

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un pronóstico para optimizar visibilidad y gestión de contenedores
refrigerados vacíos

INGE-3087

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Mateo Fernando Román Duque

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a **mis padres y hermanita**, por su amor incondicional y por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y la honestidad son la base de todo logro. Nada de esto sería posible sin ustedes.

A mis abuelos **Ceci y Jorge, Laureano y Marleny**, por su cariño inmenso y por enseñarme el valor de la familia y la fortaleza en los momentos difíciles.

A mis tíos **Lenin y Miriam**, por su apoyo sincero, y sus consejos con ese cariño que siempre los ha representado.

A mis queridos amigos **Reymont, Michael, Xavier, Estefano, Roberto, Fabián, Luis y Jorge**, por su amistad leal y por acompañarme en este viaje con alegría y motivación.

Este logro es tan mío como de todos ustedes, porque cada palabra, cada consejo y cada gesto de apoyo me han traído hasta aquí.

Mateo Román Duque

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a **Shipping Line**, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto en un entorno profesional que enriqueció mi formación académica y personal.

A **Yexcibel Briceño**, mi jefa y además de eso una persona increíble, que me brindó su confianza y su guía constante, por confiar en mis capacidades y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí. Su apoyo y orientación fueron pilares esenciales para que este trabajo se hiciera realidad.

A mi querido amigo Juan José Zuluaga por enseñarme que todo lo que me proponga liderar es posible.

A mis amigos de trabajo, por su colaboración, motivación y por creer en mí todos los días, por sacarme una sonrisa de los días de estrés y desesperación.

Mateo Román Duque

Declaración Expresa

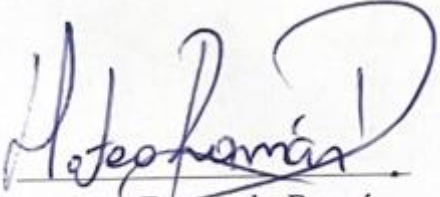
Yo Mateo Fernando Román Duque acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

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

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

Guayaquil, 15 de octubre de 2025



Mateo Fernando Román
Duque

Evaluadores

María Laura Retamales, MSc.

Profesor de Materia

María Belen Segovia, MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un algoritmo de pronóstico para mejorar la visibilidad y gestión operativa de contenedores refrigerados vacíos en una línea naviera, incrementando la precisión del forecast semanal y reducir el stock outs mediante información confiable. La hipótesis sostiene que centralizar datos históricos de exportación con variables logísticas validadas mejora la planificación operativa, frente a un entorno con visibilidad limitada, información dispersa y la alta variabilidad demanda.

El desarrollo incluyó la recolección de 9 variables críticas mediante bases corporativas y reportes operativos de terminales y depósitos. La confiabilidad y validez de variables se evaluó mediante pruebas estadísticas y comparaciones 1:1 entre fuentes. Se determinó que la variable de contratos semanales no fue válida y se sustituyó por volumen real exportado.

Asimismo, se analizaron modelos como SES, Holt-Winters y ARIMA.

Los resultados confirmaron validez de variables. El modelo SES obtuvo mejor desempeño con MAPE = 15,72% y RMSE = 348,3. El diseño logró el 100% de las semanas evaluadas sin Stock Out, automatización de proceso en 71%, Un 100% de cumplimiento en control de sobreestadía y estimar una reducción de emisiones de CO2 del 45,94 %, concluyendo que un forecast basado en evidencia histórica mejora la eficiencia logística.

Palabras clave: Pronóstico, Validación de datos, Contenedores refrigerados, Logística operacional, Stock Out.

Abstract

This project aims to develop a forecasting algorithm to improve the visibility and operational management of empty refrigerated containers in a shipping line, increasing the accuracy of weekly forecasts and reducing stockouts through reliable information. The hypothesis is that centralizing historical export data with validated logistics variables improves operational planning, compared to an environment with limited visibility, scattered information, and high demand variability.

The development included the collection of nine critical variables from corporate databases and operational reports from terminals and warehouses. The reliability and validity of the variables were evaluated using statistical tests and 1:1 comparisons between sources. It was determined that the weekly contract variable was not valid and was replaced by actual export volume. Models such as SES, Holt-Winters, and ARIMA were also analyzed.

The results confirmed the validity of the variables. The SES model performed best with $MAPE = 15.72\%$ and $RMSE = 348.3$. The design achieved 100% of the weeks evaluated without stockouts, 71% process automation, 100% compliance in overstay control, and an estimated 45.94% reduction in CO2 emissions, concluding that a forecast based on historical evidence improves logistics efficiency.

Keywords: *Forecasting, Data validation, Refrigerated containers, Operational logistics, Stock outs.*

Índice general

Resumen.....	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general.....	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	4
1.3 Justificación del Problema	7
1.4 Objetivos.....	9
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	9
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	9
1.5 Marco teórico	10
1.5.1 Logística Marítima Global y Gestión de contenedores vacíos.....	10
1.5.2 Desempeño de contenedores refrigerados en el comercio internacional	11
1.5.3 Gestión Integral del Inventario de Contenedores Refrigerados	11
1.5.4 Cadena de Frío Global y exigencias operativas	12
1.5.5 Teoría de inventarios aplicada a la logística marítima.....	13
1.5.6 El Forecasting en logística	13
1.5.7 Reposicionamiento de contenedores Vacíos	14
Capítulo 2.....	17
2. Metodología.	18
2.1 Voice of customer	18
2.2 SIPOC.....	19

2.3	CTQ Tree.....	19
2.4	QFD.....	20
2.5	Especificaciones de Diseño.....	21
2.6	Plan de Recolección de datos	23
2.7	Definición de variables y explicación de confiabilidad y validez.....	24
2.7.1	Contratos de exportación	24
2.7.2	Stock inicial por depósito.....	26
2.7.3	Supply return.....	27
2.7.4	Devoluciones de importadores.....	28
2.7.5	Unidades de atmosfera controlada	30
2.7.6	Unidades con control de sobrestadía.....	31
2.7.7	Movimientos de contenedores para indicador CO2.....	32
2.7.8	Automatización de tareas de proceso.....	32
2.7.9	Exportaciones semanales de contenedores refrigerados	33
2.8	Evaluación de alternativas de diseño	33
2.8.1	Alternativa 1: Pronóstico Manual	33
2.8.2	Alternativa 2: SES.....	34
2.8.3	Alternativa 2: Holt Winter	34
2.8.4	Alternativa 2: ARIMA / PROPHET	35
2.8.5	Evaluación de alternativas	35
2.8.6	Validación cuantitativa (Validación Cruzada).....	38
2.8.7	Análisis Financiero	40
Capítulo 3.....		41
3.	Resultados y Diseño Final.....	42
3.1.	Resultados del desempeño del pronóstico semanal.....	45
3.2.	Resultados del cumplimiento de especificaciones de diseño	46
3.2.1.	Índice de cumplimiento de ordenes de contenedores (Fulfillment Rate)	47

3.2.2.	Control de sobreestadía de contenedores vacíos (Empty Dwell Control)	48
3.2.3.	Porcentaje de automatización del proceso (Automation Rate)	49
3.2.4.	Uso del modelo de pronóstico para soportar la planificación logística (Forecast utilization accuracy)	51
3.2.5.	Reducción de emisiones de CO2 y movimientos innecesarios (CO2 Emissions)	
	53	
Capítulo 4.....		55
4.	Conclusiones y Recomendaciones	56
4.1.	Conclusiones	56
4.2.	Recomendaciones.....	57
Referencias.....		59

Abreviaturas

CA – Contenedor de Atmósfera Controlada

CO₂ – Dióxido de carbono

CTA – Commercial Trade Agreements (Compromisos Comerciales)

ERP – Enterprise Resource Planning

Gate In – Ingreso de contenedor

Gate Out – Salida del contenedor

HW – Holt-Winters

SES- Simple Exponential Smoothing

MCY – Empty container at yard (Movimiento de ingreso al deposito)

PBI – Power BI

QFD – Casa de la calidad (Quality Function Deployment)

CTQ – Critical to quality

SIPOC – Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers

VOC – Voz del cliente (Voice of customer)

Simbología

% – Porcentaje

USD – dólares estadounidenses

– Conteo de unidades (contenedores)

Índice de figuras

Figura 1. SIPOC	19
Figura 2. CTQ	20
Figura 3. QFD	21
Figura 4. Especificaciones de diseño	23
Figura 5. Plan de recolección de datos	23
Figura 6. Diagrama de Pareto	24
Figura 7. Gráfico de diferencias pareadas entre volumen real exportado y volumen contractual.	25
Figura 8. Diferencia entre inventarios manuales y sistema global por depósito	26
Figura 9. Comparación entre stock manual y stock registrado en la base global	27
Figura 10. Reposiciones de matriz vs Listado de descarga terminal	27
Figura 11. Relación de unidades de atmosfera controlada Manual vs Base de datos	31
Figura 12. Movimientos de contenedores semanales	32
Figura 13. Flujo de Diseño Final	42
Figura 14. Tablero de control visual 1	44
Figura 15. Tablero de control 2	44
Figura 16. Comportamiento semanal del pronóstico	46
Figura 17. Especificación de diseño control de sobreestadía (Empty dwell control)	49
Figura 18. Flujo de proceso de planificación logística automatizado	51
Figura 19. Indicador Forecast Utilization Accuracy comportamiento durante semanas evaluadas	52

Índice de tablas

Tabla 1. Volumen por contrato semanal	25
Tabla 2. Reposiciones de matriz vs Listado de descarga terminal	28
Tabla 3. Devoluciones de importadores	29
Tabla 4. Contenedores atmósfera controlada Reporte Depósitos vs Base Empresa.....	30
Tabla 5. Matriz para selección de opciones de diseño.....	36
Tabla 6. Matriz de selección para análisis teórico de pronóstico	38
Tabla 7. Resultados de Validación Cruzada y selección de modelo	39
Tabla 8. Análisis Financiero	40
Tabla 9. índice de cumplimiento en semanas evaluadas (Fulfillment rate).....	48
Tabla 10. Control de Sobreestadía	49
Tabla 11. Proceso de planificación logística antes vs después	50
Tabla 12. Forecast Utilization accuracy validación semanas evaluadas	53
Tabla 13. Indicador de emisiones de CO2 Estimación (CO2 emissions)	54

Capítulo 1

1.1 Introducción

La gestión de contenedores refrigerados es parte de un elemento fundamental en la cadena de suministro global, especialmente para países con niveles de exportación altos como Ecuador, de acuerdo con datos de una de las navieras más grandes del mundo, el país exporta alrededor de 2300 contenedores refrigerados a la semana. La demanda internacional ha ido en crecimiento en productos como el banano, camarón, cacao, entre otros, esto exige a las líneas navieras un exigente, confiable y además continuo manejo de contenedores refrigerados, cuyo propósito es garantizar la integridad de la carga durante el tránsito marítimo. La disponibilidad oportuna de estos equipos determina la capacidad exportadora semana a semana del país y, dentro de este contexto, incide directamente en la competitividad del sector logístico y desempeño económico nacional.

En este contexto opera Shipping Line, es la naviera más grande del mundo, con presencia bastante estratégica en Ecuador y responsable del transporte de un gran volumen de carga refrigerada semana a semana hacia mercados de Norteamérica, Europa, Asia, entre otros. Como ocurre en otras navieras a nivel global, las empresas deben gestionar un ciclo continuo de recepción, preparación, asignación y despacho de contenedores vacíos a los exportadores. La estabilidad de este ciclo depende de una correcta visibilidad de inventario, estabilidad de información y capacidad de anticipar la demanda futura.

Sin embargo, el sector enfrenta retos estructurales derivados en un desbalance de contenedores refrigerados, donde países exportadores de productos con demanda de este tipo de contenedores, experimentan un déficit de equipos vacíos. Según un estudio de otra reconocida naviera el costo anual de reposicionar contenedores vacíos a nivel global oscila entre 15 y 20 mil millones de dólares, debido a la necesidad de movilizar equipos donde la demanda supera altamente la disponibilidad de equipos, como sucede en nuestro país (Zugno

et al., 2025). Este fenómeno para Shipping Line, es de alto impacto ya que se debe garantizar la cierta cantidad de contenedores refrigerados a la semana en Ecuador aun cuando el flujo global no lo favorece.

En operación local, la disponibilidad semanal de contenedores refrigerados presenta alta variabilidad debido a factores como los volúmenes exportados, devoluciones de importadores, reabastecimiento enviado por parte de matriz, capacidad de stock de depósitos locales, y la sobreestadía sin operación de esos contenedores. A pesar de que Shipping Line cuenta con un sistema corporativo de información bastante avanzado, lo que dificulta consolidar una visión clara y anticipada del inventario disponible para poder tomar decisiones operativas que favorezcan al negocio.

Actualmente, la planificación de contenedores refrigerados en Ecuador depende en gran medida de procesos manuales, reportes que son aislados y estimaciones que no son siempre precisas. Esta práctica genera discrepancias entre una disponibilidad proyectada y la demanda real semanal lo que impacta en caída de stock outs, tiempos de respuesta tardíos, decisiones reactivas y dependencia en abastecimiento por parte del head office. La ausencia de un modelo formal de pronóstico limita la capacidad de la línea naviera para poder anticipar situaciones de riesgo y coordinar con anticipación las necesidades del mercado local.

Diversos estudios internacionales en logística marítima han demostrado que la precisión de un pronóstico operativo es un elemento bastante determinante para optimizar la distribución y reposicionamiento de contenedores vacíos. Según investigaciones de otras líneas navieras predecir correctamente la demanda y las devoluciones de contenedores permite reducir los movimientos innecesarios, mejorar el uso de inventario a nivel global y disminuir costos de reposicionamiento (Zugno et al., 2025). De manera complementaria,

estudios sobre logística de carga refrigerada en Ecuador se destaca que la variabilidad semanal de la exportación es uno de los principales desafíos para garantizar el flujo estable de los equipos y cumplir con los compromisos comerciales del país (Reyes, 2021).

En este escenario, se vuelve bastante imprescindible desarrollar un modelo de pronóstico adaptado a condiciones de la naviera, que sea capaz de integrar datos históricos y operativos, reflejar comportamientos reales y que sea capaz de proporcionar una visión anticipada y confiable del inventario futuro. Un pronóstico preciso da pie a la toma de decisiones estratégicas como redistribuciones, reparaciones, coordinar reabastecimientos claros, gestionar unidades refrigeradas de atmosfera controlada y las inspecciones previas al despacho.

Por lo tanto, en este proyecto se enmarca la necesidad de fortalecer la gestión de contenedores de tipo refrigerados en Ecuador mediante la implementación de un modelo robusto de pronóstico semanal. Este modelo matemático de pronóstico va a permitir mejorar la visibilidad, reducir la incertidumbre operativa y aumentar la eficiencia logística, alineado a la toma de decisiones locales con el dinamismo global del sector naviero. El presente proyecto integra la recolección de datos y validaciones rigurosas de las variables operativas críticas, el análisis de métodos de pronóstico aplicables, y la selección del modelo más adecuado para un contexto real de la operación.

1.2 Descripción del Problema

La operatividad de los contenedores refrigerados en el Ecuador enfrenta un nivel de alta variabilidad y complejidad que afecta directamente a la capacidad de Shipping Line para garantizar una disponibilidad semanal de equipos refrigerados vacíos. El proceso actual depende de varios factores operativos que no se comportan de forma estable ni predecible

durante un periodo de tiempo, esto causa que se complique mantener un inventario adecuado para atender a la gran demanda de exportación del país.

El principal problema radica en que la naviera no cuenta con un modelo formal de pronóstico semanal que permita anticipar la disponibilidad de contenedores refrigerados vacíos en base a datos históricos, patrones de comportamiento y variaciones operativas propias del mercado ecuatoriano de exportación. En la práctica, la planificación depende de reportes aislados, análisis manuales y ciertas estimaciones que no siempre reflejan la realidad operativa del negocio, esto lleva a que se genere una alta incertidumbre y dificultando una forma correcta de toma de decisiones.

Este problema se acentúa debido a la naturaleza del proceso logístico. En Ecuador, los volúmenes exportados por semana presentan alta variabilidad, y esto se relaciona con características propias de la industria de estos productos que usan contenedores refrigerados de 40 pies, a esto se suman otros factores que alteran directamente a la disponibilidad semanal del inventario, como lo son las devoluciones de los clientes importadores, el supply return por parte de la matriz en Ginebra, la capacidad operativa y de almacenamiento en cada deposito, existencia de unidades en depósitos con sobreestadía de más de 100 días, y las unidades con sistemas de atmósfera controlada. Estas variables forman parte del ciclo de exportación de la naviera que afecta de manera directa a la cantidad de equipos refrigerados requeridos para asignación.

Aunque Shipping Line cuenta con un sistema corporativo avanzado para el registro de información, los datos operativos están distribuidos entre distintas fuentes como lo son los reportes comerciales, bases de datos globales, registros manuales en los depósitos y terminales, también los correos operativos provenientes de la casa matriz. Esta fragmentación de la información hace que sea bastante complicado consolidar una visión clara, actualizada y

anticipada del inventario real. En consecuencia, Shipping line enfrenta dificultades para responder con precisión a preguntas claves como: ¿Cuántos contenedores refrigerados tendré disponible la siguiente semana? ¿Tengo suficientes contenedores en X depósito? ¿Requerimos movimientos adicionales de reposición? ¿Cuál es mi capacidad de respuesta ante la variabilidad? ¿Qué riesgo tenemos de caer en un stock out?

Uno de los aspectos que son bastante relevantes es que los procesos actuales no permiten medir con exactitud un impacto dinámico de cada variable en la disponibilidad por semana. La ausencia de un pronóstico limita la previsión de escenarios futuros, lo que hace que la planificación sea reactiva en lugar de algo preventiva. Esto genera entre otros problemas: movimientos operativos inesperados, uso ineficiente de la flota de contenedores, dependencia del head office para la reposición, costos adicionales asociados a urgencias y riesgo de afectar la cadena de exportación.

Al analizar el problema, se identifican claramente los requerimientos necesarios para lograr una gestión más eficiente:

- Integración y consolidación de información que proviene de diferentes sistemas.
- Visibilidad semanal de un inventario proyectado.
- Identificación realista del comportamiento de la demanda, basada en datos de exportación históricos.
- Modelación del impacto del dwell time, que afecta a la rotación del inventario.
- Planificación de unidades refrigeradas regulares y de atmosfera controlada.

Como parte de este análisis, se observa también que el proceso diario está condicionado por diferentes restricciones de tipo operativas: la capacidad de los depósitos, disponibilidad de equipos que provienen de decisiones globales, tiempos asociados a reparaciones e inspecciones previas a despacho además de preparación de unidades de atmosfera controlada.

Toda esta gran combinación de factores convierte la gestión de contenedores refrigerados vacíos en un proceso altamente sensible, donde pequeñas variaciones en la demanda o en la disponibilidad pueden generar consecuencias significativas. En ausencia de un modelo robusto de pronóstico, la línea naviera se ve obligada a tomar decisiones que se basan en información parcial y desactualizada, lo que aumenta la probabilidad de stockouts, dependencia de reposiciones exteriores y uso ineficiente de los recursos locales.

Por todo lo que se ha expuesto hasta el momento, el problema central queda claramente definido: Shipping Line necesita implementar un modelo matemático de pronóstico semanal que permita anticipar, con suficiente precisión, la disponibilidad de contenedores vacíos refrigerados en Ecuador, integrando variables operativas relevantes a este proceso. La solución a este problema permitirá reducir la incertidumbre, mejorar la visibilidad semanal y la optimización de movimientos.

1.3 Justificación del Problema

Una gestión eficiente de contenedores refrigerados es un elemento bastante crítico para las operaciones de Shipping Line en Ecuador, debido a que la disponibilidad semanal de estos equipos determina en gran parte la capacidad de exportación y cumplimiento de compromisos comerciales con los clientes. Resolver este problema de

la falta de un pronóstico robusto es fundamental ya que actualmente, como mencionado, la planificación depende de estimaciones manuales, información fragmentada en diferentes fuentes, lo que genera una incertidumbre alta y limita la toma de decisiones anticipada.

El problema debe ser atendido, porque de manera directa afecta a la estabilidad operativa de la línea naviera. Sin una proyección que sea realmente confiable de inventario, la empresa se expone a escenarios de stock out que llegan a comprometer embarques semanales. Los stocks outs de contenedores generan retrasos en la cadena logística aumentando así los costos operativos por movimientos adicionales que impactan negativamente en la relación comercial de los exportadores. En sectores estratégicos, donde la puntualidad es esencial, como o es el banano o camarón, cualquier interrupción en la disponibilidad de contenedores tiene consecuencias económicas y comerciales.

Adicional a esto, resolver el problema planteado es esencial debido a la gran variabilidad semanal del mercado ecuatoriano y el desbalance global de equipos requieren una herramienta que sea capaz de anticiparse a este tipo de cambios. Un modelo robusto de pronóstico permite la planificación con mayor precisión la capacidad operativa de la semana siguiente a la que se cursa, controlar contenedores con sobreestadía de manera que no se los considera dentro de un stock, además de saber en mayor precisión las necesidades de stock para el supply return.

El desarrollo de un pronóstico también responde a la necesidad de fortalecer la vigencia y confiabilidad de los datos utilizados en la operación. Una planificación basada en información integrada y validada facilita en gran manera la alineación entre áreas internas y el uso eficiente de recursos. Además, garantiza que las decisiones no dependan

únicamente de criterios subjetivos, si no de decisiones basadas en evidencia cuantitativa y tendencias reales del comportamiento del mercado.

Finalmente, resolver este problema tiene un impacto estratégico para Shipping Line. Un modelo de pronóstico semanal mejorará la visibilidad de la operación, reduciendo la incertidumbre que existe en la toma de decisiones. Implementar una herramienta de pronóstico que este alineada a la realidad operativa del Ecuador posiciona a la línea naviera con una mayor capacidad de respuesta frente a toda la fluctuación que existe en el negocio. En conjunto, esto hace que la resolución de este problema no sea solo necesario, sino prioritario para garantizar eficiencia, continuidad y estabilidad operativa.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo matemático de pronóstico para optimizar la asignación de contenedores refrigerados vacíos, utilizando como referencia datos históricos de exportación e información sobre acuerdos comerciales, con el fin de proporcionar visibilidad del stock de contenedores en los depósitos para evitar stock outs y garantizar la eficiencia operativa.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Consolidar los datos históricos sobre embarques, stock inicial, reposición y devoluciones de contenedores refrigerados para el establecimiento de la base del modelo de pronóstico.
2. Evaluar diferentes modelos de pronóstico utilizando datos históricos de embarques y variables operativas para la selección el modelo más preciso.

3. Generar simulaciones de pronóstico en escenarios operativos reales para proporcionar visibilidad al equipo de logística, lo que permite la validación y la mejora continua de la asignación.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Logística Marítima Global y Gestión de contenedores vacíos

La logística marítima constituye un eje central en el comercio internacional movilizandando más del 80% de la carga global. Un componente crítico de este negocio es la gestión de los contenedores, especialmente en aquellos países donde existe un fuerte desbalance entre la exportación de cierto tipo de contenedores y la importación de otro tipo totalmente distinto. Este desbalance genera un déficit severo en regiones altamente exportadoras, como América latina. Para las líneas navieras, este desequilibrio obliga a la logística de la empresa a reposicionar contenedores vacíos desde regiones de excedente hacia regiones de escasez, incurriendo en altos costos operativos y complejidad logística.

Según un estudio, el costo anual de reposicionar contenedores oscila entre los USD 15 y 20 millones, lo que evidencia la magnitud del reto operativo que enfrentan las navieras (Zugno et al., 2025). Este problema se evidencia en contenedores refrigerados, los cuales son indispensables para el comercio de productos que necesitan mantener una cadena de frío durante todo el tránsito marítimo. Dado su valor, tecnología y requerimientos de mantenimiento específico, su reposicionamiento incorrecto tiene alto impacto significativo frente a los otros tipos de contenedores.

1.5.2 Desempeño de contenedores refrigerados en el comercio internacional

Los contenedores refrigerados son esenciales para el transporte de mercancías que deben permanecer bajo cadena frío. Su uso ha incrementado gradualmente durante los últimos años, impulsado por el crecimiento del comercio agroexportador y por la expansión de los mercados internacionales que exigen productos frescos con alta calidad sanitaria.

El desempeño de los contenedores refrigerados tiene implicaciones directas en el ámbito de la competitividad económica de países exportadores. El estudio especializado en reefer logistics indica que la disponibilidad oportuna de estos equipos determina la capacidad de exportación semanal de un país y, por tanto, su estabilidad logística. (Alliance, 2020) Análisis rigurosos sobre la cadena de contenedores refrigerados en Ecuador reportan que la estacionalidad agrícola, la variabilidad en ciclos de cosecha y las condiciones climáticas generan variaciones que son considerables en la demanda semanal de contenedores de este tipo (Reyes, 2021). Bajo estos diferentes escenarios, una planificación imprecisa o bastante reactiva puede ocasionar retrasos o incumplimiento en los compromisos comerciales.

1.5.3 Gestión Integral del Inventario de Contenedores Refrigerados

Un estudio plantea que la gestión del inventario de contenedores refrigerados debe entenderse como un sistema que es dinámico y de alta rotación, donde cada unidad atraviesa por diferentes etapas como lo son las de disponibilidad, entrega, retorno, procesamiento técnico y redistribución (Reyes, 2021). Los principales flujos operativos que determinan la disponibilidad semanal se incluyen:

- Stock inicial, que es la base operativa para la planificación

- Devoluciones de importadores, que tienen comportamientos irregulares debido a acuerdos comerciales
- Devoluciones de casa matriz, depende de la operación global de la naviera y su programación
- Tiempo de sobreestadia o dwell time que es el tiempo de inactividad que reduce la rotación de manera eficiente del inventario
- Unidades de atmosfera controlada que requieren de preparación técnica.

Investigaciones en gestión portuaria han demostrado que variaciones en los retornos, congestiones en depósitos o retrasos técnicos afectan de manera significativa la continuidad del flujo operacional (Blažina, et al., 2022.) El dwell time, en particular, se reconoce como uno de los factores que más son determinantes en la pérdida de la eficiencia logística debido a que prolonga indisponibilidad de equipos.

1.5.4 Cadena de Frío Global y exigencias operativas

La cadena de frío global requiere de consistencia temporal y disponibilidad inmediata de los contenedores refrigerados. Cualquier interrupción ya sea por la falta de inventario, retrasos en preparaciones o descoordinación entre puertos y terminales puede comprometer embarques completos que representan pérdidas significativas para el sector naviero, además de que pueden generar roturas de relaciones comerciales. (FAO, 2019).

Además, estudios internacionales indican que la logística en contenedores refrigerados depende fuertemente de ventanas de carga estrictas y una planificación semanal que debe ser ajustada (Alliance, 2020). Por ello, la disponibilidad de contenedores

refrigerados no puede gestionarse únicamente de forma reactiva si no que debe tener una visibilidad anticipada.

1.5.5 Teoría de inventarios aplicada a la logística marítima

La teoría de inventarios establece que la disponibilidad debe gestionarse equilibrando el nivel del servicio, con la variabilidad de la demanda, los costos de almacenamiento de contenedores y el riesgo de caer en stock out. Autores como Silver, Pyke & Peterson destacan que los inventarios críticos, en este caso los contenedores refrigerados, requieren de políticas más estrictas de monitoreo continuo debido a la alta variabilidad de la demanda y costos asociados (Silver, et al., 1998)

Por otra parte, Chopra & Meindl señalan que las cadenas de suministro son una variabilidad pronunciada deben apoyarse en herramientas de análisis para pronostico con el fin de mitigar la incertidumbre, mejorar la asignación y optimizar los recursos. En el caso del negocio marítimo, el inventario de refrigerados debe ser gestionado de una manera preventiva en base a la información consolidada (Chopra & Meindl, 2016).

1.5.6 El Forecasting en logística

Forecasting permite, mediante métodos de acuerdo con los casos de aplicabilidad, anticipar comportamientos futuros basados en datos históricos. En el libro de Rob Hyndman y George Athanasopoulos se coincide con que el pronóstico mejora la toma de decisiones en la logística al reducir la incertidumbre (Hyndman & Athanasopoulos, 2018).

Makridakis en las M-competitions, demostraron que los métodos de forecasting formales superan en consistencia a los manuales utilizados por el humano debido al sesgo que puede llegar a existir y la dificultad de poder identificar patrones que llegan a ser complejos. (Makridakis, 2018)

En la logística marítima, estudios recientes enseñan que las técnicas de forecasting permiten anticipar las devoluciones de contenedores refrigerado vacíos, disponibilidades y demandas en múltiples puertos simultáneamente (Martius et al., 2022). La capacidad de prever estos comportamientos es bastante útil en contextos tan dinámicos como la exportación refrigerada. Estos autores desarrollaron un modelo de pronóstico basado en machine learning y modelos que son probabilísticos utilizando miles de series temporales provenientes de diferentes regiones a nivel mundial. La investigación demuestra que cuando las líneas navieras aplican un modelo de pronóstico estructurado, la precisión en la disponibilidad de contenedores vacíos puede incrementarse de forma significativa, reduciendo los movimientos urgentes y mejorando la comunicación entre las terminales y los depósitos.

Además, se puede resaltar que la disponibilidad de contenedores varía de una manera abrupta debido a la estacionalidad, patrones de demanda, devoluciones inesperadas o temas operativos, que son factores que pueden generar incertidumbre en periodos cortos. Los modelos demostraron que, incorporando datos operativos históricos, combinados con técnicas probabilísticas, permitirá identificar escenarios de riesgo con anticipación y apoyar decisiones mucho más estructuradas en el negocio. Esto es especialmente relevante para los mercados que dependen de contenedores refrigerados, donde incluso una pequeña desviación en la disponibilidad puede comprometer el cumplimiento de los embarques semana a semana.

1.5.7 Reposicionamiento de contenedores Vacíos

El reposicionamiento de contenedores vacíos ha sido estudiado ampliamente como un problema de optimización y logística global. Un estudio en la universidad de Rijeka demuestra que una parte considerable de la flota mundial de contenedores se encuentra

movilizada sin una carga comercial, lo que implica un consumo de recursos que no genera ingresos directos. Este análisis enfatiza que el desbalance que existe entre las regiones exportadoras e importadoras es uno de los principales impulsores de estos movimientos, y las líneas navieras se ven obligadas a implementar una estrategia de redistribución para mantener la continuidad operativa (Karmelić et al., 2012).

Por otra parte, otro estudio profundiza en la formulación matemática del problema, proponiendo modelos que buscan enfocarse en minimizar los costos totales asociados al reposicionamiento, donde se toman en cuenta variables como rutas disponibles, capacidad de los buques, la demanda futura, tiempos de tránsito y costos de almacenaje. Los resultados indicaron que la optimización de los movimientos de contenedores puede llegar a generar reducciones que sean significativas en los gastos operativos, especialmente en los mercados donde este déficit es recurrente (Göçen et al., 2020).

Estudios un poco más recientes utilizan técnicas más avanzadas como modelos multi agente, para simular disponibilidades futuras de equipos bajo escenarios globales que son cambiantes (Abdelshafie, 2023). Este es un enfoque que permite analizar como interactúan diferentes actores de la cadena logística marítima como lo son puertos, buques, depósitos, importadores y exportadores, y de cómo estas interacciones entre estos mismos actores afectan la disponibilidad de contenedores vacíos. Las simulaciones muestran que las decisiones locales de asignación tienen un impacto directo en el comportamiento global, y una planificación basada en un pronóstico puede llegar a reducir de manera significativa la necesidad de reposiciones emergentes.

En conjunto, se coincide con que las decisiones del reposicionamiento de contenedores vacíos deben apoyarse en tendencias, datos históricos y proyecciones. La gestión reactiva solo genera costos e ineficiencias operáticas, mientras que el uso de modelos

de pronóstico permite anticiparse a los cambios en la demanda, optimizar los movimientos y asegurar una disponibilidad futura de los equipos. Esto resulta crítico en mercados que dependen de contenedores refrigerados, donde los acuerdos comerciales, mantener la calidad, tiempo y dinero son aspectos que juegan papeles extremadamente fundamentales.

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1 Voice of customer

El levantamiento de la voz del cliente permitió identificar las necesidades, los principales problemas que existen en el proceso de planificación de contenedores refrigerados y lo que se espera del diseño. La información fue recopilada mediante entrevistas en persona con la gerente de logística y la coordinadora comercial de la Agencia en Ecuador.

La información recopilada fue la siguiente, por parte de la Gerente de Logística:

- “Necesitamos un inventario automático para saber cuántos contenedores vacíos tenemos en tiempo real”
- “La devolución de suministros la define la sede central en Ginebra y la envía por correo electrónico el responsable global de flujo de equipos”
- “La proyección se calcula de la siguiente manera: existencias iniciales – acuerdos comerciales + reposición de Ginebra + devoluciones de importadores”
- “Hay problemas frecuentes problemas de stock out para los contenedores refrigerados”
- “Necesitamos identificar las unidades de atmósfera controlada por el prefijo del contenedor”
- “Hay contenedores vacíos que permanecen almacenados durante muchos días y no se reutilizan debido a la falta de visibilidad”

Mientras que por parte de la coordinadora comercial se recopiló lo siguiente:

- “Los acuerdos comerciales proporcionan visibilidad a Ginebra y logística para el reposicionamiento de contenedores vacíos”
- “La información se basan en contratos con clientes de Guayaquil y Puerto Bolívar, divididos por tráfico y subtráfico”

- “Algunos clientes envían semanalmente sus necesidades de contenedores”
- “Logística recibe los requisitos para contenedores refrigerados y de atmósfera controlada para Guayaquil y Puerto Bolívar para gestionar su stock”

2.2 SIPOC

El diagrama SIPOC permitió el mapeo del proceso completo identificando las partes involucradas para la planificación de contenedores refrigerados vacíos en un nivel macro, se identificaron los inputs, procesos críticos involucrados, salidas y los clientes externos e internos. Podemos identificar el alcance de este proceso que va desde la gerencia global de equipos, equipo comercial hasta la gerencia de logística, tal como se muestra en la figura 1.

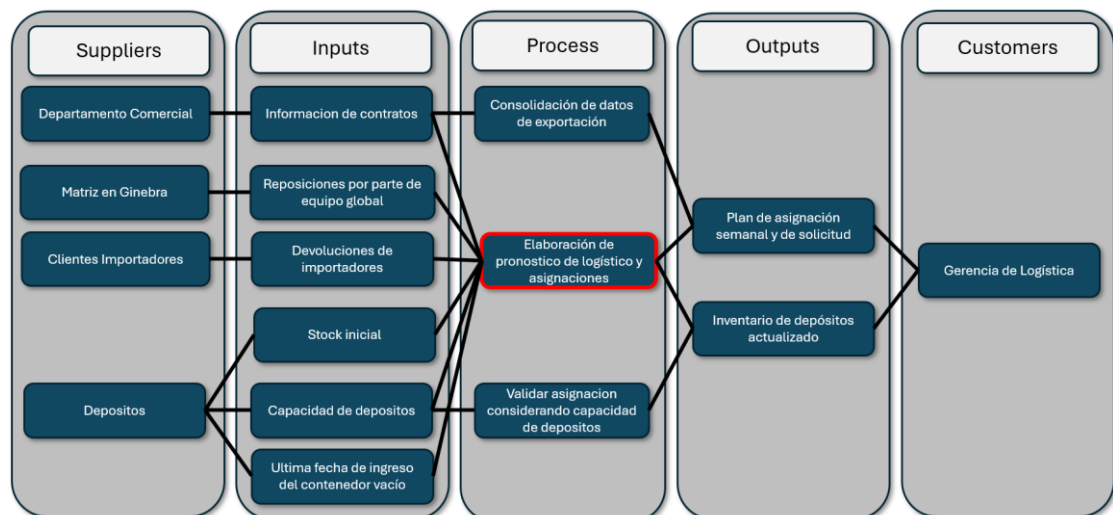


Figura 1. SIPOC

2.3 CTQ Tree

Los VOC fueron traducidos a requerimientos críticos de calidad para asegurar que las necesidades del cliente se tradujeran en especificaciones que sean medibles del diseño.

Como se evidencia en la figura 2, el CTQ Tree permitió desagregar las necesidades en métricas con especificaciones técnicas.

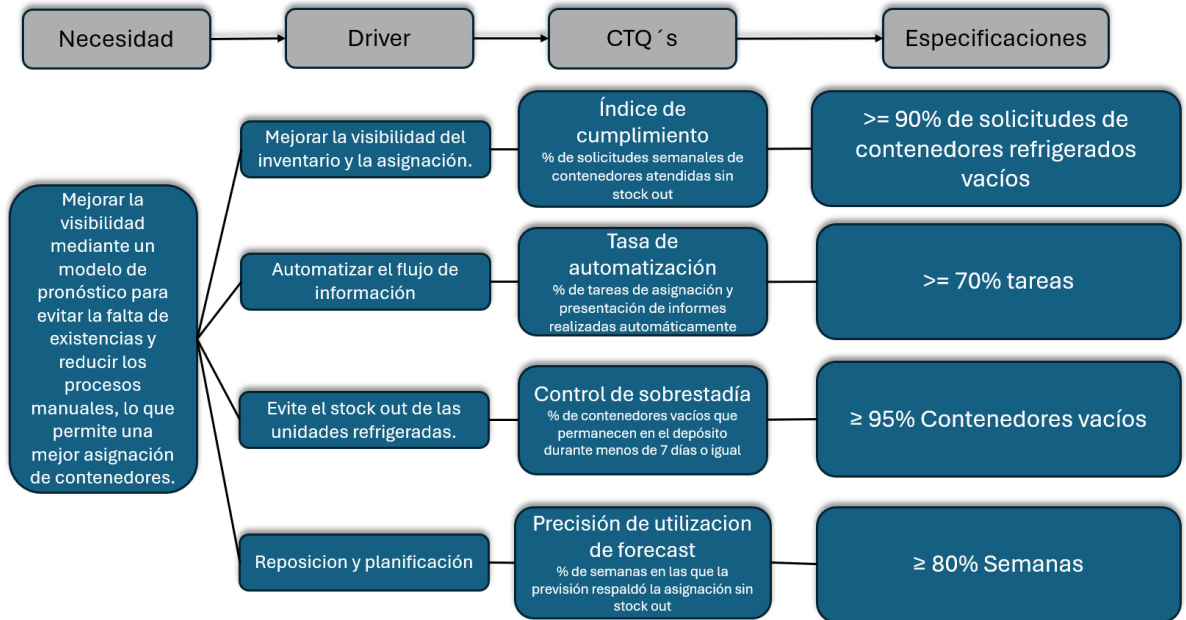


Figura 2. CTQ

2.4 QFD

El QFD permitió traducir el CTQ hacia las especificaciones de diseño, como se muestra en la figura 3, esta herramienta se utilizó para poder evaluar qué características del modelo eran las más críticas para poder satisfacer los requerimientos del cliente.

De esto obtenemos que la característica con mayor peso fue la precisión del pronóstico, después tenemos a la reducción de los movimientos innecesarios para poder evitar emisiones de CO₂ debido a reposiciones innecesarias, seguido de mantener una tasa de servicio alta y poder suplir la necesidad de contenedores refrigerados, seguido al control del tiempo de sobre estadía de un contenedor en los depósitos y por último la automatización de las tareas para elaborar la planificación de los contenedores refrigerados vacíos.

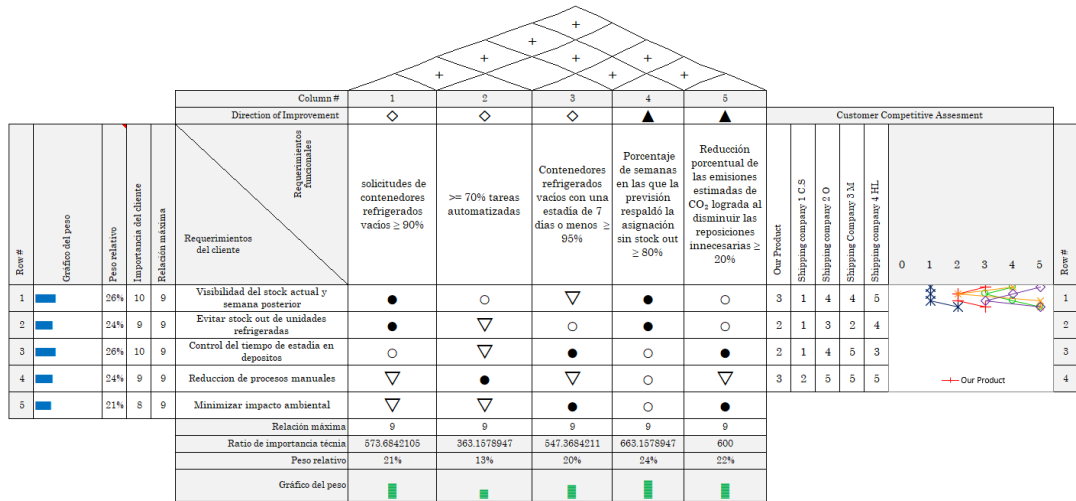


Figura 3. QFD

2.5 Especificaciones de Diseño

Las especificaciones de diseño fueron establecidas para garantizar que el modelo de pronóstico cumpla con los niveles para el desempeño de este proceso. Estas especificaciones permitieron traducir los requerimientos críticos del cliente en indicadores cuantificables que aseguran que el diseño final se entregue con la calidad requerida.

Para esto, se definieron 5 métricas principales que evaluaron el funcionamiento del modelo y el impacto que tendrá en la planificación semanal de los contenedores refrigerados vacíos. Cada una de las métricas que se definió, incluyó formulas, frecuencia y estándar mínimo que debía cumplirse para asegurar que el diseño cumplió con su propósito, tal como se presenta en la figura 4.

- Índice de cumplimiento operativo:** Este indicador midió el porcentaje de solicitudes de contenedores refrigerados vacíos que se atendieron sin generar stock out. Esta métrica representó uno de los indicadores principales ya que el objetivo principal del diseño es garantizar esa visibilidad y garantizar la disponibilidad oportuna. El estándar que se definió fue alcanzar al menos el 90% de solicitudes atendidas sin caer en stock out en cualquier semana

2. **Índice de Automatización:** Se evaluó el porcentaje de las tareas que fueron realizadas de manera automática dentro del proceso de la planificación, tareas como la actualización del stock, consolidación de datos y generación de pronóstico. El diseño estableció que como requisito se deben automatizar el 70% de las tareas, reduciendo la dependencia manual y también minimizando los errores humanos que suelen ser comunes.

3. **Control de Sobreestadía (Dwell Time):** El diseño consideró que una parte fundamental es mantener una rotación correcta del inventario. Por ello se definió una métrica que midió el porcentaje de contenedores refrigerados vacíos que permanecen en los depósitos por 7 días o menos, evitando acumulación. Este estándar fue definido para lograr que un 95% del inventario cumpliera este límite.

4. **Precisión en la utilización del pronóstico:** Esta métrica midió en que porcentaje de semanas el modelo de pronóstico fue suficientemente confiable para respaldar la planificación, evitando tomas de decisiones reactivas o innecesarias. Se estableció que la meta sea que el modelo respalde la planificación en igualdad o mayor del 80% de las semanas evaluadas.

5. **Reducción de emisiones de CO2:** Como parte del impacto del impacto operacional que genera la exportación de contenedores, se incorporó un indicador que evaluó la disminución de estos movimientos de vacíos innecesarios. Este estándar definió lograr al menos un 20% de reducción en las emisiones asociadas a movimientos evitados gracias a la precisión y anticipación de la planificación.

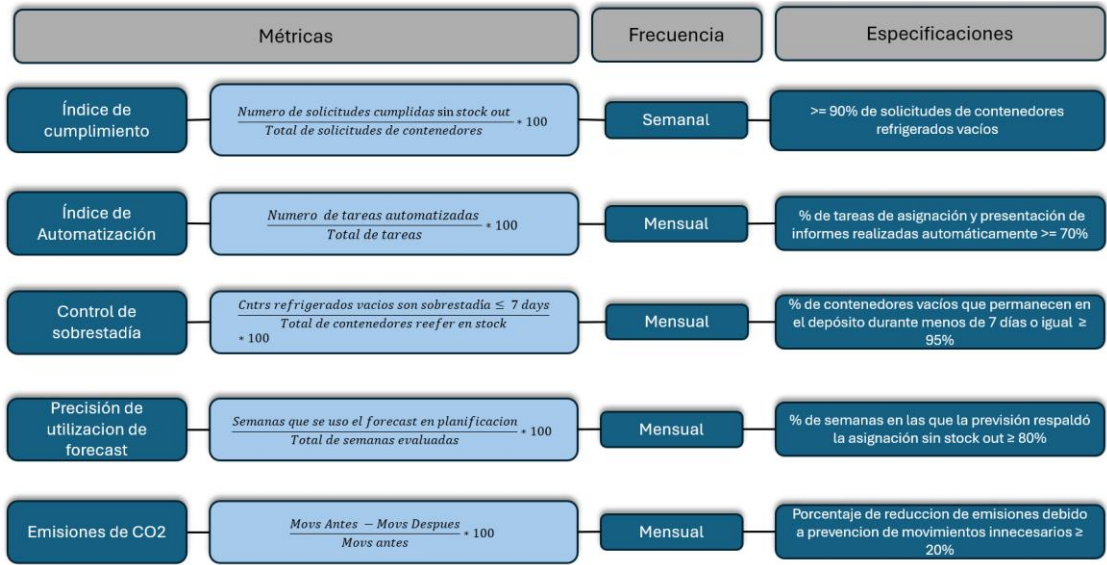


Figura 4. Especificaciones de diseño

2.6 Plan de Recolección de datos

Para la construcción del diseño se definió un plan de recolección de datos estructurado cuya finalidad fue dar la garantía de que toda la información usada provenga de fuentes confiables, que también fuera operacionalmente verificable y pueda reflejar con precisión el comportamiento real del inventario de los contenedores refrigerados.

El plan que se estructuró contiene el tipo de variable, su clasificación por especificaciones de diseño, unidad, fuente y usos futuros. Esto permitió estandarizar el proceso de la recolección de los datos y asegurar una trazabilidad dentro de la medición.

A Continuación, en la figura 5 se detalla el plan de recolección de datos utilizado.

¿QUÉN?	¿QUÉ?	¿CUÁNDO?	¿DÓNDE?	¿POR QUÉ?	¿COMO?	Método de Verificación				
Responsable	Clasificación de variable	Variable	Definición Operacional	Unidad de medida	Tipo de dato	Fecha	Origen del dato	Uso futuro	Método de recolección	Método de verificación
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Exactitud del pronóstico	Forecast Accuracy (Volumen Exportado)	Diferencia y correlación entre el volumen proyectado manualmente (pronóstico) y el volumen real exportado registrado en la base global	Unidades	Cuantitativo - continuo	Oct 2025 – Ene 2026	Reportes manuales semanales y extracción automática desde la Base Global	Medir la fiabilidad del proceso de pronóstico e identificar sesgos, variabilidad y exactitud para mejorar la planificación	Recolección manual de pronóstico y extracción automática desde One Vision	Comparación entre datos comerciales y datos del sistema global
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Control de dwell	Inventario inicial por depósito	Stock inicial de contenedores reefer en cada depósito	Unidades	Cuantitativo-Discreto	Oct 2025 – Ene 2026	Base Global de Equipos	Determinar el inventario vivo de contenedores en los depósitos de la línea naviera	Extracción de datos desde One Vision	Validación con reportes internos de depósitos
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Exactitud del pronóstico	Contenedores enviados por Head Office	Contenedores reposicionados por gestión global de equipos	Unidades	Cuantitativo-Discreto	Oct 2025 – Ene 2026	Correos + registros históricos	Ajustar el pronóstico y visualizar el historial de supply return	Revisión de correos y registro manual de cantidades	Comparación con reportes de llegada de contenedores vacíos
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Exactitud del pronóstico	Contenedores devueltos por importadores	Devoluciones después del ciclo de importación	Unidades	Cuantitativo-Discreto	Oct 2025 – Ene 2026	Base Global de Equipos	Proyección para la semana actual y siguiente	Extracción de datos desde One Vision	Comparación con histórico de retornos
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Exactitud del pronóstico	Contenedores de Atmósfera Controlada (CA)	Identificación de unidades CA mediante prefijos	Unidades	Cualitativo	Oct 2025 – Ene 2026	Base Global de Datos	Diferenciación y ajuste del pronóstico para contenedores CA	Programación DAX para identificar CA	Validación con lista de prefijos CA
Mateo Román	Control de Dwell	Días desde último movimiento	Días transcurridos desde el último gate-in/movimiento por cada contenedor vacío	Días	Cuantitativo - continuo	Oct 2025 – Ene 2026	Base Global de Equipos	Detectar contenedores ociosos y calcular el indicador Empty Dwell Control	Extracción de datos y cálculo de días (hoy – último movimiento)	Validación con reportes de Head Office y base de datos
Mateo Román	Emisiones CO2	Reducción en movimientos innecesarios	Movimientos de contenedores vacíos	Porcentaje	Cuantitativo - continuo	Oct 2025 – Ene 2026	Base Global de Equipos	Medir impacto ambiental	Extracción desde One Vision	Validación comparando movimientos registrados
Mateo Román	Tasa de automatización	Automation Rate	Proceso automáticos y manuales de extracción, clasificación y registro operativo usando ERP, DAX y registros manuales	# de tareas	Cuantitativo	Oct 2025 – Ene 2026	Sistemas internos	Medir y mejorar la automatización del proceso	Evaluación del número de tareas automáticas vs. manuales	Comparación entre tareas automatizadas y no automatizadas
Mateo Román	Tasa de cumplimiento / Exactitud del pronóstico	Contenedores reefer exportados por semana	Número de contenedores refrigerados exportados semanalmente	Unidades	Cuantitativo	Oct 2025 – Ene 2027	Sistemas internos + listas manuales	Entrada principal para el modelo de pronóstico	Extracción desde sistema global y listas de carga	Comparación entre listados de carga y datos del sistema global

Figura 5. Plan de recolección de datos

2.7 Definición de variables y explicación de confiabilidad y validez

Una vez se estableció el plan de recolección de datos, se procedió a evaluar las variables que describían la disponibilidad de los contenedores refrigerados vacíos a la semana. El análisis se realizó para determinar si cada una de las variables era estable y consistente y válida es decir que representa el fenómeno que medía.

La evaluación se basó en dos principios:

- Confiabilidad: La variable fue estable cuando era medida por diferentes fuentes o en distintos periodos de tiempo
- Validez: La variable representó de manera adecuada el fenómeno operacional.

A continuación, se describen las variables y su respectivo análisis.

2.7.1 Contratos de exportación

Representó el volumen anual de los exportadores, para esto se construyó un Pareto tal como se muestra en la figura 6 para analizar los top 5 clientes VIP que mantienen contratos anuales con Shipping Line.

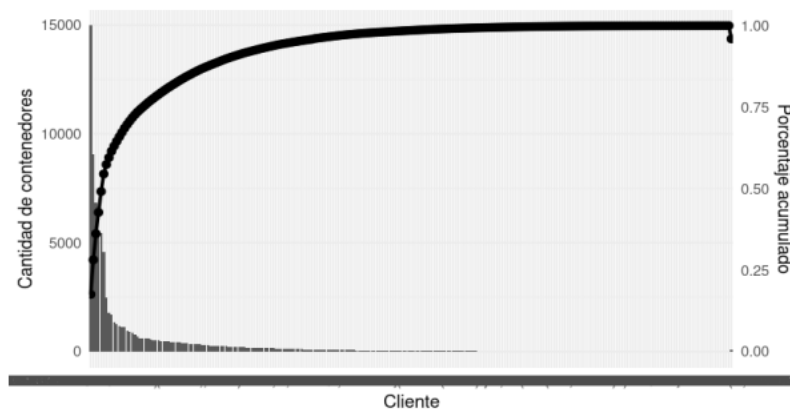


Figura 6. Diagrama de Pareto

La variable fue completamente estable y coherente, ya que los contratos de los exportadores no varían semana a semana.

Customer	Volumen contratado (Weekly)	Volumen contratado en base de datos
Customer A	318	318
Customer B	350	350
Customer C	155	155
Customer D	152	152
Customer E	165	165

Tabla 1. Volumen por contrato semanal

A pesar de ser una variable 100% confiable, no fue válida para usarse en pronósticos semanales debido a que los exportadores no embarcan de forma uniforme; pueden llegar a cumplir sus compromisos de forma anual, Esta variabilidad se ve representada en la figura 7, así como en la tabla 1, por este motivo fue descartada para usarse como variable predictora.

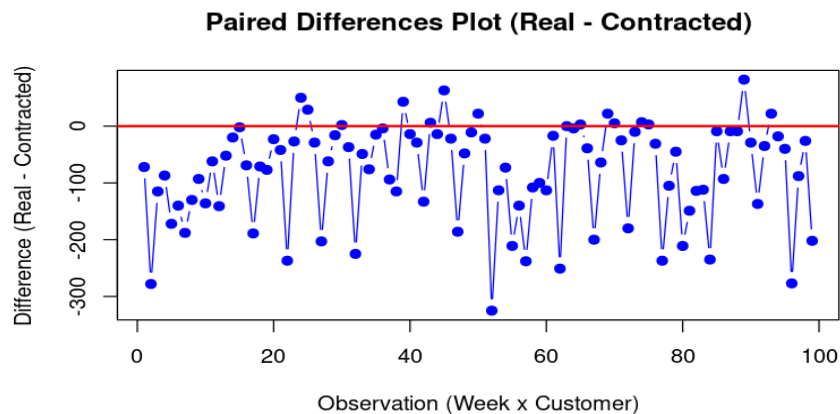


Figura 7. Gráfico de diferencias pareadas entre volumen real exportado y volumen contractual.

2.7.2 Stock inicial por depósito

Esta variable correspondió al inventario que está disponible en stock de los depósitos día a día.

Los valores reportados manualmente por parte de los depósitos y los registrados en el sistema mostraron diferencias mínimas, que se atribuyen al horario de corte de envío de cada reporte por parte de los depósitos, esto mostró un nivel adecuado de consistencia, entre ambas fuentes de información como se muestra en la figura 8.

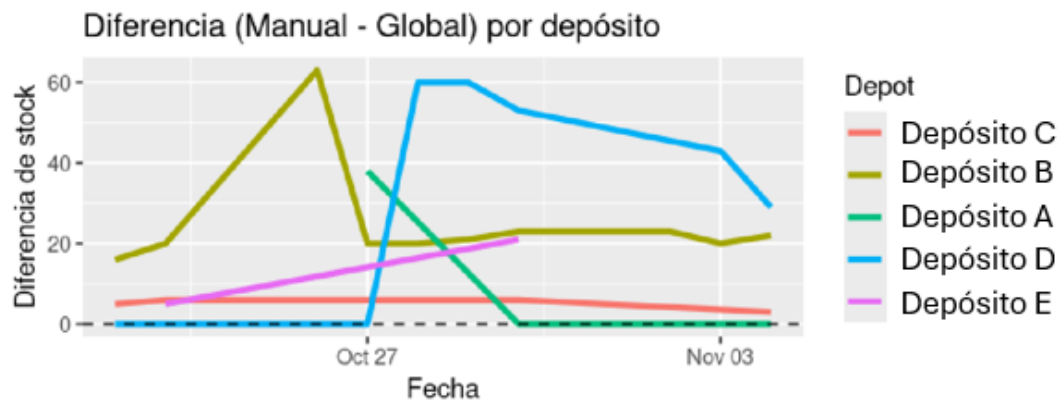


Figura 8. Diferencia entre inventarios manuales y sistema global por depósito

En validación se obtuvo que representó el inventario físico efectivamente disponible en el depósito por lo que es totalmente válido como punto de partida del cálculo para la disponibilidad semanal. Resultando como válido usar la base de datos global de equipos como fuente de información tal como se muestra en la figura 9.

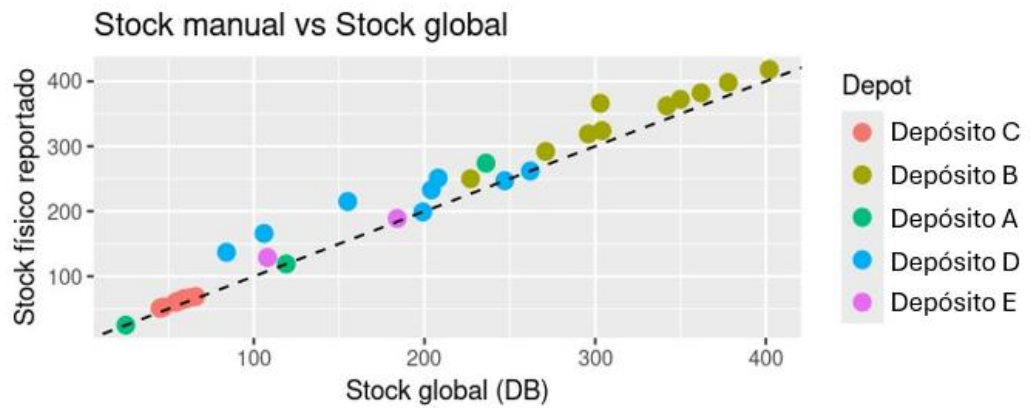


Figura 9. Comparación entre stock manual y stock registrado en la base global

2.7.3 Supply return

Esta variable hizo referencia a las unidades enviadas por parte de la matriz debido a una planificación global para las agencias

Los registros del sistema coincidieron con los listados de descarga de los buques enviados por la terminal, lo que confirmó la estabilidad y la ausencia de errores, como podemos evidenciar en la figura 10 y en la tabla 2.

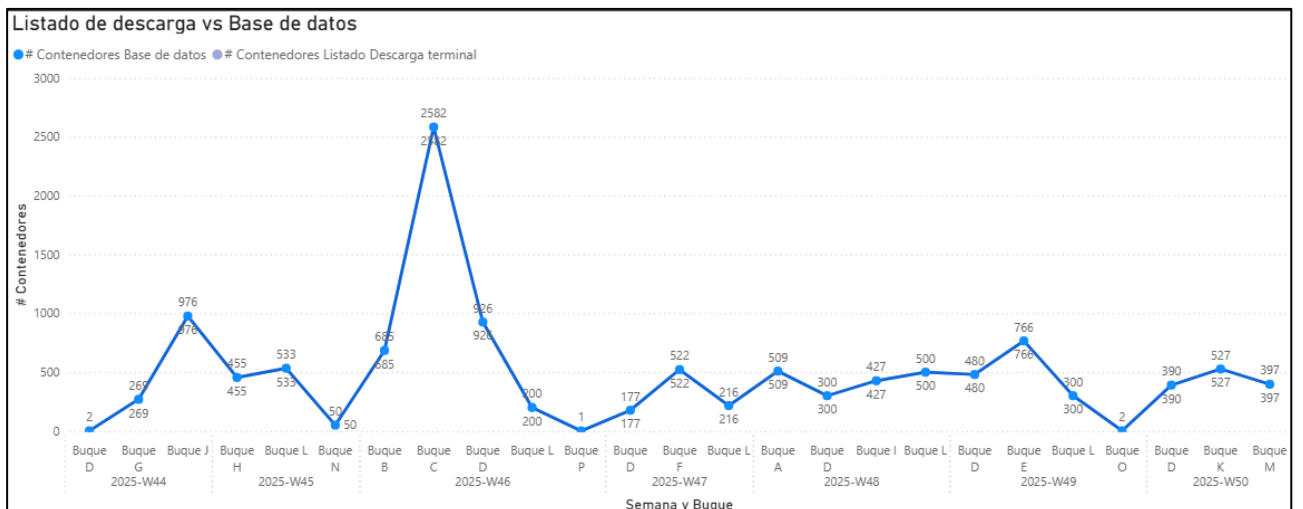


Figura 10. Reposiciones de matriz vs Listado de descarga terminal

Año	Semana	# Contenedores	Nombre de Buque	# Contenedores Listado Descarga terminal
2025	2025-W44	2	Buque D	2
2025	2025-W44	269	Buque G	269
2025	2025-W44	976	Buque J	976
2025	2025-W45	455	Buque H	455
2025	2025-W45	533	Buque L	533
2025	2025-W45	50	Buque N	50
2025	2025-W46	685	Buque B	685
2025	2025-W46	2582	Buque C	2582
2025	2025-W46	926	Buque D	926
2025	2025-W46	200	Buque L	200
2025	2025-W46	1	Buque P	1
2025	2025-W47	177	Buque D	177
2025	2025-W47	522	Buque F	522
2025	2025-W47	216	Buque L	216
2025	2025-W48	509	Buque A	509
2025	2025-W48	300	Buque D	300
2025	2025-W48	427	Buque I	427
2025	2025-W48	500	Buque L	500
2025	2025-W49	480	Buque D	480
2025	2025-W49	766	Buque E	766
2025	2025-W49	300	Buque L	300
2025	2025-W49	2	Buque O	2
2025	2025-W50	390	Buque D	390
2025	2025-W50	527	Buque K	527
2025	2025-W50	397	Buque M	397

Tabla 2. Reposiciones de matriz vs Listado de descarga terminal

Por la parte de validación representó de una forma directa la reposición de los equipos al inventario local, por lo cual esta variable es plenamente válida.

2.7.4 Devoluciones de importadores

Esta variable se refirió al ingreso de los contenedores refrigerados vacíos por parte de los importadores una vez el ciclo de importación finaliza.

Se recopiló información, en la siguiente tabla 3, de reportes provistos por el departamento de logística los mismos fueron enviados de parte de los depósitos.

Fecha	DEPÓSITO	Data depot	Base Global
Oct/24/2025	DEPÓSITO A	4	4
Oct/25/2025	DEPÓSITO A	2	2
Oct/26/2025	DEPÓSITO A	3	3
Oct/24/2025	DEPÓSITO B	4	4
Oct/26/2025	DEPÓSITO B	3	3
Oct/30/2025	DEPÓSITO B	20	20
Oct/31/2025	DEPÓSITO B	3	3
Nov/04/2025	DEPÓSITO B	8	8
Nov/05/2025	DEPÓSITO B	19	19
Nov/05/2025	DEPÓSITO A	1	1
Nov/03/2026	DEPÓSITO B	9	9
Nov/03/2026	DEPÓSITO A	1	1
Nov/05/2025	DEPÓSITO A	1	1
Nov/05/2025	DEPÓSITO 3	1	1
Nov/06/2025	DEPÓSITO A	2	2
Nov/06/2025	DEPÓSITO B	12	12
Nov/07/2025	DEPÓSITO A	1	1
Nov/07/2025	DEPÓSITO B	11	11
Nov/08/2025	DEPÓSITO B	9	9
Nov/08/2025	DEPÓSITO 3	1	1
Nov/08/2025	DEPÓSITO A	1	1
Nov/09/2025	DEPÓSITO A	1	1
Nov/09/2025	DEPÓSITO B	5	5
Nov/10/2025	DEPÓSITO B	24	24
Nov/10/2025	DEPÓSITO B	82	82

Tabla 3. Devoluciones de importadores

Como podemos observar en la tabla 3, las devoluciones coincidieron exactamente entre los registros de los depósitos de gate in y los datos de la base de datos del sistema global, evidenciando absoluta coincidencia.

Por otro lado, la validez al tratarse de un evento de devoluciones físicas de los importadores representó a exactitud la reposición del inventario, siendo una variable válida.

2.7.5 Unidades de atmosfera controlada

Aquí se analizó los reportes de contenedores despachados con tecnología de atmosfera controlada, cuya disponibilidad se puede ver afectada a un segmento de la exportación especialmente el banano, la validación se ve reflejada en lo que nos muestra la tabla 4.

SEMANA	DEPOSITO	REPORTE DEL DEPOSITO	BASE DE DATOS EMPRESA
28	DEPÓSITO E	9	9
29	DEPÓSITO E	16	16
30	DEPÓSITO E	12	12
30	DEPÓSITO D	1	1
32	DEPÓSITO E	12	12
32	DEPÓSITO D	1	1
33	DEPÓSITO E	7	7
33	DEPÓSITO D	1	1
34	DEPÓSITO E	3	3
35	DEPÓSITO E	22	22
35	DEPÓSITO D	1	1
36	DEPÓSITO E	5	5
37	DEPÓSITO E	3	3
37	DEPÓSITO D	1	1
38	DEPÓSITO E	2	2
38	DEPÓSITO D	1	1
39	DEPÓSITO D	1	1
40	DEPÓSITO E	2	2
41	DEPÓSITO E	2	2
41	DEPÓSITO D	1	1
42	DEPÓSITO D	1	1
42	DEPÓSITO E	3	3
43	DEPÓSITO D	1	1
43	DEPÓSITO E	1	1
44	DEPÓSITO D	1	1
44	DEPÓSITO E	2	2
44	DEPÓSITO A	22	22
44	DEPÓSITO B	12	12
44	DEPÓSITO C	24	24
45	DEPÓSITO D	1	1
45	DEPÓSITO E	2	2
45	DEPÓSITO A	14	14

Tabla 4. Contenedores atmósfera controlada Reporte Depósitos vs Base Empresa

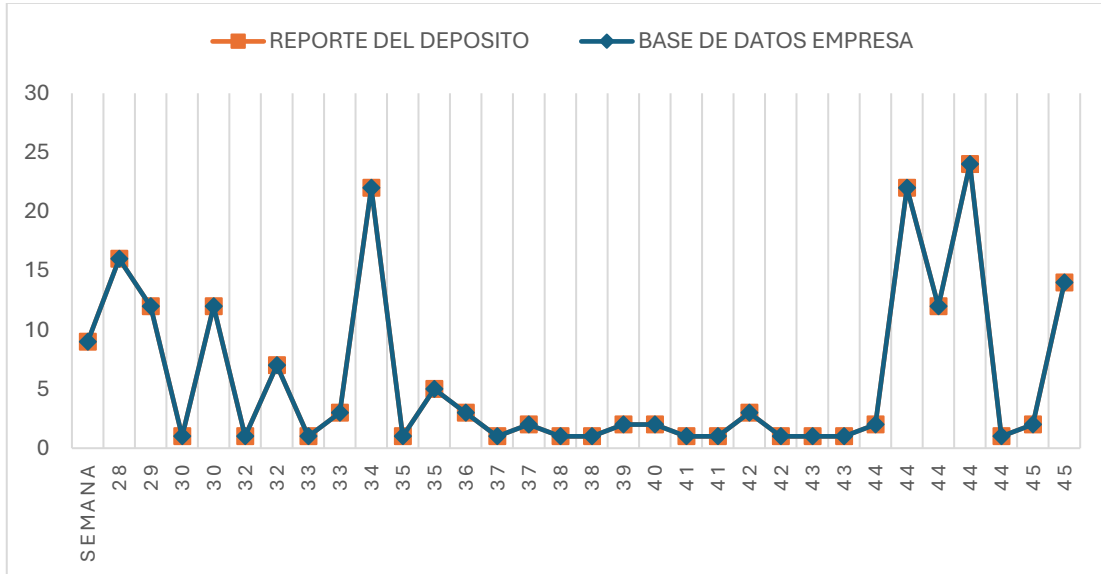


Figura 11. Relación de unidades de atmosfera controlada Manual vs Base de datos

Los registros manuales de los depósitos y del sistema coincidieron en todas las semanas que se analizó esta variable, mostrando total consistencia como podemos observar en la figura 11.

Por otra parte, las unidades fueron clasificadas como unidades de atmósfera controlada cuando la reserva del cliente así lo requería y debido a la identificación de prefijos de contenedores que corresponde a este tipo de contenedores, por lo que la variable es válida y técnicamente precisa.

2.7.6 Unidades con control de sobrestadía

Esta variable midió el número de días que un contenedor refrigerado permanece sin un movimiento dentro del depósito es decir que se queda como un inventario muerto sin visibilidad.

Por parte de la confiabilidad la medición mostró coincidencias exactas entre el sistema y los reportes que se envían por parte de matriz

El tiempo de sobrestadía capturó adecuadamente los días que el contenedor pasa en el depósito sin ningún movimiento adicional, reflejando así el comportamiento real de estas unidades.

2.7.7 Movimientos de contenedores para indicador CO2

La variable registró los movimientos de los contenedores semanalmente, proveniente del registro del sistema global de la naviera, los movimientos son consistentes con los eventos de ingreso a la terminal y despacho en los buques. Como podemos observar en la figura 12 la variable además es válida debido a que representa el fenómeno operativo para poder calcular las potenciales reducciones en emisiones de CO2.

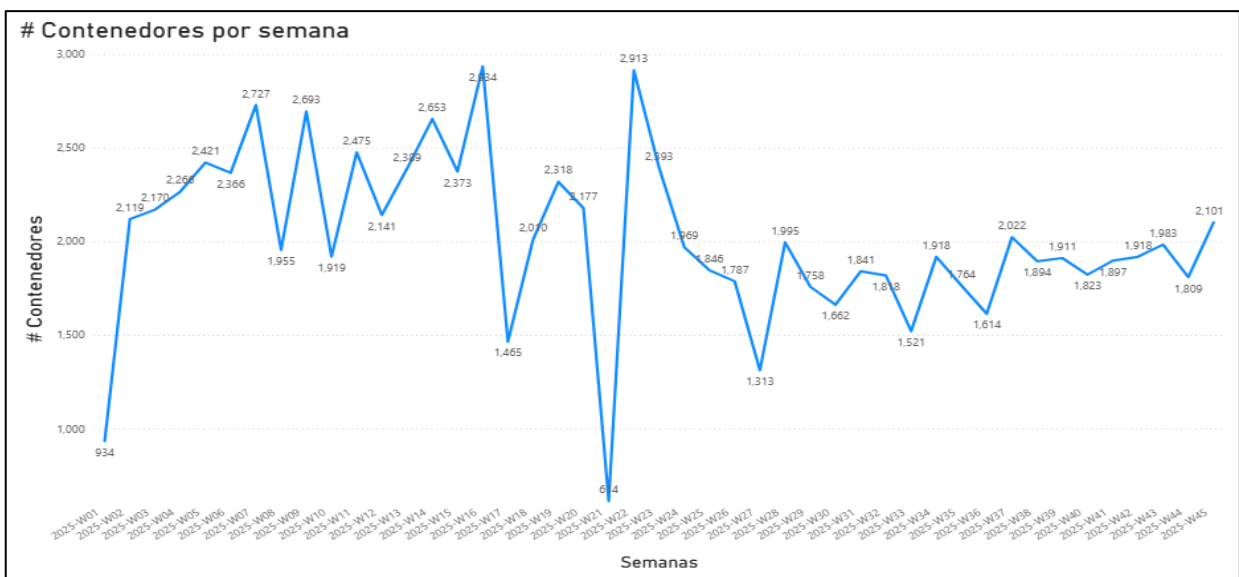


Figura 12. Movimientos de contenedores semanales

2.7.8 Automatización de tareas de proceso

Indicó el porcentaje de tareas del proceso que son ejecutadas de manera automática en comparación con las tareas manuales.

No existen variaciones en las mediciones debido a que representan como se ejecuta el proceso confirmando su estabilidad, además que representó con precisión el

desempeño real del proceso, ya que se basó en tareas que son medibles y verificables, por tanto, que su validez quedó confirmada.

2.7.9 Exportaciones semanales de contenedores refrigerados

Esta variable representó la cantidad real de contenedores refrigerados que zarparon en un viaje cada semana y constituyó la serie base del modelo de pronóstico.

La variable se comparó con listados de carga enviados por las terminales determinando alta confiabilidad sin discrepancias, lo que mostró una estabilidad en las mediciones semanales.

La exportación semanal reflejó directamente la demanda real del mercado y la operación semanal por lo tanto fue completamente válida para alimentar el modelo de pronóstico.

2.8 Evaluación de alternativas de diseño

Una vez las variables fueron definidas y validadas, se evaluaron tres alternativas de diseño para generar el modelo de pronóstico semanal para la planificación de contenedores refrigerados estos fueron el modelo manual (modelo actual), método de Holt Winter, suavizamiento exponencial y modelos avanzados como ARIMA/Prophet.

2.8.1 Alternativa 1: Pronóstico Manual

Este modelo se basó en la agregación de inputs manuales como lo es el inventario inicial semanal, compromisos comerciales, retornos de los importadores y reposiciones por parte de la matriz

Como restricciones de este método está el alto riesgo del error humano debido a la entrada manual de datos, no se maneja de manera formal las tendencias ni la estacionalidad, la precisión es inconsistente, no se tiene una visibilidad clara además de representar una gran carga manual operativa de este proceso.

2.8.2 Alternativa 2: SES

El método de suavizamiento exponencial Simple, es un modelo de pronóstico de series temporales que otorga un mayor peso a los valores más recientes, lo cual permite generar estimaciones actualizadas de forma más continua. A diferencia de un pronóstico manual, este método reduce significativamente la dependencia de la intervención humana, de manera que utiliza datos históricos de la demanda semanal para calcular el valor esperado de la siguiente semana.

El SES por sus siglas en ingles resultó bastante adecuado para entornos operativos donde el objetivo principal es la planificación a corto plazo como cuando se requiere una respuesta rápida a los cambios que se producen por la demanda. En este contexto de planificación semanal, el enfoque permite la generación de pronósticos automáticos de forma consistente, bajo una implementación sencilla dentro de un flujo de datos estructurado.

Entre algunas ventajas principales del SES se encuentra su facilidad de ser automatizado, con bajo esfuerzo de mantenimiento y alta interpretabilidad para la gerencia logística, debido a que se comporta como un promedio móvil ponderado donde principalmente el parámetro de suavizamiento controla que tan rápido el modelo se adapta a variaciones recientes. Esto de aquí lo convierte en una alternativa viable para la integración hacia dashboards operativos y procesos de asignación semanal, aportando mayor estabilidad en comparación con un método manual.

2.8.3 Alternativa 2: Holt Winter

Este método incorporó series temporales, y parámetros como el nivel, tendencia y estacionalidad, resulta especialmente adecuado para la demanda de los contenedores refrigerados, representa los ciclos del giro de negocio asociados al ciclo de exportación.

Este método resulta sensible a ciertos outliers operativos, requiriendo un periodo con estacionalidad consistente y que los datos históricos sean validados.

2.8.4 Alternativa 2: ARIMA / PROPHET

Es un modelo estadísticamente avanzado con componentes de auto regresión, medias móviles y estacionalidad. Este método permite incorporar los regresores externos y patrones irregulares, usa patrones ARIMA (p,d,q) y estacional.

Por otro lado, este método requirió de un alto expertise estadístico, lenguajes de programación complejos que pueden no adaptarse a las bases de datos de la naviera, además de ser sensible al ajuste de parámetros y al ser este un negocio en el cual la variabilidad es constante puede caer en errores haciendo fallar la planificación semanal e incurrir en costos altos de operatividad.

2.8.5 Evaluación de alternativas

Mediante una matriz como se muestra en la tabla 5 se evaluó como las opciones de diseño pueden favorecer a las especificaciones de diseño previamente planteadas, así también se empleó una matriz de análisis según teoría de pronósticos, como se muestra a continuación

Especificación de diseño	Weight	SES	Weight	Holt-Winters	Weight	ARIMA	Weight
>= 90% de solicitudes de contenedores refrigerados vacíos	0.21	4	0.84	4	0.84	5	1.05
% de semanas en las que el modelo de pronóstico respaldó la asignación sin stock out $\geq 80\%$	0.24	5	1.2	4	0.96	4	0.96
% de contenedores vacíos que permanecen en el depósito durante menos de 7 días o igual $\geq 95\%$	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Porcentaje de reducción de emisiones debido a prevención de movimientos innecesarios $\geq 20\%$	0.22	4	0.88	4	0.88	3	0.66
% de tareas de asignación y presentación de informes realizadas automáticamente $\geq 70\%$	0.13	5	0.65	4	0.52	2	0.26
Total	1		4.37		4		3.73

Tabla 5. Matriz para selección de opciones de diseño

La opción manual no cumple con ninguna especificación de diseño, mientras que ARIMA / PROPHET cumple con un buen desempeño técnico pero una baja compatibilidad operativa y baja automatización, SES representa el mejor desempeño con un valor ponderado de 4.37, por lo que resulto la opción preferida.

Criterio	Peso	Manual	SES	Holt- Winters	ARIMA
Precisión del pronóstico semanal (h=1)	30%	1	5	3	4
Flexibilidad del horizonte (h=1 vs h=4)	15%	1	4	5	4
Facilidad de automatización	20%	2	5	4	2
Estabilidad e interpretabilidad para planificadores	15%	3	5	4	2
Esfuerzo de mantenimiento	10%	2	5	4	2
Compatibilidad con el proceso actual	10%	4	5	4	3
TOTAL	100%	2.05	4.9	3.95	2.8

Tabla 6. Matriz de selección para análisis teórico de pronóstico

El método manual, como se describe en la tabla 6, muestra su bajo desempeño técnico, ARIMA es un método bastante preciso, pero es complejo e inestable, mientras que SES obtiene el mejor balance con una ponderación de 4.9 de alta precisión y baja complejidad.

2.8.6 Validación cuantitativa (Validación Cruzada)

Con el fin de seleccionar el método de pronóstico que sea más adecuado para el buen desarrollo de la planificación semanal de contenedores refrigerados vacíos se realizó una validación cuantitativa de las alternativas propuestas mediante la utilización de walk forward cross validation, que en español vendría a ser validación con origen rodante.

Este tipo de validación es apropiado debido a que el proceso de planificación opera en ciclos semanales, esto porque la demanda varía cada semana y depende de varios factores operativos y logísticos, debido a esto se requiere generar un pronóstico actualizado semana a semana.

A diferencia de un método de partición tradicional de entrenamiento y prueba llamado en inglés train test Split, el método walk forward permitió simular el comportamiento real del modelo en la operación. En cada una de las iteraciones realizadas que fueron 106 se generó un pronóstico de horizonte 1 semana. Una vez esta información se proporcionó el modelo pasa a la siguiente vuelta incorporando la demanda real de la semana pronosticada, repitiendo el proceso de manera continua.

Para garantizar la estabilidad estadística durante la estimación, el tamaño de entrenamiento fue de 104 semanas, lo cual permitió capturar el comportamiento del negocio y reducir riesgo de sobreajuste debido a ventanas de tiempo demasiado cortas.

La precisión de cada método se evaluó mediante métricas de la teoría de pronósticos como MAPE que es el error porcentual absoluto medio y el RMSE que es el

error cuadrático medio, el MAPE permite capturar el error en términos porcentuales y el RMSE los errores más grandes, los cuales son críticos en la planificación logística ya que tienen como consecuencia la caída en stockouts o reposiciones innecesarias que incurren en costos altos.

Modelo	Folds	MAPE (%)	RMSE	Notas operativas	Decisión
SES	106	15.72	348.3	Excelente en suavizamiento de corto plazo	Seleccionado
ARIMA	106	16.27	361.69	Precisión competitiva, pero es más difícil de mantener y es menos óptimo para operaciones logísticas	No seleccionado
Holt- Winters	106	21.83	478.28	Modela la tendencia y la estacionalidad anual; genera pronósticos con mayor horizonte y no captura la demanda semanal, mayor error	No seleccionado

Tabla 7. Resultados de Validación Cruzada y selección de modelo

Los resultados de esta validación cruzada como podemos observar en la tabla 7 confirmaron que con un 15,72% de error SES presentó el mejor desempeño para un horizonte de planificación semanal, la mantener este promedio inferior y una mayor estabilidad frente a variaciones operativas en comparación con los otros métodos analizados. Adicional a esto, su facilidad de implementación y simplicidad en términos de automatización hacen de este método el más adecuado para integrarse al proceso semanal de planificación logística.

2.8.7 Análisis Financiero

Alternativa	Costo inicial (USD)	Costo anual (USD)	Beneficio anual (USD)	Payback (años)
1. Manual	0	2,948.40	0	
2. SES Automatizado (Power BI)	550	844.84	2,103.56	0.26 años (3.1 meses)
3. ARIMA/Prophet externo	15,000	40,000	2,103.56	7.13 años

Tabla 8. Análisis Financiero

El análisis financiero como podemos observar en la tabla 8 comparó el costo - beneficio de las alternativas evaluadas, para cada alternativa planteada se consideraron los costos iniciales, costos anuales de operación y el ahorro que genera la automatización del proceso de planificación.

El método manual no presentó inversión inicial, pero tiene un costo anual elevado debido a la carga operativa equivalente a 2948.40 dólares al año, SES requirió una inversión inicial de 550 dólares con costo anual de 844.84 dólares. Gracias a la automatización el tiempo requerido se redujo a 52 horas. El payback se calculó mediante:

$$\text{Payback} = \frac{550}{2103.56} = 0.26 \text{ años} \approx 3.1 \text{ meses}$$

Finalmente, el método ARIMA / PROPHET resultó financieramente inviable debido a su alto costo inicial de 15 mil dólares y costo anual de 40 mil, a pesar de que genera el mismo ahorro operativo es económicamente inviable y su retorno se genera en un periodo de tiempo demasiado amplio.

Capítulo 3

3. Resultados y Diseño Final

Como resultado, se implementó un algoritmo de pronóstico semanal que está orientado hacia la planificación de contenedores refrigerados vacíos, o por sus siglas en inglés 40 HR (40 foot High Reefer), donde se integra un modelo estadístico de series temporales con herramientas orientadas a la transformación digital para poder capturar y visualizar de manera que soporten la planificación operativa.

El diseño final permitió consolidar la información del stock por depósito, devoluciones semanales por parte de los importadores, reposicionamiento de parte de matriz y volúmenes de exportación semanales, generando un pronóstico con horizonte de 1 semana, el cual se alinea al ciclo real de la toma de decisiones de la gerencia logística.

El producto final tiene una estructura desarrollada en tres componentes principales como podemos observar en la figura 13, los cuales son la fuente centralizada de los datos, un algoritmo de pronóstico semanal y un desarrollo de interfaz de visualización para dar soporte a la planificación en el horizonte establecido. Bajo este contexto, el algoritmo de pronóstico no se desarrolló como un análisis aislado, sino como una solución integrada al proceso semanal de asignación y el control del inventario.

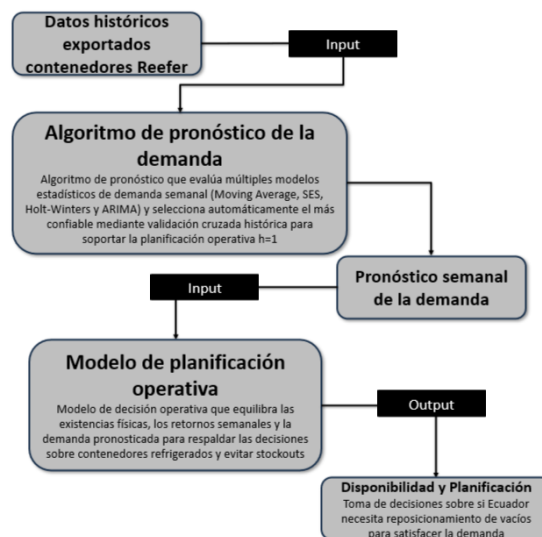


Figura 13. Flujo de Diseño Final

La primera parte fue un desarrollo de una aplicación dentro Power Apps como una herramienta en la cual se centralizaran los datos ingresados como resultado del algoritmo de pronóstico realizado en Google colab, esta ligera automatización low code se realizó debido a los lineamientos de seguridad de shipping line no se puede integrar Python con herramientas office 365, además la solución permite estandarizar el registro de esta variable crítica del proceso, reduciendo errores de consolidación manual, y aportó consistencia y trazabilidad.

La segunda parte fue la implementación de un tablero de control visual como podemos observar en la figura 14 y 15 dentro de power bi, el cual mediante un modelo semántico de datos a través de relaciones entre tablas comunes se integró la base de datos que captura el inventario físico actual disponible, los retornos semanales ya sea por parte de importadores o el reposicionamiento por parte de matriz, el ciclo de exportación semanal, el pronóstico semanal y el balance de disponibilidad proyectada, todo esto mediante medidas DAX para capturar de manera real y automática el comportamiento semanal obteniendo así datos más reales y precisos. Adicionalmente, el tablero de control facilita el monitoreo semana a semana de los indicadores de las especificaciones de diseño.

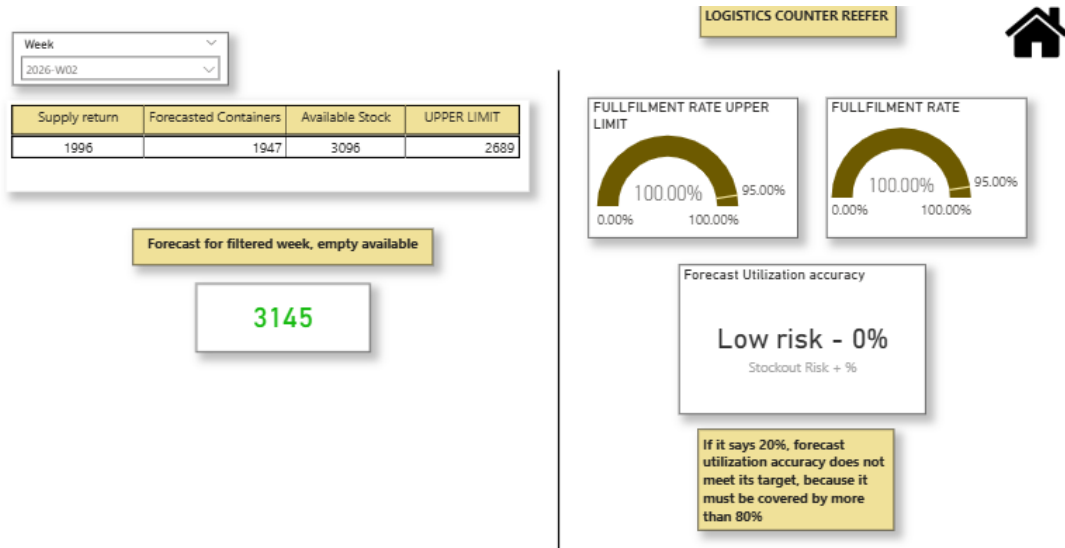


Figura 14. Tablero de control visual 1

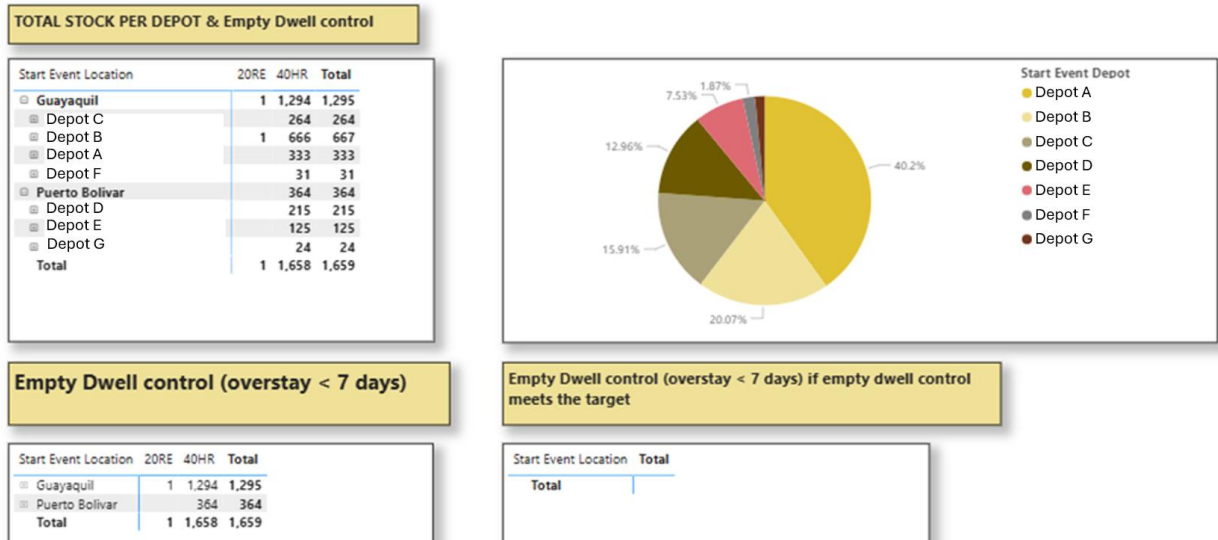


Figura 15. Tablero de control 2

Finalmente, como resultado del sistema se permitió fortalecer la planificación de contenedores refrigerados de una manera automatizada y estandarizada, de manera que se mejoró la visibilidad del inventario físico de los contenedores refrigerados vacíos, de esta manera se facilitan las decisiones preventivas ante los riesgos de stock out o acumulación por sobreestadía de inventario en los depósitos. De esta manera, el diseño final entregó una solución operativa implementada, con capacidad de actualización día a día que se orienta a mejorar el nivel de servicio y la eficiencia logística.

3.1. Resultados del desempeño del pronóstico semanal

Una vez se seleccionó el método de suavizamiento exponencial simple como base del pronóstico semanal, se implementó el modelo dentro del flujo a través de power apps con el horizonte de planificación de 1 semana. El pronóstico generado se usó como insumo principal para estimar la demanda semanal de refrigerados y poder generar la disponibilidad requerida para cubrir las solicitudes operativas.

El resultado del modelo permitió que el pronóstico generado sea consistente semana a semana, donde se redujo la variabilidad asociada a un criterio manual además de proporcionar una referencia cuantitativa para la toma de decisiones operativas de la gerencia logística. En la práctica el modelo se integró al balance semanal de planificación que permitiendo contrastar el inventario disponible con la demanda proyectada y así de esta manera poder identificar de manera preventiva semanas que tengan riesgo de caer en stock outs o controlar el exceso de inventario.

De manera adicional, el modelo facilitó la estandarización del proceso, dejando de usar consolidaciones de datos manuales lo cual representó un fuerte impacto operacional al año alrededor de 520 horas y paso a ser automatizado con la base histórica de exportación semanal disminuyendo el tiempo operacional a 52 horas anuales. Como resultado la gerencia logística obtuvo una herramienta replicable, de actualización

continua y automatizada capaz de respaldar la asignación de contenedores y mejorar la visibilidad del comportamiento logístico de contenedores semana a semana. A continuación, podemos observar en la figura 16 como se comportó el modelo.

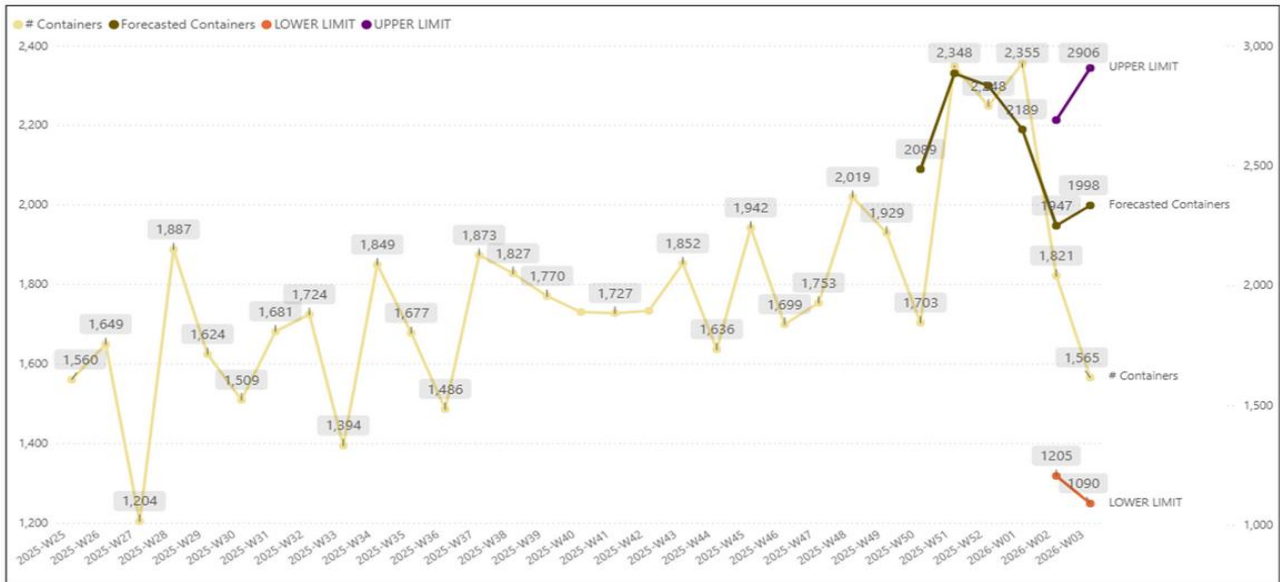


Figura 16. Comportamiento semanal del pronóstico

3.2. Resultados del cumplimiento de especificaciones de diseño

Una vez se implementó el modelo de pronóstico semanal y la integración con el tablero de control, se evaluó el cumplimiento de las especificaciones de diseño que fueron definidas, comparando la situación previa, antes de la implementación donde no existía un control ni se llevaba un monitoreo de KPI's frente a un escenario posterior con la implementación de un modelo de pronóstico y KPI's robustos.

El periodo de la evaluación fue durante semanas representativas durante el cierre del año 2025, específicamente semana 45, hasta inicios del año 2026, semana 2, permitiendo de esta manera observar el comportamiento del nuevo sistema bajo condiciones operativas y logísticas reales. Se evidenció que el diseño final permitió pasar de un modelo antiguo reactivo y tomas de decisiones sin históricos, basadas en correos

electrónicos a un esquema estandarizado, automatizado y monitoreado mediante un dashboard cumpliendo los objetivos finales del proyecto.

3.2.1. Índice de cumplimiento de ordenes de contenedores (Fulfillment Rate)

El indicador del índice de cumplimiento de ordenes de contenedores, midió el porcentaje de solicitudes de contenedores refrigerados vacíos que fueron atendidas. Previo a la implementación de la solución, la asignación semanal se realizaba de forma manual y reactiva, sin ninguna herramienta formal de pronóstico o tablero de control, para analizar los riesgos de caer en stock outs y no poder cumplir las órdenes, como muestra la tabla 9. Posterior a la implementación, se obtuvo un sistema semanal de pronóstico y monitoreo incorporando los límites superiores e inferiores para analizar distintos casos de variaciones de la demanda fortaleciendo la toma de decisiones y reducir el riesgo de caer en stock outs.

Como resultado, durante el periodo evaluado el cumplimiento de esta especificación de diseño alcanzó el 100%, superando el mínimo de 90%

Año	Semana	Pronóstico	Stock	Retornos	Disponibilidad (Stock + Retornos)	Stockout?
2025	45	1713	1585	1038	2623	No
2025	46	1747	2468	4594	7062	No
2025	47	1574	2818	1437	4255	No
2025	48	2132	1731	2266	3997	No
2025	49	1742	1208	3293	4501	No
2025	50	2035	1534	1544	3078	No
2025	51	2278	2395	9963	12358	No
2025	52	2089	2467	2969	5436	No
2026	1	1907	1296	4913	6209	No
2026	2	1959	2980	1996	4976	No

Tabla 9. índice de cumplimiento en semanas evaluadas (Fulfillment rate)

3.2.2. Control de sobreestadía de contenedores vacíos (Empty Dwell Control)

El indicador de sobreestadía midió el porcentaje de contenedores refrigerados vacíos que permanecieron en el depósito por un periodo menor o igual a 7 días.

El periodo de evaluación durante la implementación del diseño final se dio durante el periodo de noviembre de 2025 semana 45 y las primeras dos semanas de enero del 2026, intervalo en el cual se ejecutó un seguimiento continuo del inventario operativo.

Antes del diseño final implementado, este control se llevaba de manera reactiva y dependía en su 100% de seguimientos manuales y escalaciones mediante correos por parte de matriz. Esto causaba que la visibilidad se redujera y aumentaba el riesgo de acumulación de inventario en los depósitos. Ahora con la implementación del diseño, el monitoreo pasó a ser automático y proactivo mediante el tablero de control, de manera que se permita de manera rápida y efectiva medir el dwell time en tiempo real segmentando por depósito, tal como se muestra en la figura 17.

Obteniendo como resultado durante el periodo evaluado, un indicador que alcanzó el 100% superando un estándar definido de mayor o igual al 95% de contenedores que permanecen en el depósito menos de 7 días como podemos observar en la tabla 10, lo que

evidencia una mejora significativa en el control de la rotación del inventario de contenedores refrigerados vacíos.

Año	Semana	Contenedores Sobreestadía
2025	45	0
2025	46	0
2025	47	0
2025	48	0
2025	49	0
2025	50	0
2025	51	0
2025	52	0
2026	1	0
2026	2	0

Tabla 10. Control de Sobreestadía

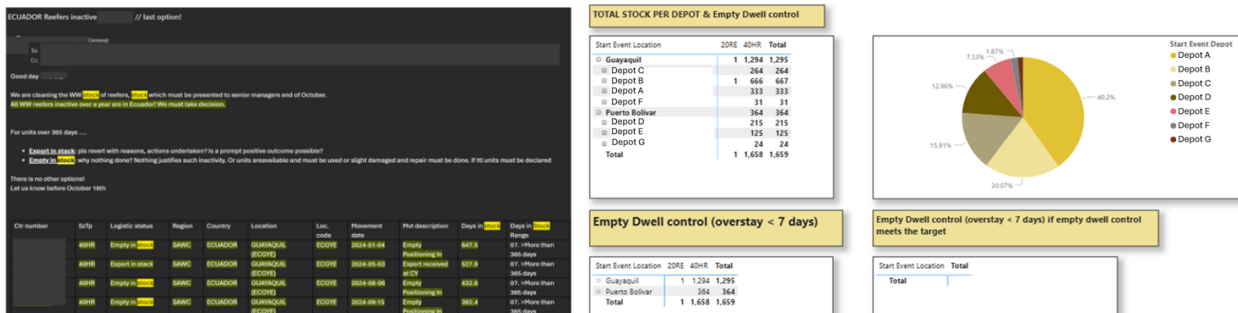


Figura 17. Especificación de diseño control de sobreestadía (Empty dwell control)

3.2.3. Porcentaje de automatización del proceso (Automation Rate)

El indicador de automatización midió el porcentaje de las tareas del proceso de planificación logística semanal. Antes de la implementación del diseño las actividades de planificación dependían de descargas y consolidaciones manuales, lo cual incrementaba el tiempo operativo y un gran riesgo de error humano. Con la implementación final se automatizaron las tareas claves relacionadas con la carga de los datos, ejecución del modelo de pronóstico y visualización de resultados mediante un tablero de control en

power bi, reduciendo de manera significativa la intervención manual, además se levantó el proceso que antes no existía, reduciendo significativamente la intervención manual.

Como resultado, el proceso automatizado alcanzó un 71% cumpliendo el objetivo de un mínimo de 70%

AS - IS	TO - BE
Carga manual de información de depósitos	Entrenamiento y ejecución de modelos en Google Colab
Carga manual de reportes de stock	Visualización de pronóstico y KPI's en Power BI
Carga manual de reposicionamiento de stock	
Descarga manual de devoluciones	
Descarga manual de stock	
Descarga manual de reposicionamiento	
Consolidación de datos en Microsoft Access	

Tabla 11. Proceso de planificación logística antes vs después

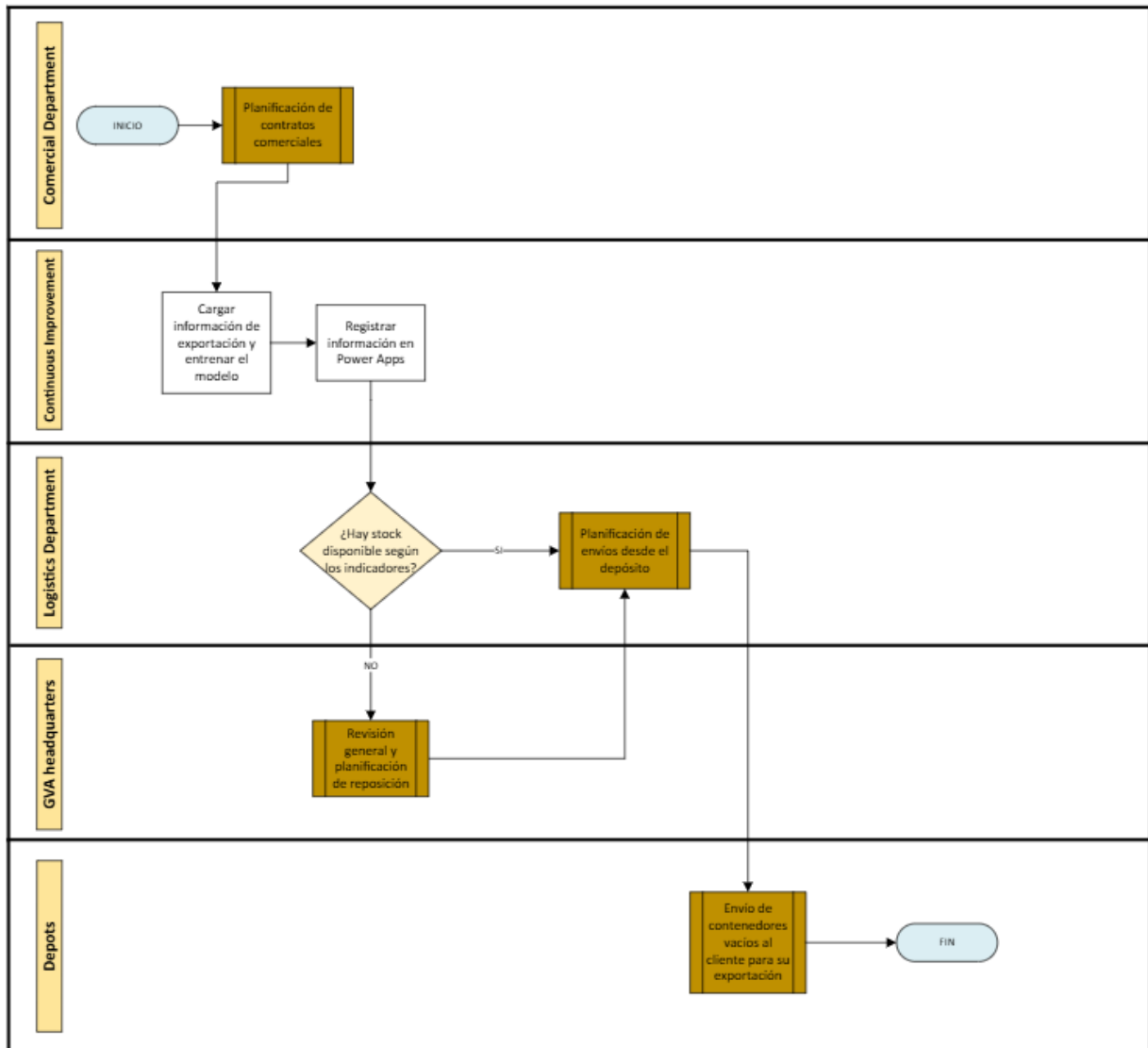


Figura 18. Flujo de proceso de planificación logística automatizado

3.2.4. Uso del modelo de pronóstico para soportar la planificación logística (Forecast utilization accuracy)

El indicador Forecast Utilization Accuracy midió el porcentaje de las semanas evaluadas desde la semana 45 en noviembre de 2025 hasta la semana 2 del 2026, donde el pronóstico semanal permitió soportar la planificación logística sin generar stockouts de los contenedores refrigerados vacíos, como se muestra en la figura 19, este indicador

evalúa el uso efectivo del pronóstico como una herramienta para el soporte de las decisiones operativas semana a semana.

Antes de la implementación del diseño final, no existía un mecanismo formal de validación semanal que pueda contrastar la planificación logística operativa versus un pronóstico estructurado, lo que recaía en decisiones reactivas de último momento y en reposicionamientos no planificados por parte de la casa matriz.

Una vez fue implementado el diseño final se pudo establecer un modelo de control semanal que compara el pronóstico generado por el algoritmo contra la disponibilidad total proyectada la cual considero inventarios de depósitos en tiempo real, devoluciones de los importadores y reposiciones planificadas por parte de matriz. Este análisis permitió anticipar las caídas del inventario y poder planificar sin decisiones reactivas basadas en datos reales.

Como resultado durante el periodo evaluado, el indicador del forecast utilization accuracy alcanzó un 100%, ya que pudo pronosticar de forma real los contenedores refrigerados vacíos de la siguiente semana brindando escenarios de alta y baja demanda con los límites de pronóstico, lo que significó que en las semanas evaluadas el pronóstico soportó la demanda superando el estándar establecido de la especificación de diseño.

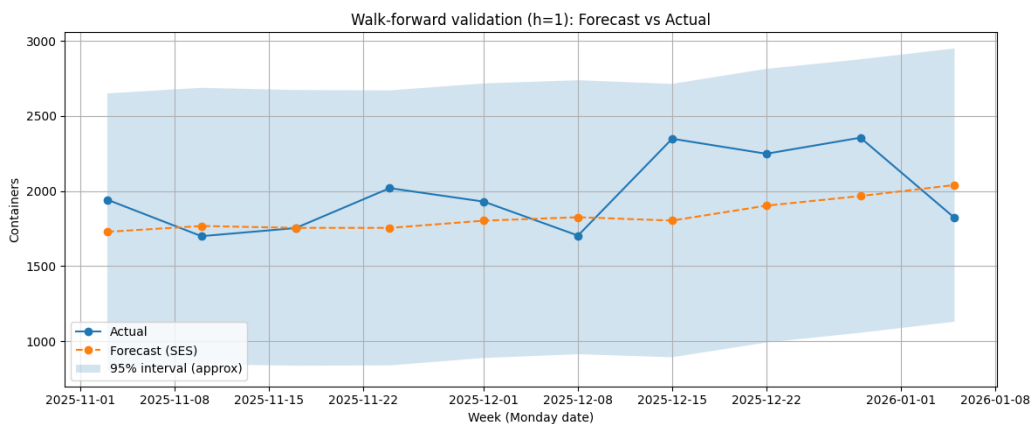


Figura 19. Indicador Forecast Utilization Accuracy comportamiento durante semanas evaluadas

	Year	Week	Forecast	Actual	Lower_95	Upper_95
0	2025	45	1727.94377	1942	805.932009	2649.95552
1	2025	46	1766.72337	1699	846.420185	2687.02656
2	2025	47	1754.44381	1753	836.415031	2672.47258
3	2025	48	1754.18227	2019	838.422899	2669.94163
4	2025	49	1802.18408	1929	887.81598	2716.55218
5	2025	50	1825.26136	1703	912.901993	2737.62074
6	2025	51	1803.01985	2348	892.790688	2713.249
7	2025	52	1902.20681	2248	990.889274	2813.52435
8	2026	1	1966.30049	2355	1055.81553	2876.78545
9	2026	2	2039.68773	1821	1129.70865	2949.66681

Tabla 12. Forecast Utilization accuracy validación semanas evaluadas

3.2.5. Reducción de emisiones de CO2 y movimientos innecesarios (CO2 Emissions)

Como parte del impacto ambiental del proceso de planificación logística, se evaluó el porcentaje de reducción de emisiones de CO2 estimadas mediante una evaluación de la disminución de reposicionamientos innecesarios de contenedores vacíos. Antes de la implementación, los reposicionamientos se realizaban de manera reactiva y no planificada sin una validación basada en un pronóstico y disponibilidad de inventario para el horizonte de una semana, lo cual generaba movimientos terrestres evitables. Con el diseño final, la combinación de un pronóstico semanal, la visibilidad de stock en los depósitos, visibilidad de devoluciones reales planificadas permitió identificar anticipadamente movimientos que en realidad no son requeridos y que son prevenibles antes de su ejecución.

Como resultado de esto, tal como se evidencia en la tabla 13, se estimaron ahorros reales de movimientos innecesarios terrestres con tres casos de buques que pudieron haber sido evitados con la implementación del diseño alcanzando una reducción estimada de movimientos de 45,94% superando el objetivo mínimo del 20%, adicionalmente se pudo estimar evitar 377 toneladas de CO2 en movimientos innecesarios.

Periodo de tiempo	Caso	Movimientos planeados	Movimientos innecesarios	Movimientos antes	Movimientos despues	% Reducción	Ahorros estimados en \$
26-Jan	VESSEL A	1000	659	1659	1000	39.72%	283,370
25-Dec	VESSEL B	1600	727	2327	1600	31.24%	312,610
25-Dec	VESSEL C	416	839	1255	416	66.85%	360,770
TOTAL						45.94%	\$956,750.00

Tabla 13. Indicador de emisiones de CO2 Estimación (CO2 emissions)

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró consolidar y estructurar la información histórica de los embarques junto con los stocks totales de los depósitos, los reposicionamientos de unidades por parte de la casa matriz y las devoluciones por parte de los importadores, lo cual estableció una base de datos centralizada, confiable y validada para el desarrollo del modelo de pronóstico semanal. Esta consolidación permitió reducir los stockouts de contenedores refrigerados vacíos semana a semana y fortalecer la toma de decisiones mediante información confiable lo que mejoró la planificación y visibilidad de este tipo de contenedores.

- Se evaluó diferentes modelos de pronóstico mediante validación cruzada, evidenciando que el modelo Simple Exponential Smoothing (SES) obtuvo el mejor desempeño para el horizonte de una semana con un MAPE de 15.72% y RMSE de 348.3 en 106 iteraciones. Esto confirmó que el modelo seleccionado fue el mejor para soportar decisiones semanales de planificación logística, reduciendo el riesgo de stockouts, automatizando y dando una mejor estabilidad al proceso.

- El diseño implementado permitió generar pronósticos y simulaciones en escenarios operativos integrados en un dashboard interactivo que transformó la planificación logística semanal de un método manual sin control de indicadores reales y reactivo hacia un esquema proactivo, automatizado y robusto basado en datos consolidados. Como resultado el cumplimiento de las ordenes de contenedores alcanzó el 100%, el control de sobreestadía al 100% y el pronóstico respaldó la planificación sin stockouts al 100%, durante las semanas evaluadas desde el 2025 semana 45 hasta el 2026 semana 2. Adicionalmente, se identificó y

simuló un potencial de reducción de movimientos innecesario y emisiones estimando una reducción potencial del 45,94% en reposicionamientos internos terrestres que representan 377 toneladas de emisiones de CO₂.

4.2. Recomendaciones

Tras culminar la planificación del diseño propuesto se recomiendan las siguientes acciones para poder fortalecer la sostenibilidad del modelo y ampliar a una gran escala el impacto en futuras etapas:

- Mantener la recalibración continua del algoritmo con datos de exportación actualizados semana a semana para asegurar que el modelo capture los cambios recientes que puedan darse en la demanda con el objetivo de mantener la estabilidad operativa.
- Integrar completamente el algoritmo al modelo de datos de power bi, esto con el objetivo de incrementar el nivel de automatización y reducir los errores de carga y descarga de datos en el proceso de planificación.
- Estandarizar el uso del dashboard como la única fuente de datos para el proceso de planificación logístico, con esto se evita de depender de correos electrónicos por parte de matriz e internos de manera que esto se mantenga como una sola fuente a escala interna y gerencia global, para niveles de inventario, retornos, pronóstico y controles semanales.
- Incluir modelos alternativos de respaldo, manteniendo un método simple como una especie de contingencia ante semanas de comportamiento atípico, fallas temporales de fuentes de datos o cambios bruscos en la demanda
- Mantener reuniones regulares entre equipo comercial y logístico, con el fin de alinear estrategias comerciales y pronóstico de la demanda con la disponibilidad de contenedores, de esta manera la planificación semanal se

fortalece bajo diferentes escenarios operáticos asegurando mejora continua en el proceso.

- Evaluar con matriz la escalabilidad del modelo hacia otras agencias utilizando los mismos indicadores planteados para poder replicar esta solución en otras agencias, fortaleciendo la visibilidad global del inventario y establecerlo como buena práctica de planificación logística.

Referencias

- Abdelshafie, A. (2023).** Simulated global empty containers repositioning using agent-based modelling. *Systems*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.3390/systems11010048>
- Blažina, A., Grubišić, N., & Dundović, Č. (2022).** Analysis of empty container management: A review. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36(2), 305–317. <https://doi.org/10.31217/p.36.2.14>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016).** *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6th ed.). Pearson.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2019).** *Global food logistics and cold chain systems*. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca5527en/>
- Global Cold Chain Alliance (GCCA). (2020).** *Global cold chain logistics report*.
- Göçen, M. Y., Çağlar, Ö., Ercan, E., & Kızılay, D. (2020).** Optimization of costs in empty container repositioning. *Journal of ETA Maritime Science*, 8(2), 105–118. https://www.researchgate.net/publication/336818492_Optimization_of_Costs_in_Empty_Container_Repositioning
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018).** *Forecasting: Principles and practice* (2nd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp2/>
- Karmelić, J., Dundović, Č., & Kolanović, I. (2012).** Empty container logistics. *Promet – Traffic & Transportation*, 24(3), 221–230. <https://doi.org/10.7307/ptt.v24i3.315>
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018).** The M4 competition: 100,000 forecasting series and 61 forecasting methods. *International Journal of Forecasting*, 34(4), 806–808. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.06.001>
- Martius, C., Kretschmann, L., Zacharias, M., Jahn, C., & John, O. (2022).** *Forecasting worldwide empty container availability with machine learning techniques*. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00120-x>

Reyes Córdova, K. V. (2021). *Diseño de un modelo de optimización logística con enfoque en abastecimiento y reparación de contenedores vacíos refrigerados* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Institucional ESPOL.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52295>

Silver, E. A., Pyke, D. F., y Peterson, R. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (3.^a ed.). John Wiley & Sons.

Zugno, M., Petersen, L., Ponikiewski, W., Szulc-Wodarska, E., y Tastu, J. (2025). Forecasting for empty container repositioning. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*, 71, 42–49.