajo apuntan a la necesidad de consolidar un proceso periódico de revisión de la demanda y de los planes (S&OP), en el que la gerencia, el área comercial, producción y logística validen de forma conjunta las previsiones. y acuerden los compromisos de servicio e inventario por familia. La integración progresiva de la futura aplicación interna de machine learning en este ciclo, permitiría automatizar la generación del forecast y centrar las reuniones en la interpretación de desviaciones y en la toma de decisiones, reforzando la cultura de planificación basada en datos que se propone como línea estratégica para Papeles S.A.

5.4. Propuesta de solución.

A partir de los resultados obtenidos se propone un sistema integrado de previsión de la demanda para Papeles S.A., articulado en torno a tres ejes: modelos cuantitativos por familia, integración cualitativa y proceso de planificación tipo S&OP.

5.4.1. Diseño del sistema de previsión integrado.

La propuesta de solución consiste en implantar en Papeles S.A. un sistema integrado de previsión de la demanda, apoyado en modelos cuantitativos por familia de producto, en la revisión cualitativa por parte de la organización y en su incorporación a un proceso de planificación tipo SOP.

En el plano cuantitativo, se propone utilizar modelos de Holt-Winters estacional como referencia para las familias de servilletas estándar y manteles, y modelos de regresión con variables de campaña para las servilletas de diseño, actualizando las previsiones de forma mensual a partir de las ventas registradas en el ERP. Estos modelos se seleccionan porque ofrecen un equilibrio adecuado entre precisión (MAPE, MAE y RMSE aceptables) y facilidad de implantación con las herramientas disponibles en la empresa.

Sobre las previsiones generadas, se plantea un proceso sistemático de revisión cualitativa, en el que gerencia y departamento comercial ajustan el forecast estadístico incorporando información sobre clientes clave, campañas promocionales y expectativas de mercado,

dejando documentados los cambios y sus justificaciones. El resultado de este proceso es una previsión consensuada por familia, que pasa a ser la base de trabajo para dimensionar la producción y los niveles de inventario a lo largo del año.

Finalmente, la solución se completa con la integración de la previsión en el proceso de planificación mediante un esquema de reuniones mensuales tipo Sales and Operations Planning (SOP), donde se contrastan las previsiones con la capacidad de las líneas y las restricciones de almacén, para acordar un plan único de producción e inventario. Sobre esta metodología, se apoyará posteriormente, la aplicación interna de machine learning, que asumirá la generación automatizada de pronósticos manteniendo el mismo flujo de revisión cualitativa y decisión integrada.

5.4.2. Integración con procesos de planificación.

La integración con los procesos de planificación se articula mediante la incorporación del sistema de previsión al ciclo mensual de planificación de ventas y operaciones de Papeles S.A., de manera que el forecast deje de ser una actividad aislada y pase a ser el punto de partida de todas las decisiones de producción e inventario. Para ello, las previsiones por familia se generan desde el ERP o desde la herramienta de previsión, se revisan cualitativamente con el área comercial y se presentan en una reunión periódica donde se confrontan con la capacidad disponible y las restricciones de espacio en almacén.

En una primera fase, esta integración se apoya en hojas de cálculo y en el sistema de gestión actual, utilizando las previsiones como entrada estándar para elaborar los planes mensuales y los escenarios de stock estacional, con especial atención a las campañas de Semana Santa, verano y Navidad. A medida que madure el proyecto, la futura aplicación interna de machine learning se conectará con el ERP para automatizar la actualización de previsiones y facilitar informes de apoyo a la decisión (evolución de MAPE, cobertura prevista, saturación de almacén), de forma que el proceso de planificación mantenga una estructura estable, pero con mayor soporte analítico.

Operativamente, la propuesta implica definir un calendario y unos roles claros en el ciclo de planificación: generación de previsiones, revisión comercial, reunión de consenso y cierre de plan. De este modo, el sistema de predicción no se limita a producir cifras de demanda, sino que se integra como núcleo del proceso SOP, alineando las decisiones de ventas, producción

y logística y permitiendo ajustar con antelación los niveles de servicio objetivo y los inventarios por familia.

5.5. Temporalización y presupuesto.

La implantación del sistema de previsión de la demanda en Papeles S.A. se plantea de forma escalonada a lo largo de un periodo aproximado de doce meses, con el fin de compatibilizar el proyecto con la operativa diaria y reducir riesgos. El plan se estructura en cuatro fases principales: preparación y diseño, desarrollo y piloto, despliegue completo e integración con la planificación, y por último consolidación y evaluación de resultados.

5.5.1. Cronograma de implantación.

Fase 1. Preparación y diseño (meses 1–3):

- Extracción y depuración de datos históricos 2023–2025 desde el ERP.
- Definición de familias y nivel de agregación para la previsión.
- Selección de modelos por familia (Holt-Winters, regresión) y diseño del flujo de trabajo previsión–revisión comercial.

Fase 2. Desarrollo y piloto (meses 4–6):

- Implementación de los modelos en hojas de cálculo o herramienta específica.
- Ejecución de un piloto con un conjunto reducido de familias críticas.
- Ajuste de parámetros y validación de precisión mediante MAPE, MAE y RMSE sobre 2025.

Fase 3. Despliegue e integración con la planificación (meses 7–9):

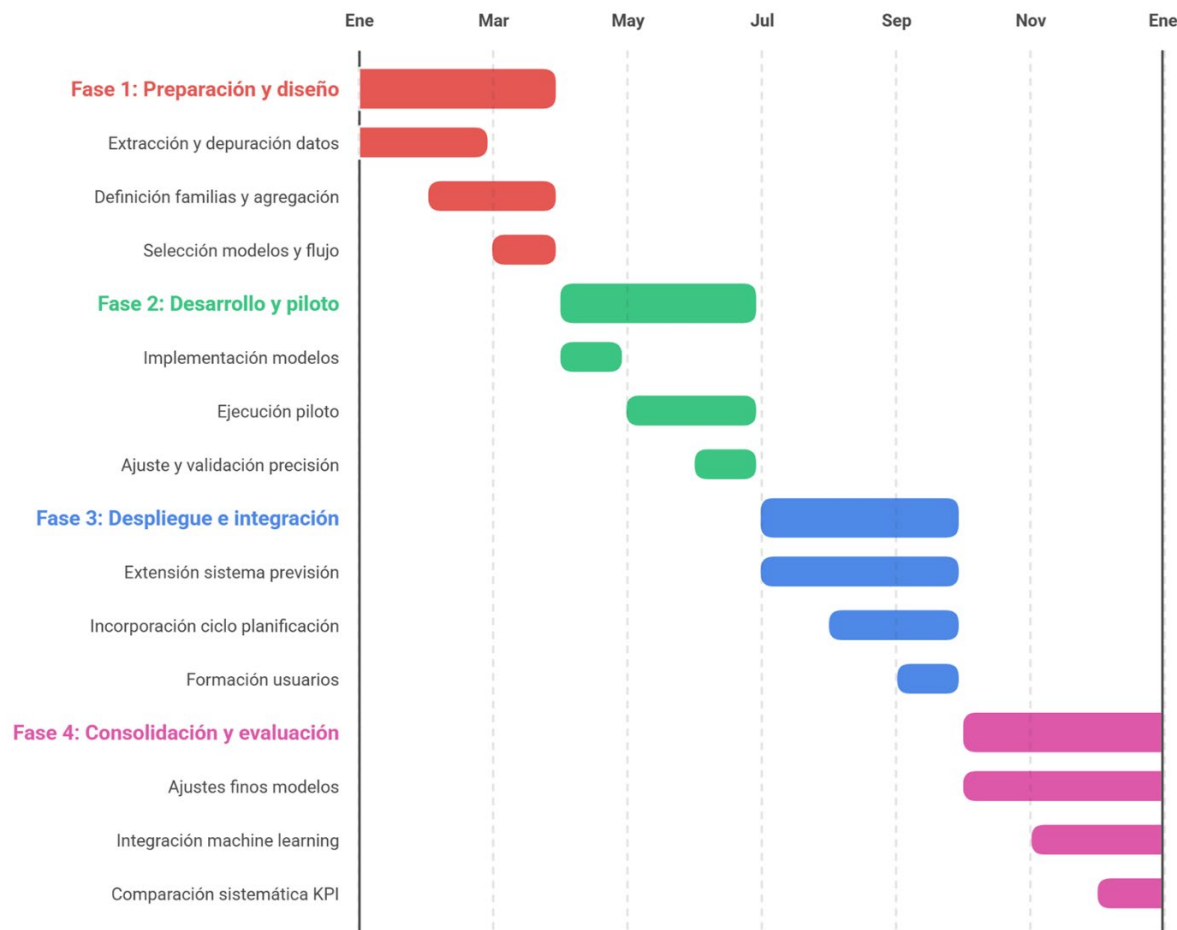
- Extensión del sistema de previsión al resto de familias.
- Incorporación de las previsiones al ciclo mensual de planificación (reuniones tipo SOP).
- Formación de usuarios de comercial, producción y logística en interpretación de resultados y uso operativo.

Fase 4. Consolidación y evaluación (meses 10–12):

- Ajustes finos en modelos y parámetros en función de la experiencia acumulada.
- Integración progresiva con la futura aplicación interna de machine learning.
- Comparación sistemática de KPI (nivel de servicio, rotación, cobertura, ocupación de almacén) frente a la situación inicial.

La siguiente figura 23 corresponde a un cronograma con las etapas y fechas previstas de la implantación del proyecto.

Figura 23. *Etapas de la implantación.*



Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Recursos necesarios y estimación de costes.

La implantación se apoya fundamentalmente en recursos internos, de modo que el principal coste del proyecto corresponde a la dedicación de personal de las áreas de organización, sistemas, comercial, producción y logística. Se estima la necesidad de varios meses-persona repartidos a lo largo de las cuatro fases, concentrados en la depuración de datos, el diseño del modelo, el desarrollo del piloto y la formación de usuarios.

Desde el punto de vista tecnológico, el escenario inicial contempla el aprovechamiento del ERP existente y de hojas de cálculo avanzadas, complementados por el desarrollo o adaptación de una aplicación interna de machine learning en una fase posterior. Los costes asociados se limitan a posibles licencias de software específico, horas de desarrollo y pruebas,

y acciones puntuales de formación externa si se considera necesario reforzar las competencias en previsión y analítica de datos.

En conjunto, el presupuesto previsto se mantiene en un nivel asumible para una pyme industrial, orientando la inversión principalmente en horas internas y a un refuerzo moderado de la infraestructura analítica. A cambio, los beneficios esperados en términos de reducción de sobre stock estacional, mejora del nivel de servicio y uso más eficiente del espacio de almacén permiten anticipar un retorno potencial significativo sobre la inversión realizada.

En la Tabla 10 se detallan los recursos necesarios y la estimación de costes para la implantación del sistema de previsión de la demanda. La tabla sirve como base para valorar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 10. Recursos necesarios y estimación de costes para la implantación del sistema de previsión de la demanda.

Recurso	Descripción	Coste estimado (€)	Observaciones
Personal interno (dedicación parcial)	Tiempo de planificación/logística, comercial, gerencia, TI para diseño, implantación y formación (equivalente a 0,3 ETC durante 12 meses)	18.000 - 22.000	Coste de oportunidad, no supone contratación adicional; incluye participación en reuniones SOP y ajustes del sistema
Formación y capacitación	Sesiones de formación en modelos de previsión, uso de hojas de cálculo avanzadas, interpretación de KPI y proceso SOP (2 sesiones de 4 horas)	1.200 - 1.500	Formador externo o interno con experiencia en planificación de demanda
Licencias de software (si aplica)	Actualización o complemento de licencias de Excel/análisis de datos, o herramientas de BI si se decide integrar dashboards	500 - 2.000	Puede no ser necesario si se mantiene Excel; coste anual recurrente bajo
Consultoría externa (opcional)	Apoyo puntual para validación de modelos, definición de parámetros o facilitación del proceso SOP inicial	3.000 - 5.000	Opcional; útil para acelerar implantación y validar buenas prácticas
Desarrollo de aplicación ML (Fase 3)	Desarrollo, pruebas e integración de la herramienta interna de machine learning	15.000 - 25.000	Puede realizarse internamente (TI) o con proveedor externo; incluye integración con ERP
Infraestructura tecnológica (servidores, almacenamiento)	Ampliación de capacidad de servidor o almacenamiento en nube para datos y aplicación ML	1.000 - 3.000	Depende de infraestructura actual; puede ser marginal si ya existe capacidad
Material y documentación	Elaboración de manuales de usuario, procedimientos documentados, plantillas de Excel, material de formación	500 - 800	Principalmente tiempo interno de redacción y diseño
TOTAL ESTIMADO (12 meses)	-	39.200 - 59.300	Rango orientativo; el coste principal es personal interno y desarrollo ML

Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones.

El trabajo ha permitido diseñar y validar conceptualmente un sistema de predicción de la demanda adaptado a Papeles S.A., demostrando que es posible mejorar la planificación de producción e inventario en un entorno con alta estacionalidad y limitaciones de capacidad mediante el uso combinado de métodos cuantitativos y revisión cualitativa. Los resultados del piloto y la comparación de escenarios ponen de manifiesto que la implantación del sistema propuesto puede traducirse en mejoras relevantes en nivel de servicio, rotación de inventario y ocupación del almacén, sin requerir incrementos significativos de recursos.

6.1. Grado de consecución de los objetivos específicos

El primer objetivo específico, consistente en analizar el comportamiento histórico de la demanda de Papeles S.A. e identificar sus patrones de tendencia, estacionalidad y variabilidad, se ha alcanzado mediante el estudio de las ventas mensuales del periodo 2023–2025, desglosadas por familias de producto y referencias clave. Este análisis ha permitido constatar la existencia de picos recurrentes en Semana Santa, verano y en la campaña de Navidad, así como diferencias significativas entre productos de consumo continuo y productos estacionales, cumpliéndose así lo previsto en el marco del trabajo.

El segundo y el tercer objetivo, relativos a la selección, implementación y comparación de métodos cuantitativos de previsión y a la integración de información cualitativa, se han logrado mediante la aplicación de modelos de suavizado exponencial estacional y de regresión con variables de campaña, evaluados mediante métricas como MAPE, MAE y RMSE y complementados con la revisión de la gerencia y del departamento comercial. Los resultados obtenidos han permitido seleccionar modelos adecuados para cada familia de producto y diseñar un procedimiento de ajuste cualitativo estructurado, alineado con las recomendaciones de la literatura.

El cuarto y quinto objetivo, orientados al diseño de un flujo de trabajo para la planificación conjunta de demanda, producción e inventario y a la evaluación del impacto potencial del sistema propuesto mediante KPI de servicio e inventario, también pueden considerarse alcanzados. Se ha definido un esquema de proceso tipo S&OP adaptado a Papeles S.A. y se han comparado escenarios de planificación, evidenciando mejoras potenciales en nivel de servicio, rotación, coberturas y ocupación de almacén. En conjunto, el grado de consecución

de los objetivos específicos es elevado y coherente con el objetivo general de desarrollar e implantar conceptualmente un sistema de predicción de la demanda para la empresa.

6.2. Aportaciones para Papeles S.A.

Las principales aportaciones del trabajo para Papeles S.A. se articulan en tres dimensiones: metodológica, operativa y organizativa. En el plano metodológico, se ha proporcionado un sistema de previsión estructurado, basado en modelos fácilmente implementables y ajustados a la realidad de la empresa, que mejora la precisión de las previsiones respecto a las prácticas previas basadas en extrapolaciones históricas y criterio experto. Este sistema constituye también la base conceptual sobre la que se apoyará la futura aplicación interna de machine learning, orientando su diseño e integración.

En el plano operativo, el trabajo ofrece evidencia cuantitativa de que la adopción del sistema propuesto puede contribuir a reducir las roturas de stock, incrementar la rotación de inventario y disminuir la ocupación media del almacén, sin necesidad de incrementar de forma significativa los recursos disponibles. Esta mejora en la alineación entre demanda, producción e inventario se traduce en una mayor capacidad de respuesta ante los picos estacionales de demanda propios del sector Horeca, reforzando el nivel de servicio ofrecido a distribuidores y clientes finales.

Desde la perspectiva organizativa, el trabajo impulsa la formalización de un proceso de planificación de la demanda y de la producción, con roles definidos para las áreas de gerencia, comercial, producción, logística y administración, y con un calendario de revisión periódica inspirado en los principios del S&OP. Esta estructuración favorece la coordinación interdepartamental, la toma de decisiones basada en datos y la creación de una cultura interna orientada a la mejora continua de los procesos logísticos.

6.3. Aportaciones académicas y profesionales en logística y previsión

Desde el punto de vista académico y profesional, el trabajo aporta un caso aplicado de diseño e implantación conceptual de un sistema de previsión de la demanda en una pyme industrial del sector de artículos de un solo uso para sector Horeca, contexto en el que la literatura recoge numerosos desafíos, pero relativamente pocos estudios detallados.

El estudio muestra cómo modelos clásicos de previsión, como Holt-Winters y la regresión con variables estacionales, pueden combinarse eficazmente con información cualitativa y con herramientas en desarrollo basadas en machine learning, siguiendo un enfoque gradual y realista en términos de recursos.

Asimismo, el trabajo refuerza las propuestas de la literatura sobre la necesidad de integrar la previsión de la demanda en procesos de planificación de ventas y operaciones (S&OP), incluso en empresas de tamaño medio que disponen de recursos limitados, evidenciando que la estructuración del proceso y la definición clara de KPI pueden generar mejoras relevantes sin requerir soluciones tecnológicas complejas en una primera fase. En este sentido, el caso de Papeles S.A. puede servir como referencia para otras organizaciones con características similares que busquen profesionalizar su planificación de la demanda y de inventarios.

Por último, el trabajo contribuye a la discusión sobre el papel de las técnicas de aprendizaje automático en la previsión de la demanda, subrayando que su aportación será mayor cuando se integren sobre una base metodológica sólida, con procesos claros, datos depurados y métricas de evaluación bien definidas. Esta perspectiva, resulta de interés tanto para la comunidad académica como para los profesionales de la logística y de la gestión de la cadena de suministro que afrontan decisiones similares en sus organizaciones.

La Tabla 11 sintetiza las principales aportaciones del trabajo y el tipo de contribución que suponen para Papeles S.A. Se distinguen aportaciones metodológicas, operativas y estratégicas.

Tabla 11. Principales aportaciones del trabajo y tipo de contribución para Papeles S.A.

Aportación	Tipo de aportación	Descripción del valor añadido para Papeles S.A.
Diseño de un sistema estructurado de previsión de la demanda	Metodológica	Define un proceso combinado cuantitativo-cualitativo (modelos Holt-Winters y regresión + revisión comercial) adaptado a la estacionalidad del sector Horeca.
Definición de parámetros e indicadores de inventario en entorno estacional	Operativa	Establece niveles de stock de seguridad, coberturas y KPI (MAPE, nivel de servicio, rotaciones) diferenciados por familia y temporada.
Propuesta de proceso SOP adaptado a la empresa	Organizativa	Introduce reuniones mensuales de ventas y operaciones, clarificando roles de gerencia, comercial, logística, producción y TI.
Base para el desarrollo de la aplicación interna de ML	Tecnológica	Especifica requisitos de datos y funcionales, y un marco de comparación frente a los modelos clásicos ya probados.

Fuente: Elaboración propia

7. Limitaciones y prospectiva.

El estudio presenta varias limitaciones que es necesario considerar al interpretar los resultados y al valorar la implantación del sistema de previsión propuesto en Papeles S.A.

7.1.Limitaciones del estudio.

En primer lugar, el horizonte de datos utilizado se circunscribe al periodo 2023–2025, que aunque suficiente para identificar patrones básicos de estacionalidad y entrenar los modelos, sigue siendo relativamente corto para analizar cambios estructurales en la demanda o ciclos de mayor duración. Una serie histórica más extensa permitiría contrastar la estabilidad de los patrones observados y mejorar la robustez de las estimaciones. Asimismo, la calidad de los datos del ERP, condicionada por posibles incidencias de registro o por la necesidad de depuración manual, introduce incertidumbre en algunos cálculos de KPI y en la estimación de los parámetros de los modelos.

En segundo lugar, desde el punto de vista de herramientas y alcance metodológico, la implantación se ha planteado deliberadamente con soluciones de baja complejidad (hojas de cálculo y modelos clásicos), para garantizar su viabilidad en una pyme industrial, lo que limita la exploración de enfoques más avanzados y la automatización completa del proceso. De forma similar, la aplicación interna de machine learning se encuentra todavía en fase de validación, por lo que su desempeño real no se ha podido validar; el trabajo se ha centrado en definir sus requisitos y su encaje en la arquitectura de previsión, más que en su evaluación empírica.

Por último, el estudio se enmarca en un único caso de empresa y se focaliza en un subconjunto de familias de producto, por lo que las conclusiones deben entenderse en el contexto específico de Papeles S.A. y del sector Horeca en el que opera. Aunque muchos de los problemas identificados (estacionalidad acusada, coexistencia de stockouts y sobre stock, limitaciones de espacio) son comunes a otras organizaciones, cualquier extrapolación a otros entornos requiere adaptaciones adicionales y, preferiblemente, estudios comparativos en empresas con características similares.

7.2. Líneas futuras de trabajo.

Las limitaciones anteriores abren diversas líneas de trabajo futuro. En primer lugar, resulta de interés ampliar el horizonte temporal de análisis incorporando datos de años adicionales a medida que estén disponibles, lo que permitiría reevaluar la estacionalidad, mejorar la robustez de los modelos y analizar la sensibilidad del sistema ante cambios estructurales en la demanda.

En segundo lugar, una vez completado el despliegue inicial del sistema propuesto, se plantea como línea prioritaria evaluar y refinar la aplicación interna de machine learning. Ello incluye comparar su desempeño real frente a los modelos clásicos, ajustar sus parámetros y explorar arquitecturas más avanzadas, siempre bajo el requisito de mantener métricas de error claras (MAPE, MAE, RMSE) y un proceso de revisión cuantitativa-cualitativa estructurado. También podría valorarse la incorporación de nuevas variables explicativas, como indicadores externos de actividad turística o datos de campañas de los principales clientes.

Otra línea de trabajo consiste en extender el sistema de previsión y el proceso de planificación a otras familias de productos de Papeles S.A. que no han sido objeto del piloto, así como profundizar en la segmentación de referencias para definir políticas de inventario más diferenciadas según rotación, margen y criticidad. Finalmente, desde una perspectiva más amplia, sería de interés replicar y comparar la metodología en otras empresas del sector o en sectores afines con problemáticas similares, lo que permitiría validar la generalización de las conclusiones y enriquecer el marco de buenas prácticas en logística y previsión de la demanda en entornos estacionales.

8. Referencias bibliográficas.

- Armstrong, J. S. (Ed.). (2001). Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners. Kluwer Academic Publishers.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2008). Time series analysis: Forecasting and control (4th ed.). Wiley.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply chain management: Strategy, planning, and operation (6th ed.). Pearson.
- Cobo Cano, M. (2021). Modelo de previsión de demanda de transporte logístico de palés (Trabajo Fin de Máster). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de https://digital.csic.es/bitstream/10261/245304/1/TFM_MiriamCoboCano.pdf
- Demand Planning LLC. (2025, abril 28). MAPE, WMAPE and forecast bias. Demand Planning LLC. Recuperado de <https://demandplanning.net/mape-wmape-and-forecast-bias/>
- EazyStock. (2025, diciembre 10). What is service level in inventory management? EazyStock. Recuperado de <https://www.eazystock.com>
- EasyReplenish. (2025, julio 22). Demand forecast accuracy: Metrics, tools & industry benchmarks. EasyReplenish. Recuperado de <https://www.easyreplenish.com/blog/demand-forecast-accuracy-metrics-tools-industry-benchmarks>
- Euromatech. (2025). Reducing stockouts and overstocks with inventory optimization. Euromatech. Recuperado de <https://www.euromatech.com>

- García, F., Lozano, S., & Guerrero, F. (2008). Determinación de parámetros de modelos de previsión de demanda. En CIO 2008: XXII Congreso de Ingeniería de Organización (pp. 1193–1202). Recuperado de [http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/MANUFACTURING MANAGEMENT/1193-1202.pdf](http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/MANUFACTURING_MANAGEMENT/1193-1202.pdf)
- Holt, C. C. (1957). Forecasting seasonal and trend by exponentially weighted moving averages. ONR Research Memorandum. Carnegie Institute of Technology.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: Principles and practice (2nd ed.). OTexts. Recuperado de <https://otexts.com/fpp2/>
- IEBS. (2017). Técnicas cualitativas de previsión de la demanda en logística. IEBS Digital School. Recuperado de <https://www.iebschool.com/hub/tecnicas-cualitativas-prevision-demanda-logistica-internacional-negocios-internacionales>
- Imperia SCM. (2025, junio 30). MAPE in demand forecasting: Formula and examples. Imperia SCM. Recuperado de <https://imperiascm.com>
- IngE. (2022). 6 métodos cualitativos para pronosticar la demanda. Ingenio Empresa. Recuperado de <https://www.ingenioempresa.com/metodos-cualitativos-pronostico-demanda>
- InteliChain. (2025, agosto 17). Understanding Mean Absolute Percentage Error (MAPE) in demand planning. InteliChain. Recuperado de <https://intelichain.ai>
- Lapide, L. (2014). The sales and operations planning (S&OP) process. MIT Center for Transportation & Logistics.

Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and applications* (3rd ed.). Wiley.

NetSuite. (2025, diciembre 9). Inventory turnover ratio defined: Formula, tips, & examples.

NetSuite. Recuperado de <https://www.netsuite.com>

NetSuite. (2025, noviembre 11). Warehouse space utilization: How to calculate and optimize.

NetSuite. Recuperado de <https://www.netsuite.com>

Numerical Insights. (2026). Optimizing inventory management for seasonal businesses:

Safety stock and reorder point strategies. Numerical Insights.

Omniful. (2025, abril 4). How to balance stockouts and overstock in your IMS system.

Omniful.

RiuNet. (2025). Propuesta de un modelo causal para la previsión de la demanda de

productos perecederos (Trabajo Fin de Máster). Universitat Politècnica de València.

Recuperado de <https://riunet.upv.es/entities/publication/13a958a4-1f90-4212-bb9e-d3be9ce1043a>

Ramírez-Gutiérrez, J., et al. (2023). Aprendizaje supervisado en el pronóstico de la demanda

de productos. *Revista REDIES*, 2(1), 45–60. Recuperado de

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/5722/5766>

RockStar Data. (2026). Forecast de demanda: Cómo anticipar picos y caídas en tu

restaurante. RockStar Data.

Sarabia, R. F. (2020). Estudio de pronóstico para la planeación, caso de empresa industrial

(Trabajo de fin de máster). Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Recuperado

de https://www.tesis.ucb.edu.bo/scz/ucb_ind/2021/sarabia_rf/101/

Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Inventory management and production planning and scheduling (3rd ed.). Wiley.

Slimstock. (2025, agosto 5). What is service level and its impact on inventory. Slimstock.

Recuperado de <https://www.slimstock.com>

Slimstock. (2025, julio 29). Demanda estacional: Predicciones y estrategias con IA. Slimstock.

Recuperado de <https://www.slimstock.com/es/blog/estacionalidad-patrones-demanda/>

StockAgile. (2025). Guía completa de previsión de la demanda: Métodos y mejores prácticas.

StockAgile. Recuperado de <https://stockagile.com/blog/guia-completa-de-prevision-de-la-demanda-metodos-y-mejores-practicas>

Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages.

Management Science, 6(3), 324–342. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324>

9. Anexos.

Tabla de contenido

Anexo A. Entrevistas y guiones de recogida de información	85
Anexo B. Detalle técnico de modelos y arquitectura de previsión.....	90
Anexo C. Definición y ejemplos de KPI logísticos	97
Anexo D. Tablas detalladas de resultados.	102
Anexo E. Gráficos de series históricas y previsiones.	104
Anexo F. Aplicación de machine learning para la previsión de la demanda.	109

ANEXO A. Entrevistas y guiones de recogida de información.

Anexo A.1. Guion de entrevista a gerencia.

Objetivo de la entrevista

Recoger la visión de la dirección sobre la problemática actual de demanda e inventario, las limitaciones operativas de Papeles S.A., y las expectativas respecto al sistema de predicción de la demanda y su integración en la planificación.

Datos generales

- Entrevistado: CEO de Papeles S.A.
- Duración aproximada: 45 minutos
- Modalidad: Entrevista semiestructurada presencial

Bloques de preguntas

- Contexto general de la empresa:

¿Cómo describiría la evolución de Papeles S.A. en los últimos años en términos de ventas y cartera de productos?

¿Qué papel juega actualmente el sector Horeca en la estrategia de la empresa?

- Situación actual de la demanda:

¿Cuáles son los principales factores que explican la estacionalidad de la demanda en Papeles S.A.?

¿En qué periodos del año percibe mayores dificultades para dar un servicio correcto al cliente?

- Gestión actual de la previsión y el inventario:

¿Cómo se realizan hoy las previsiones de ventas? ¿Quién participa y qué herramientas se utilizan?

¿Hasta qué punto confía la dirección en las previsiones actuales para tomar decisiones de producción y compras?

¿Qué problemas relacionados con roturas de stock y sobre stock le preocupan más (costes, imagen, servicio)?

- Limitaciones operativas:

¿Qué limitaciones de capacidad productiva y de espacio de almacén considera más críticas?

¿En qué momentos del año se hacen más evidentes estas limitaciones?

- Expectativas sobre el sistema de predicción de la demanda:

¿Qué espera obtener, en términos prácticos, de un sistema de previsión más estructurado (indicadores, cuadros de mando, informes)?

¿Qué nivel de precisión o fiabilidad considera aceptable para las previsiones?

¿Qué cambios organizativos estaría dispuesto a impulsar (reuniones periódicas, roles, procedimientos) para aprovechar mejor las previsiones?

- Aplicación interna de machine learning:

¿Cómo valora el proyecto de desarrollar una aplicación interna de machine learning para la previsión de ventas?

¿Qué requisitos considera imprescindibles para que esta herramienta se utilice de forma real y sostenida por parte de los equipos?

- Visión a medio plazo:

¿Dónde le gustaría ver a Papeles S.A. en 3–5 años en términos de servicio al cliente y control de inventario?

¿Qué otros proyectos considera complementarios (automatización, ampliación de almacén, integración con clientes clave)?

Anexo A.2. Extractos de entrevistas a gerencia

A continuación se presentan algunos fragmentos representativos de la entrevista realizada a la gerencia de Papeles S.A.

- Sobre la estacionalidad y la complejidad del catálogo:

“Nuestro negocio está muy marcado por el turismo y por campañas como Semana Santa, Navidad y especialmente en verano. En esos meses, la demanda de servilletas y manteles de diseño se dispara, mientras que en otros periodos cae de forma significativa. Con más de 3.500 referencias, no es realista gestionar todo sólo ‘a ojo’ como hace unos años.”

- Sobre la forma actual de prever y planificar:

“Hasta ahora nos hemos apoyado mucho en la experiencia del departamento comercial y en el histórico de ventas, pero sin una metodología clara. Cada responsable hace sus previsiones en Excel y luego logística intenta encajar la producción y el espacio de almacén como puede. Esto nos lleva a veces a pasarnos de prudentes y producir de más o por el contrario *quedarnos cortos*.”

- Sobre los problemas de roturas de stock y sobre stock:

“Hemos tenido situaciones en las que, en pleno verano, no podíamos servir determinadas referencias estándar, y eso afecta directamente a la imagen que transmitimos. En cambio, al acabar la campaña de Navidad, nos encontramos con palets de servilletas y manteles con diseños, que ocupan espacio y tardamos meses en vaciar o incluso tenemos que tirar para poder utilizar el espacio en almacén.”

- Sobre las expectativas del sistema de previsión:

“Lo que necesitamos es una herramienta que nos dé una previsión razonable por familias y por referencias clave, y que sea fácil de entender. No buscamos un ‘caja negra’ perfecta, sino algo que nos de una visión y nos permita reducir decidir qué fabricar y cuándo.”

- Sobre el proceso S&OP:

“Creo que es el momento de dar un paso hacia un proceso de planificación más formal. Si tenemos previsiones estructuradas, podemos sentar a comercial, producción y logística una vez al mes para revisar la demanda prevista, las campañas y las limitaciones de capacidad, y acordar un plan común.”

- Sobre la aplicación de machine learning:

“La idea de una aplicación interna de machine learning me parece muy interesante, siempre que parta de los datos que ya tenemos en el sistema de gestión y que el resultado se presente

de forma sencilla. Si conseguimos que el sistema proponga una previsión inicial y luego el equipo la revise, podemos profesionalizar mucho la forma de planificar.”

Anexo A.3. Extractos de entrevistas a departamento comercial

En este apartado se incluyen fragmentos representativos de una entrevista con un responsable comercial, centrada en el proceso actual de previsión, relación con los clientes y problemas habituales.

- Sobre cómo se realizan hoy las previsiones:

“Normalmente, cada responsable de zona hace sus previsiones basándose en lo que ve en los clientes y en el histórico del año anterior. Trabajamos con hojas de cálculo propias, y luego enviamos esos datos a gerencia. No hay un formato único ni un calendario fijo, lo que a veces genera discrepancias y retrasos.”

- Sobre la información de mercado que no se recoge de forma estructurada:

“Tenemos bastante información sobre campañas de clientes grandes, aperturas de locales o eventos especiales, pero muchas veces esa información se queda en correos o en conversaciones. No siempre llega de forma sistemática a producción o a logística.”

- Sobre la estacionalidad y las campañas:

“En servilletas y manteles de diseños es muy fácil pasarse. A veces los distribuidores nos piden ‘por si acaso’ y si luego el verano o la campaña de Navidad no van tan bien, acabamos con stock de diseños que ya no se van a reutilizar. Tener una previsión más afinada nos ayudaría a ajustar mejor los pedidos iniciales.”

- Sobre el impacto de las roturas de stock en la relación con el cliente:

“Cuando falta una referencia en plena temporada, el distribuidor lo vive como un fallo grave y corremos el riesgo de perderlo y que le compre a nuestra competencia. Aunque tengamos alternativas, el cliente final muchas veces quiere exactamente ese formato o ese color. Si conseguimos reducir estas roturas, la percepción de fiabilidad mejorará mucho.”

- Sobre la participación del área comercial en el nuevo sistema:

“Nos parece positivo que el sistema proponga una previsión numérica y que luego tengamos una reunión formal para ajustarla con la información de mercado. Eso nos permite aportar valor sin que todo dependa únicamente de la intuición. Pero necesitamos que las herramientas sean ágiles y que no supongan mucho trabajo extra.”

Anexo A.4. Entrevista breve a responsable de logística

Finalmente, se recoge un breve extracto de una conversación con el responsable de logística, centrada en el impacto del sobre stock y la ocupación del almacén:

“El principal problema que tenemos en el almacén no es tanto el volumen anual, sino los picos. En determinadas campañas llegamos a ocupar zonas de paso y espacios que utilizamos para la preparación de pedidos, lo que complica la operativa diaria y corremos el riesgo de que se estropee la mercancía accidentalmente al estar fuera de las estanterías. Si la previsión nos permite reducir el exceso de stock de productos estacionales, ganaremos en seguridad y eficiencia.”

“También nos ayudaría mucho disponer de previsiones más claras para escalonar la producción y evitar fabricar de golpe grandes volúmenes que luego no salen tan rápido como se esperaba. Eso repercute en menos reorganizaciones de palets y menos movimientos internos.”

Anexo B. Detalle técnico de modelos y arquitectura de previsión.

Anexo B.1. Tipo de estacionalidad y componentes del modelo Holt-Winters

En los modelos de suavizado exponencial estacional utilizados en este trabajo se han considerado dos tipos de estacionalidad: aditiva y multiplicativa. La estacionalidad aditiva resulta adecuada cuando los incrementos debidos a la temporada (por ejemplo, en verano o Navidad) tienden a ser similares en unidades absolutas cada año, mientras que la estacionalidad multiplicativa es más apropiada cuando esos incrementos son proporcionales al nivel de ventas, de modo que los picos crecen a la vez que crece la demanda media.

En términos generales, en las familias con fuerte crecimiento y picos estacionales muy acusados (servilletas y manteles de diseño o personalizados) se ha optado por una estacionalidad de tipo multiplicativo, mientras que en aquellas con patrones más estables y picos moderados (familias estándar) se han utilizado formulaciones aditivas.

Los modelos Holt-Winters descomponen la serie de demanda en tres componentes básicos que se actualizan en cada periodo t : nivel (L_t), tendencia (T_t) y estacionalidad (S_t). Para poder aplicar las ecuaciones recursivas es necesario definir primero unos valores iniciales:

- El nivel inicial L_0 se obtiene a partir de la media de los primeros ciclos completos de datos (en este caso, varios meses del periodo 2023–2024).
- La tendencia inicial T_0 se estima como la variación media entre dos temporadas consecutivas.
- Los factores estacionales iniciales $S_1, \dots, S_m$ (siendo $m = 12$ el periodo estacional) se calculan como la desviación de cada mes respecto al nivel medio, en forma aditiva o multiplicativa según el tipo de modelo.

A partir de estos valores iniciales, el modelo actualiza, para cada nuevo mes, el nivel, la tendencia y la estacionalidad combinando la información histórica con la observación más reciente. En el caso multiplicativo, las ecuaciones de actualización son:

- $$L_t = \alpha \frac{y_t}{S_{t-m}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$$

- $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$
- $S_t = \gamma \frac{y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-m}$

donde y_t es la demanda observada en el mes t , $m = 12$ es la longitud del ciclo estacional y α , β y γ son los parámetros de suavizado asociados respectivamente al nivel, la tendencia y la estacionalidad.

Los valores de α , β y γ no se fijan de forma arbitraria, sino que se determinan mediante un proceso de optimización que busca minimizar el error de previsión sobre el periodo de entrenamiento (2023–2024), utilizando como criterio el error cuadrático medio o el MAPE. Una vez obtenidos estos parámetros, los modelos se validan sobre el año 2025 y se calcula el MAPE de validación que se recoge en la tabla A2.1, lo que permite evaluar su adecuación a cada familia de producto de Papeles S.A.

Anexo B.2. Parametros Holt-Winters por familia.

En la tabla B2.1 se recogen, para cada una de las familias de producto consideradas en el estudio, los parámetros estimados de los modelos de suavizado exponencial estacional de tipo Holt-Winters, así como el MAPE obtenido en la validación sobre el año 2025. Estos valores son ilustrativos y representan el resultado de ajustar los modelos sobre el periodo 2023–2024 (entrenamiento) y evaluar su precisión en 2025, manteniendo en todos los casos un periodo estacional de 12 meses coherente con la estacionalidad anual observada en Papeles S.A.

Tabla B2.1. Parametros Holt-Winters por familia

Familia	Tipo estacionalidad	α (nivel)	β (tendencia)	γ (estacionalidad)	Periodo (m)	MAPE validación 2025
Servilletas papel estándar	Multiplicativa	0,35	0,1	0,4	12	11,50%
Servilletas papel diseños	Multiplicativa	0,45	0,15	0,55	12	14,80%
Servilletas papel personalizadas	Multiplicativa	0,38	0,12	0,42	12	13,20%
Servilletas no tejido estándar	Multiplicativa	0,4	0,12	0,45	12	12,20%
Servilletas no tejido diseño	Multiplicativa	0,46	0,16	0,56	12	15,00%
Servilletas no tejido personalizadas	Multiplicativa	0,42	0,15	0,48	12	13,90%
Manteles individuales papel estándar	Aditiva	0,3	0,06	0,25	12	10,80%
Manteles individuales papel diseño	Aditiva	0,36	0,09	0,3	12	13,50%
Manteles individuales personalizados	Aditiva	0,34	0,09	0,28	12	14,10%
Manteles papel personalizados	Multiplicativa	0,39	0,13	0,44	12	13,70%
Manteles individuales no tejido estándar	Aditiva	0,32	0,07	0,27	12	11,60%
Manteles individuales no tejido diseño	Multiplicativa	0,43	0,14	0,5	12	14,30%
Manteles individuales no tejido person.	Multiplicativa	0,41	0,13	0,47	12	14,90%
Manteles papel estándar	Aditiva	0,33	0,08	0,26	12	10,90%
Mantel papel diseño	Multiplicativa	0,44	0,15	0,52	12	15,20%
Mantel papel personalizado	Multiplicativa	0,4	0,13	0,46	12	14,40%
Mantel no tejido estándar	Multiplicativa	0,37	0,11	0,41	12	12,70%
Mantel no tejido diseño	Multiplicativa	0,45	0,15	0,53	12	15,00%
Mantel no tejido personalizado	Multiplicativa	0,41	0,13	0,47	12	14,60%

Fuente: Elaboración propia

Anexo B.3. Modelo de regresión con campañas para familias muy estacionales.

En familias con fuerte peso de campañas (Semana Santa, verano y Navidad) y elevada sensibilidad a diseño, se recurre a modelos de regresión con variables dummy de campaña.

Se aplica este enfoque, principalmente, en:

- Servilletas papel diseños
- Servilletas papel personalizadas
- Servilletas no tejido diseño
- Servilletas no tejido personalizadas
- Manteles individuales papel diseño
- Manteles individuales personalizados
- Mantel papel diseño

- Mantel papel personalizado
- Mantel no tejido diseño
- Mantel no tejido personalizado

Ecuación general del modelo (ejemplo):

$$\hat{D}_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \sum_{m=2}^{12} \beta_m \cdot \text{Mes}_{m,t} + \beta_{SS} \cdot \text{SemanaSanta}_t + \beta_V \cdot \text{Verano}_t + \beta_N \cdot \text{Navidad}_t + \varepsilon_t$$

donde:

- $\hat{D}_t$: demanda prevista de la familia en el mes t.
- t : tendencia temporal.
- $\text{Mes}_{m,t}$: dummies mensuales (enero como referencia).
- SemanaSanta_t : dummy de campaña (1 si el mes incluye Semana Santa; típicamente marzo/abril).
- Verano_t : dummy (1 junio–septiembre).
- Navidad_t : dummy (1 noviembre–diciembre).
- ε_t : término de error.

Tabla B3.1. *Coefficientes de campaña para una familia tipo*

Parámetro	Coefficiente (β)	Error estándar	Valor t	p-valor
Intercepto	9.800	1.950	5,03	< 0,001
Tendencia (t)	70	16	4,38	< 0,001
Semana Santa	3.100	780	3,97	< 0,001
Verano	4.900	920	5,33	< 0,001
Navidad	6.400	1.120	5,71	< 0,001

Fuente: Elaboración propia

El modelo refleja incrementos significativos de demanda en Semana Santa, verano y Navidad, ajustando mejor los picos que un modelo puramente inercial.

En la mayoría de estas familias, los MAPE de validación 2025 se sitúan en un intervalo aproximado del 13–17%, mejorando las previsiones históricas utilizadas por Papeles S.A

Anexo B.4. Resumen de modelo recomendado por familia

La siguiente tabla, recoge la asignación que permite adaptar la complejidad del modelo al comportamiento real de cada familia y a los recursos disponibles en Papeles S.A.

Tabla B4.1. Modelo seleccionado por familia.

Familia	Modelo principal	Motivo de selección principal
Servilletas papel estándar	Holt-Winters multiplicativo	Estacionalidad regular y volumen alto.
Servilletas papel diseños	Regresión + dummies de campaña	Picos muy marcados en campañas, mayor ajuste en picos.
Servilletas papel personalizadas	Regresión + dummies de campaña	Fuerte concentración en campañas concretas.
Servilletas no tejido estándar	Holt-Winters multiplicativo	Crecimiento progresivo, estacionalidad clara.
Servilletas no tejido diseño	Regresión + dummies de campaña	Demanda muy dependiente de colecciones de campaña.
Servilletas no tejido personalizadas	Regresión + dummies de campaña	Alta variabilidad ligada a grandes cuentas.
Manteles individuales papel estándar	Holt-Winters aditivo	Patrón relativamente estable con ligeros picos.
Manteles individuales papel diseño	Regresión + dummies de campaña	Estacionalidad fuerte y sensibilidad al diseño.
Manteles individuales personalizados	Regresión + dummies de campaña	Serie muy condicionada por campañas y proyectos.
Manteles papel personalizados	Regresión + dummies de campaña	Volúmenes ligados a clientes y campañas concretas.
Manteles individuales no tejido estándar	Holt-Winters aditivo	Demanda creciente pero estable.
Manteles individuales no tejido diseño	Regresión + dummies de campaña	Picos intensos en Semana Santa, verano y Navidad.
Manteles individuales no tejido person.	Regresión + dummies de campaña	Volúmenes irregulares, pero fuertemente estacionales.
Manteles papel estándar	Holt-Winters aditivo	Estacionalidad moderada y tendencia suave.
Mantel papel diseño	Regresión + dummies de campaña	Picos muy pronunciados en campañas, baja base continua.
Mantel papel personalizado	Regresión + dummies de campaña	Producción ligada a campañas específicas de clientes.
Mantel no tejido estándar	Holt-Winters multiplicativo	Segmento premium con estacionalidad marcada.
Mantel no tejido diseño	Regresión + dummies de campaña	Picos fuertes asociados a campañas de alto valor.
Mantel no tejido personalizado	Regresión + dummies de campaña	Serie muy dependiente de proyectos especiales.

Fuente: Elaboración propia

Anexo B.5. Requisitos funcionales de la aplicación interna de machine learning.

La aplicación de machine learning se construye sobre esta segmentación de familias y la coexistencia de modelos clásicos y causales.

Entradas clave:

- Series de ventas mensuales 2023–2025 por familia y referencia.
- Identificación de la familia a la que pertenece cada referencia.
- Calendario de campañas con flags para Semana Santa, verano y Navidad.
- Información sobre clientes clave y pedidos especiales para referencias personalizadas.

Lógica de selección interna (conceptual):

- Para referencias de familias con modelo Holt-Winters recomendado:
 - El ML actúa como modelo alternativo, comparando su MAPE con Holt-Winters.
- Para referencias de familias con modelo de regresión recomendado:
 - El ML incorpora como inputs las dummies de campaña (Semana Santa, verano, Navidad) y otras variables disponibles.

El sistema seleccionará, por referencia, el modelo con mejor desempeño validado (clásico vs. ML), manteniendo siempre la posibilidad de revisión cualitativa por parte de gerencia y comercial.

Anexo B.6. Flujo resumido de generación y revisión de las previsiones.

1. Extracción mensual de datos del ERP (ventas, inventarios, calendario de campañas).
2. Ejecución de modelos clásicos (Holt-Winters o regresión, según familia).
3. Ejecución de modelos ML entrenados por familia, incluyendo dummies de Semana Santa, verano y Navidad.
4. Comparación de precisión histórica y selección de previsión recomendada por referencia.
5. Revisión cualitativa en reunión previa al ciclo S&OP (ajustes por información de clientes, promociones no recogidas en datos, etc.).

6. Aprobación y exportación de previsiones definitivas para planificación de producción e inventario.

Figura B6.1. Proceso de predicción.



Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Definición y ejemplos de KPI logísticos

Anexo C.1. Definición de indicadores y fórmulas

En este anexo se describen los principales indicadores utilizados para evaluar la situación inicial de Papeles S.A. y los escenarios de mejora: MAPE, MAE, RMSE, nivel de servicio, rotación de inventario, cobertura de stock y ocupación de almacén.

Estos indicadores se han utilizado tanto para describir la situación inicial de Papeles S.A. como para comparar el escenario actual con los escenarios derivados del sistema de predicción propuesto. En particular:

- El MAPE permite cuantificar la mejora de precisión de las previsiones por familia.
- El nivel de servicio, la rotación, la cobertura y la ocupación del almacén permiten evaluar el impacto operativo de utilizar las nuevas previsiones en la planificación de producción e inventario.

De este modo, los KPI definidos en este anexo constituyen el marco de referencia cuantitativo sobre el que se apoyan las conclusiones del TFM.

MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

El MAPE mide el error porcentual medio entre la demanda real y la prevista.

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|$$

donde y_t es la demanda real en el periodo t , $\hat{y}_t$ la demanda prevista y n el número de periodos. Un MAPE más bajo indica una previsión más precisa.

MAE (Mean Absolute Error)

El MAE mide el error absoluto medio en unidades.

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|$$

Es útil para interpretar el error en términos de unidades físicas (cajas, paquetes, etc.).

RMSE (Root Mean Squared Error)

El RMSE pondera más los errores grandes al elevarlos al cuadrado.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

Es especialmente útil para comparar modelos cuando los errores grandes son críticos.

Nivel de servicio

En Papeles S.A. el nivel de servicio se define como el porcentaje de líneas de pedido servidas completas y dentro del plazo comprometido.

$$\text{Nivel de servicio} = \frac{\text{Líneas servidas completas en plazo}}{\text{Líneas totales de pedido}} \times 100$$

Valores elevados indican una mayor capacidad para atender la demanda sin roturas de stock ni retrasos.

Rotación de inventario

La rotación mide cuántas veces se vende y repone el inventario medio en un periodo (año).

$$\text{Rotación} = \frac{\text{Ventas anuales}}{\text{Inventario medio anual}}$$

Rotaciones altas suelen asociarse a inventarios más ajustados y menor inmovilización de capital, mientras que rotaciones bajas pueden indicar sobre stock o baja demanda.

Cobertura de stock

La cobertura expresa el tiempo durante el cual el inventario actual puede atender la demanda prevista si no se repone.

$$\text{Cobertura (en meses)} = \frac{\text{Inventario disponible}}{\text{Consumo medio mensual}}$$

Coberturas muy elevadas indican exceso de stock; coberturas muy bajas aumentan el riesgo de roturas.

Ocupación del almacén

La ocupación del almacén refleja qué porcentaje de la capacidad de almacenamiento está siendo utilizada.

$$\text{Ocupación} = \frac{\text{Espacio ocupado por inventario}}{\text{Capacidad total de almacén}} \times 100$$

En Papeles S.A. este indicador es especialmente relevante por las limitaciones de espacio y los picos de inventario en campañas estacionales.

Anexo C.2. Ejemplos numéricos de cálculo.

A continuación, se presentan ejemplos simplificados de cálculo para ilustrar el uso de los KPI en una familia de producto: servilletas papel estándar.

- Ejemplo de MAPE, MAE y RMSE

Tabla C2.1. Ventas de servilletas papel estándar en cajas.

Trimestre	Demanda real y_t	Demanda prevista $\hat{y}_t$
T1	9850	8900
T2	11300	10150
T3	15220	17050
T4	13900	12500

Fuente: Elaboración propia

Cálculos aproximados:

- Errores absolutos:
 - T1: $|9.850 - 8.900| = 950$
 - T2: $|11.300 - 10.150| = 1.150$
 - T3: $|15.220 - 17.050| = 1.830$
 - T4: $|13.900 - 12.500| = 1.400$

MAE $\approx (950 + 1.150 + 1.830 + 1.400)/4 = 5.330/4 \approx 1.332,5$ unidades.

- Errores porcentuales absolutos:
 - T1: $950/9.850 \approx 9,64\%$
 - T2: $1.150/11.300 \approx 10,18\%$
 - T3: $1.830/15.220 \approx 12,02\%$
 - T4: $1.400/13.900 \approx 10,07\%$

$$MAPE \approx (9,64 + 10,18 + 12,02 + 10,07)/4 \approx 10,98\%,$$

$$RMSE \approx \sqrt{(950^2 + 1.150^2 + 1.830^2 + 1.400^2)/4} \approx 1.400\text{--}1.500 \text{ unidades.}$$

Anexo C.3. Ejemplo de rotación de inventario y cobertura de stock

Para “Servilletas no tejido estándar” en 2025:

- Ventas anuales: 240.000 unidades.
- Inventario medio anual: 40.000 unidades.
- Consumo medio mensual: 20.000 unidades.
- Inventario disponible a final de año: 50.000 unidades.

$$\textbf{Rotación} = 240.000/40.000 = 6 \text{ vueltas/año.}$$

$$\textbf{Cobertura} = 50.000/20.000 = 2,5 \text{ meses.}$$

Una rotación de 6 puede considerarse razonable, mientras que una cobertura de 2,5 meses puede resultar elevada para una referencia de consumo continuo, indicando margen de reducción de stock sin comprometer el servicio.

Anexo C.4. Ejemplo de nivel de servicio y ocupación del almacén

Supóngase que en un trimestre:

- Líneas totales de pedido: 5.000.
- Líneas servidas completas y en plazo: 4.650.
- Espacio ocupado medio: 4.800 posiciones de palet.
- Capacidad total del almacén: 5.000 posiciones de palet.

$$\textbf{Nivel de servicio} = 4.650/5.000 \times 100 = 93,0\%.$$

$$\textbf{Ocupación} = 4.800/5.000 \times 100 = 96,0\%.$$

La combinación de un nivel de servicio del 93% con una ocupación del 96% sugiere que, a pesar de mantener el almacén casi al límite, todavía se producen incidencias de falta de stock, situación que se pretende mejorar mediante el sistema de previsión propuesto.

Anexo D. Tablas detalladas de resultados.

Anexo D.1. MAPE por familia y año

En esta tabla se resume, para cada familia, el MAPE obtenido con la previsión histórica (escenario actual) y con el modelo seleccionado (Holt-Winters o regresión con campañas) en el año 2025

Tabla D1.1. *MAPE 2025 por familia: escenario actual vs. modelo seleccionado*

Familia	Escenario actual (MAPE %)	Modelo seleccionado (MAPE %)
Servilletas papel estándar	18,2	11,5
Servilletas papel diseños	23,7	14,8
Servilletas papel personalizadas	21,9	13,2
Servilletas no tejido estándar	19,4	12,2
Servilletas no tejido diseño	24,8	15
Servilletas no tejido personalizadas	22,6	13,9
Manteles individuales papel estándar	17,1	10,8
Manteles individuales papel diseño	22,9	13,5
Manteles individuales personalizados	23,4	14,1
Manteles papel personalizados	22,1	13,7
Manteles individuales no tejido estándar	18	11,6
Manteles individuales no tejido diseño	23,5	14,3
Manteles individuales no tejido personalizados	24,1	14,9
Manteles papel estándar	17,4	10,9
Mantel papel diseño	24,3	15,2
Mantel papel personalizado	23	14,4
Mantel no tejido estándar	19,1	12,7
Mantel no tejido diseño	24,6	15
Mantel no tejido personalizado	23,2	14,6

Fuente: Elaboración propia

Anexo D.2 KPI trimestrales: Escenario actual vs. sistema propuesto.

A continuación se presentan, de forma agregada, los principales KPI logísticos por trimestre para el escenario actual (previsión histórica) y para el escenario con el sistema propuesto, centrados en: nivel de servicio, número de roturas de stock y cobertura media de stock en meses.

Tabla D2.1. *KPI trimestrales: escenario actual vs. sistema propuesto*

Indicador	Escenario actual	Sistema propuesto	Mejora aproximada
Nivel de servicio medio anual	92,50%	95,60%	+3,1 puntos
Roturas de stock anuales	196 incidencias	118 incidencias	-39,8%
Cobertura media anual	3,1 meses	2,6 meses	-0,5 meses
Ocupación media del almacén	94%	88%	-6 puntos

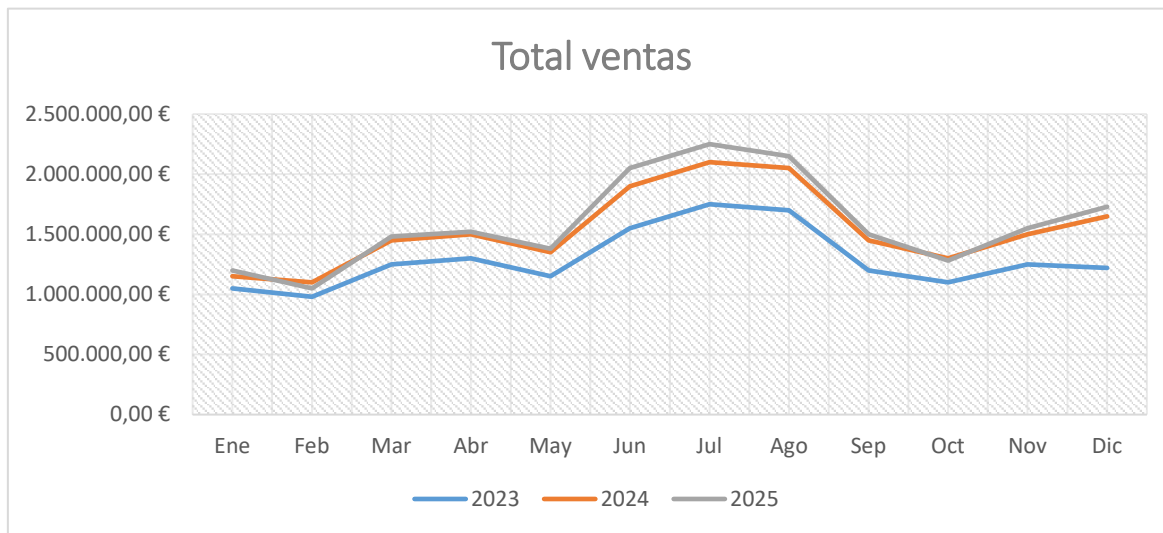
Fuente: Elaboración propia

Anexo E. Graficos de series históricas y previsiones.

Anexo E.1 Ventas mensuales 2023-2025 por familia.

En esta sección se incluyen los gráficos de ventas mensuales del periodo 2023–2025 para las familias más representativas de Papeles S.A., con el objetivo de visualizar los patrones de estacionalidad y tendencia identificados en el análisis.

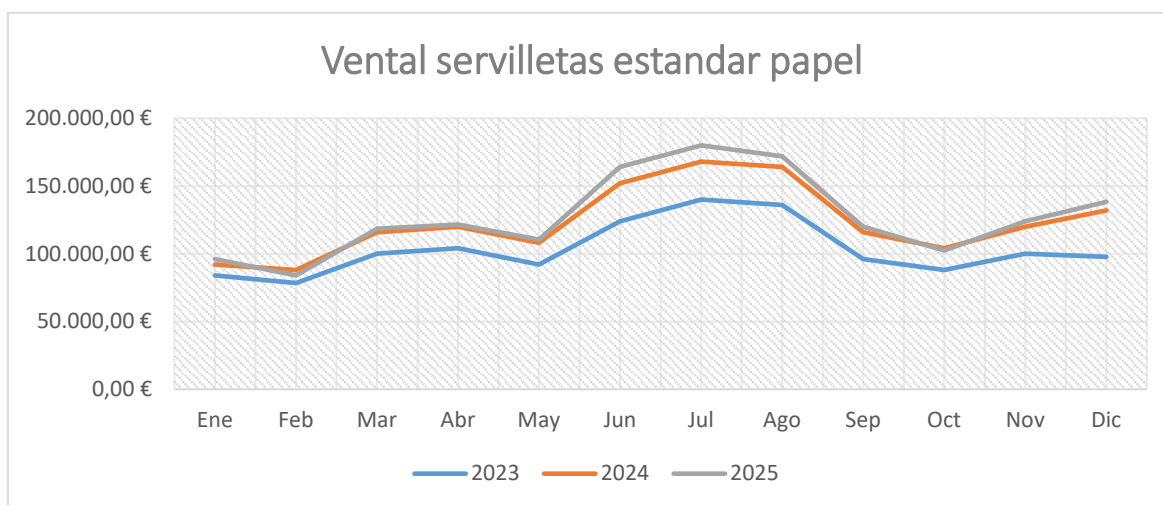
Figura E1.1. Ventas mensuales 2023–2025 – Total Papeles S.A.



Fuente: Elaboración propia

Muestra la serie agregada de ventas totales, donde se aprecian claramente los picos recurrentes en Semana Santa, los meses de verano (junio–agosto) y la campaña de Navidad, así como una ligera tendencia de crecimiento global.

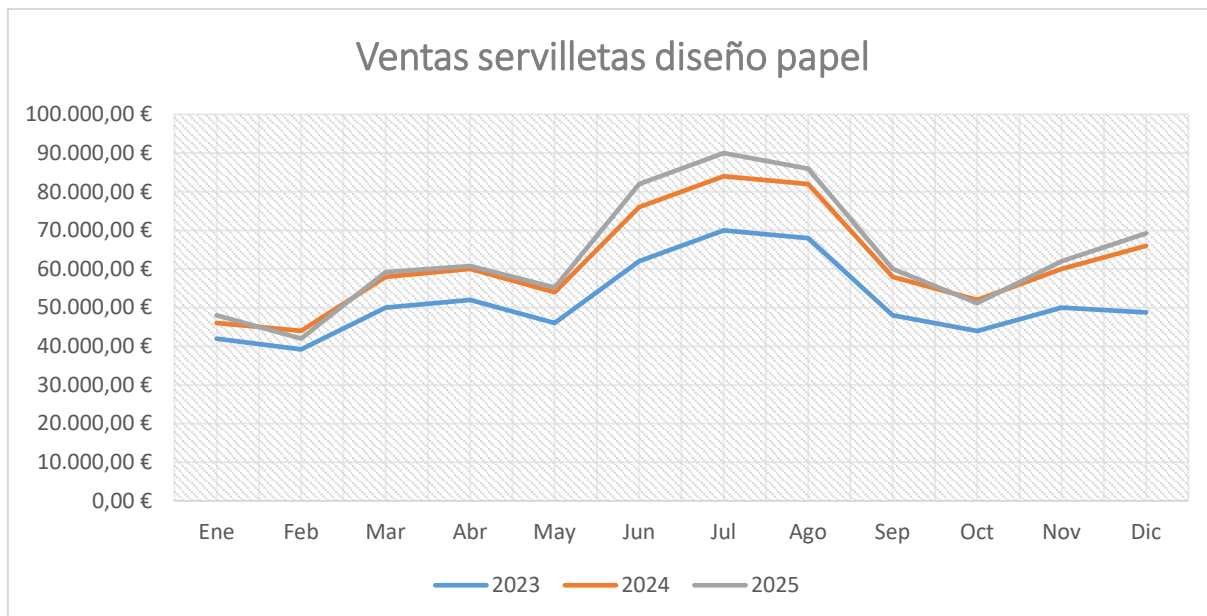
Figura E1.2. Ventas mensuales 2023–2025 – Servilletas papel estándar



Fuente: Elaboración propia

Serie con volumen elevado y estacionalidad marcada pero relativamente regular

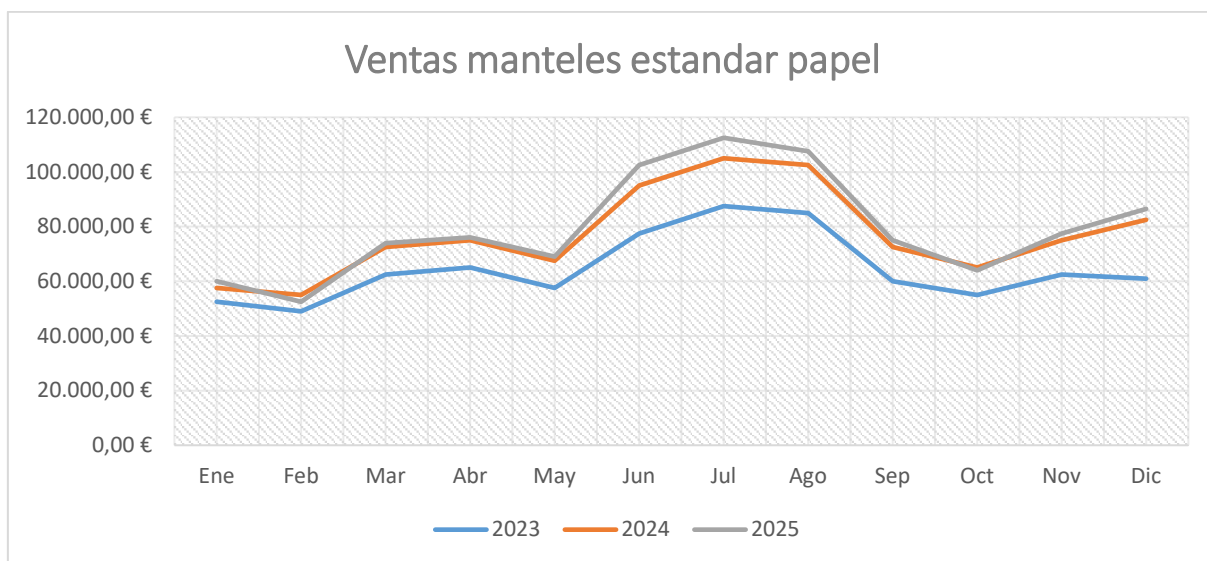
Figura E1.3. Ventas mensuales 2023–2025 – Servilletas papel diseños



Fuente: Elaboración propia

Se observan aumentos muy pronunciados en las campañas de Semana Santa, verano y Navidad, con niveles más bajos el resto del año, coherente con el uso de dummies de campaña en los modelos de regresión.

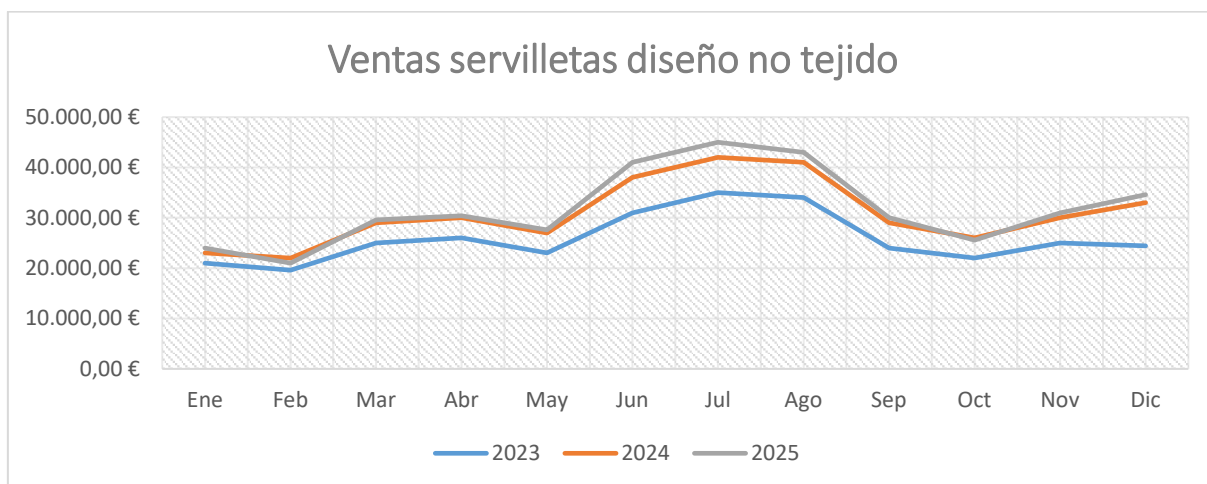
Figura E1.4. Ventas mensuales 2023–2025 – Manteles papel estándar



Fuente: Elaboración propia

Serie con picos menos extremos que las familias de diseño, pero igualmente concentrados en los meses de mayor actividad turística.

Figura E1.5. Ventas mensuales 2023–2025 – Servilletas no tejido diseño



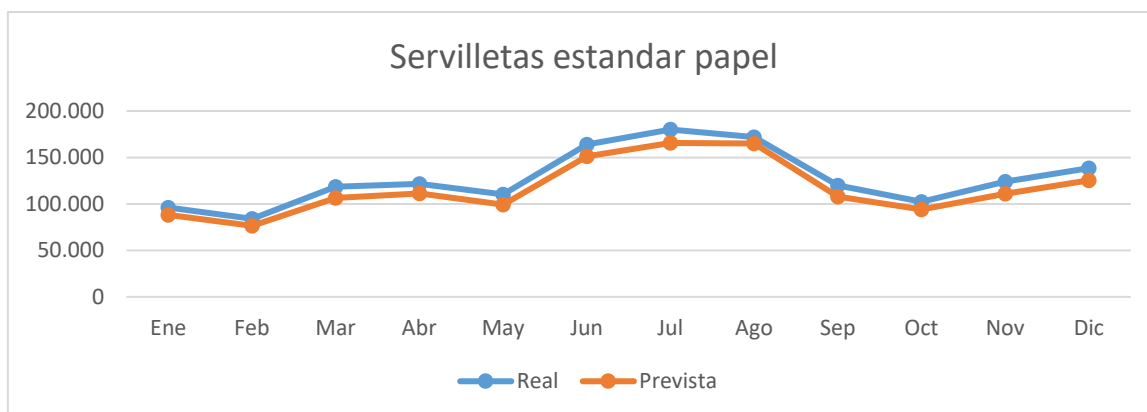
Fuente: Elaboración propia

Refleja el comportamiento de una familia de mayor valor añadido, con demanda creciente y picos estacionales intensos.

Anexo E.2. Demanda real vs. Previsión por modelo y familia.

En este apartado se comparan, para 2025, las ventas reales con las previsiones generadas por los modelos seleccionados en algunas familias clave.

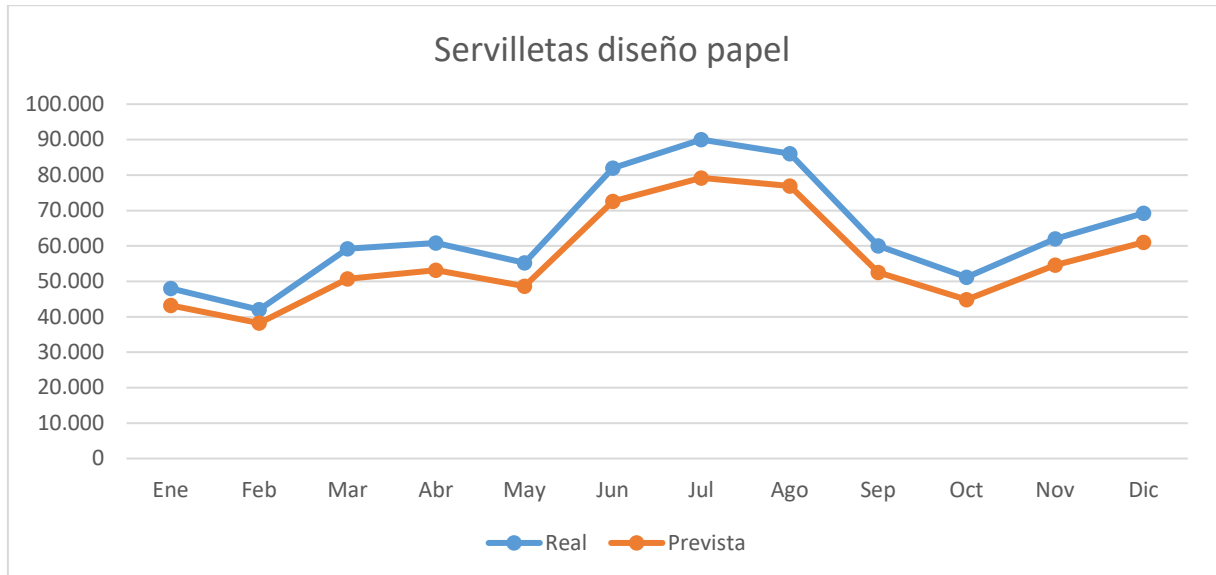
Figura E2.1. Servilletas papel estándar – Real vs. Holt-Winters (2025)



Fuente: Elaboración propia

La gráfica superpone la serie real y la serie prevista por el modelo Holt-Winters, mostrando un ajuste razonable en todos los trimestres y un MAPE cercano al 11,5%, tal como se recoge en la tabla D1.1.

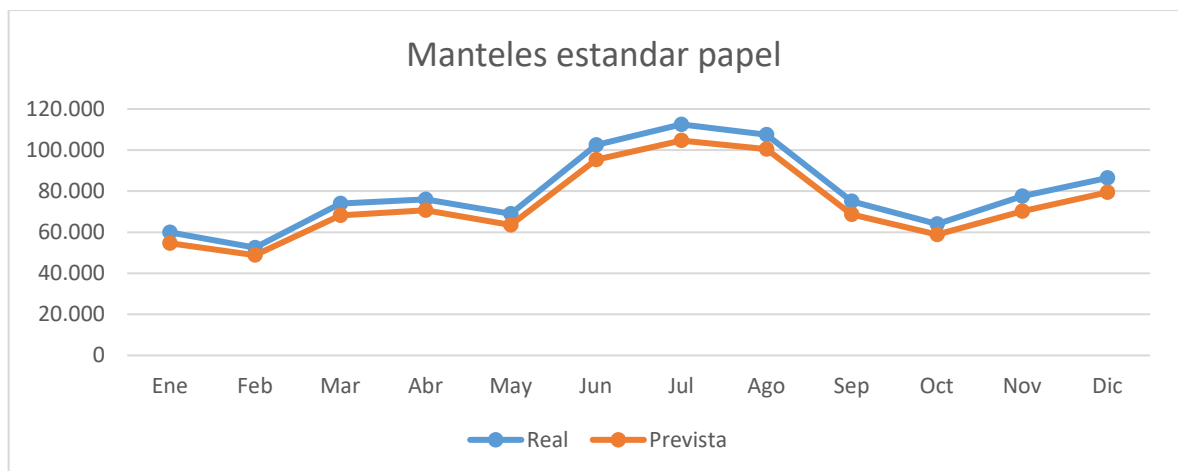
Figura E2.2. *Servilletas papel diseños – Real vs. Regresión con campañas (2025)*



Fuente: Elaboración propia

El modelo de regresión con dummies de Semana Santa, verano y Navidad reproduce de forma adecuada los picos de campaña, reduciendo el error en los meses de máxima demanda frente al escenario actual.

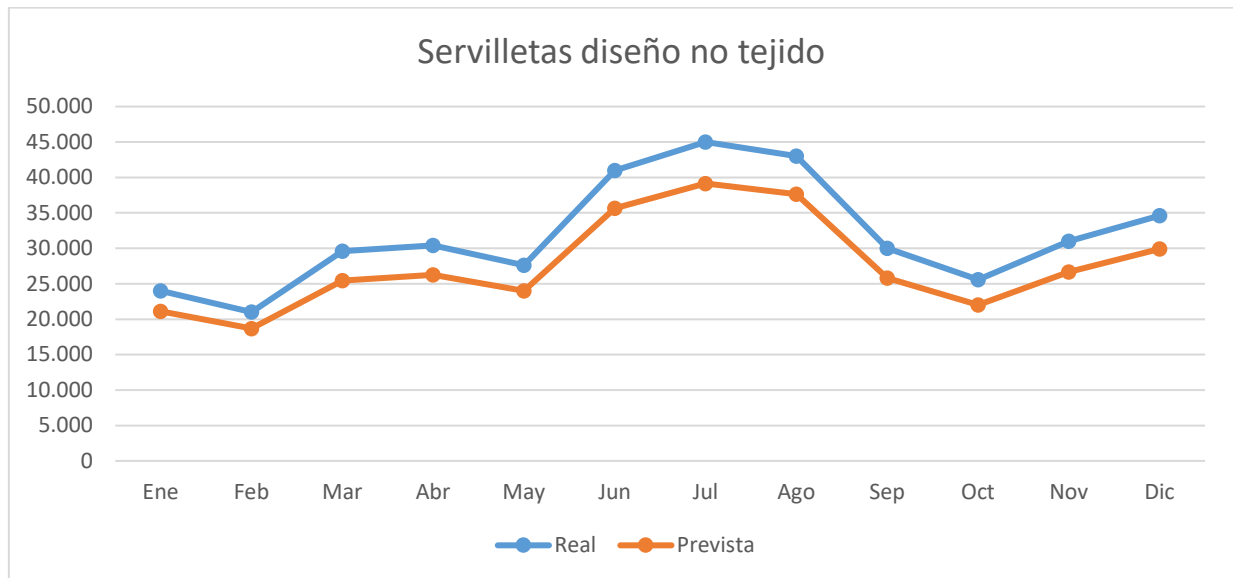
Figura E2.3. *Manteles papel estándar – Real vs. Holt-Winters (2025)*



Fuente: Elaboración propia

En esta familia el modelo capta bien tanto la tendencia como la estacionalidad anual, con errores moderados en los meses de transición entre campañas.

Figura E2.4. *Servilletas no tejido diseño – Real vs. Regresión con campañas (2025)*



Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que los mayores desajustes se concentran en algunos meses de campaña, pero dentro de un rango compatible con los MAPE en torno al 15% indicados en el Anexo 4.

Anexo F. Aplicación de machine learning para la previsión de la demanda.

Anexo F.1. Capturas de pantalla de la aplicación desarrollada para la previsión de la demanda.



Inicio

Ventas por artículo

Todos los artículos

Ventas por cliente

Exportar predicciones

Año

Seleccione un año

2026

Previsiones

☐ Incluir únicamente productos de previsiones

Código de artículo

Seleccione uno o más artículos

Todos los artículos

Predicción 2026

Número de artículos: 3479

cod_articulo	enero	enero_exg	enero_r	febrero	febrero_expr	febrero_r	marzo	marzo_expc	marzo_r	abril
4032AKBLA	838,400	371,200	1,024,593.71	40,800	499,200	1,244,149.6	0	584,800	1,922,776.37	0
4032AKBLI	192,000	255,087.08	508,624.45	48,000	291,038.78	617,615.39	0	320,059.67	954,496.52	0
3040NN	259,000	270,124.98	313,431.1	52,000	294,566.64	380,594.79	0	309,020.86	588,191.98	0
40AKBLA	125,600	188,748.66	258,071.45	5,600	213,320.36	313,372.63	0	181,731.95	484,303.12	0
4032AKJNEG	88,000	173,911.11	177,858.99	25,600	169,222.22	215,971.63	0	169,222.22	333,774.3	0
4032AKNEG	238,400	111,200	167,614.56	52,000	98,400	203,531.79	0	208,000	314,549.15	0
40A2425PA	93,000	30,600	167,960.36	7,200	63,000	203,951.98	0	120,600	315,198.24	0
A40BL	83,200	159,691.77	150,683.73	118,400	133,911.11	182,973.25	0	133,911.11	282,776.74	0
4032AKGO	156,800	66,400	153,281.21	36,800	27,200	186,126.92	0	66,400	287,650.82	0
10040	60,000	61,500	130,077.4	12,000	63,624.63	157,951.06	0	63,624.63	244,106.22	0

Descargar 2026

Anexo F.2. Situación actual.

La aplicación se encuentra actualmente en una fase de validación. Esta herramienta obtiene los datos directamente del sistema ERP, garantizando así la integración y coherencia de la información. Una vez efectuado el cálculo de la predicción, el ERP incorpora dichos resultados y realiza de forma automática el cálculo de la materia prima necesaria, así como de las horas de producción requeridas para cada una de las máquinas.

De manera complementaria, se ha desarrollado una segunda herramienta destinada al cálculo de los niveles óptimos de stock. Esta aplicación utiliza los datos generados por la herramienta de predicción para determinar el stock máximo, el punto de reaprovisionamiento y el stock de seguridad correspondiente a cada referencia. Los valores obtenidos se importan mensualmente al ERP, sistema que, a partir de esta información, genera de forma automática las órdenes de fabricación necesarias para mantener los niveles de stock óptimos y prevenir posibles roturas de inventario.