

ANÁLISIS DE POLÍTICAS ENFOCADAS A LA REDUCCIÓN DE COSTOS  
ASOCIADOS AL FLUJO DE CONTENEDORES PARA CARGA SECA, APLICADO  
A UNA LÍNEA NAVIERA EN COLOMBIA.

SANTIAGO ALVIAR HENAO

UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRIA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA, CUNDINAMARCA

2011

ANÁLISIS DE POLÍTICAS ENFOCADAS A LA REDUCCIÓN DE COSTOS  
ASOCIADOS AL FLUJO DE CONTENEDORES PARA CARGA SECA, APLICADO  
A UNA LÍNEA NAVIERA EN COLOMBIA.

SANTIAGO ALVIAR HENAO  
Ingeniero de Procesos

Proyecto de investigación para el título de Magister en Diseño y Gestión de  
Procesos.

Director:  
MSc LEONARDO GONZÁLEZ  
Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRIA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA, CUNDINAMARCA

2011

A mi esposa Paula por su invaluable  
compañía e inagotable fuente de  
motivación en tan fascinante camino  
de formación y desarrollo.

## **AGRADECIMIENTOS**

MSc Leonardo González, Magister en Ingeniería Industrial y Director de la Investigación, por su apoyo y orientación a lo largo de todo el proyecto.

Maersk Colombia S.A., por permitirme navegar en varios de sus mares de conocimiento y aprendizaje.

Néstor Amador, Juan Fernando González, Alejandro Suarez, Marco Tulio Correa y Gabriel Forero por compartir sus conocimientos en el manejo de contenedores y el apoyo en la consecución de información.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
OBJETIVOS.....	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Transporte Marítimo de carga en contenedores. ....	16
1.2. Desbalance comercial en Colombia: Años 2008 y 2009. ....	18
1.3. El flujo de contenedores para el caso de Estudio. ....	22
1.4. Desbalance en flujo de contenedores según el tamaño. ....	27
1.5. Almacenamiento de contenedores vacíos. ....	28
1.6. Leasing o arrendamiento de contenedores.....	29
1.7. Manipulación de contenedores vacíos.....	30
1.8. Transporte terrestre de contenedores vacíos. ....	31
1.9. Devolución de contenedores en locaciones lejos de puerto. ....	32
1.10. Demoras en la devolución de contenedores.....	32
2. MARCO TEÓRICO .....	34
2.1. Manejo de contenedores vacíos para una Línea Naviera.....	34
2.2. Dinámica de Sistemas y Sistemas Logísticos.....	37
3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO .....	40
3.1. Elementos del sistema.....	40
3.2. Flujo de contenedores dentro y fuera del sistema. ....	41
3.2.1. Actividades en Terminales.....	42
3.2.2. Actividades en Patios.....	42
3.2.3. Demandas de contenedores.....	43
3.2.3.1. Demandas de contenedores llenos.....	43
3.2.3.2. Demanda de contenedores vacíos.....	44

3.3.	Relaciones entre el sistema y sus partes.....	46
3.3.1.	Realimentación. ....	47
3.3.1.1.	Realimentación Negativa. ....	47
3.3.1.2.	Realimentación Positiva.....	48
3.3.2.	No Linealidad frente a los flujos de contenedores. ....	49
3.3.2.1.	Desembalaje en Terminal y salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones.....	50
3.3.2.2.	Salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones. ....	51
3.3.2.3.	Movimiento para embalaje de contenedores y salida de contenedores vacíos con fines de exportación en Patios ubicados cerca de un Terminal.....	52
3.3.2.4.	Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores llenos para las exportaciones.....	54
3.3.2.5.	Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores vacíos en Patios para posicionamiento o evacuación.....	55
3.3.3.	Demoras en el sistema. ....	56
3.4.	Operacionalización de Variables.....	57
3.4.1.	Parámetros o variables a fijar. ....	57
3.4.1.1.	Tiempo de Transporte para movimiento de contenedores vacíos. ....	57
3.4.1.2.	Tiempo demora Devolución de contenedores desembalados. ....	58
3.4.1.3.	Tiempo demora Embalaje de contenedores en Terminal. ....	58
3.4.1.4.	Tiempo demora Descargue-Desembalaje para importaciones. ....	59
3.4.1.5.	Tiempo demora Ingreso-Embarque de contenedores.....	59
3.4.1.6.	Tiempo demora embarque de contenedores. ....	59
3.4.1.7.	Tiempo demora descargue de contenedores.....	60
3.4.1.8.	Fracción de contenedores que pagan <i>Drop Off</i> . ....	60
3.4.1.9.	Costo del <i>Drop Off</i> . ....	61
3.4.2.	Variables a Manipular. ....	61
3.4.2.1.	Días libres para devolución de contenedores de importación.....	61
3.4.2.2.	Días libres para retiro e ingreso de contenedores para exportación.....	62

3.4.3.	Variables a Evaluar.....	62
3.4.3.1.	Costo Total por Almacenamiento de contenedores vacíos.....	63
3.4.3.2.	Costo Total por <i>Leasing</i> o arrendamiento de contenedores.....	64
3.4.3.3.	Costo Total por Manipulación de contenedores vacíos.....	65
3.4.3.4.	Costo Total por Transporte de contenedores vacíos.....	66
3.4.3.5.	Ingreso Total por concepto de <i>Drop Off</i> .....	67
3.4.3.6.	Nivel de Servicio Promedio para Exportaciones.....	68
3.4.3.7.	Costo Total por Manejo de contenedores vacíos.....	69
3.5.	Modelación Matemática.....	69
3.6.	Restricciones y consideraciones adicionales.....	82
4.	VALIDACIÓN DEL MODELO.....	85
4.1.	Tolerancia del Error.....	86
4.2.	Niveles de inventario de contenedores vacíos en los Patios.....	89
4.2.1.	Niveles de inventario para contenedores vacíos en los Patios ubicados en las ciudades donde hay Terminal.....	90
4.2.2.	Niveles de inventario para contenedores vacíos en los Patios ubicados en el interior del País.....	92
5.	ANÁLISIS DE POLÍTICAS.....	94
5.1.	Escenarios.....	94
5.2.	Políticas.....	98
5.3.	Resultados.....	100
5.3.1.	Costo Total por Almacenamiento de contenedores vacíos:.....	100
5.3.2.	Costo Total por Manipulación de contenedores vacíos:.....	102
5.3.3.	Costo Total por Leasing de contenedores vacíos:.....	103
5.3.4.	Costo Total por Transporte de contenedores vacíos:.....	105
5.3.5.	Ingreso Total por concepto de <i>Drop Off</i> :.....	106
5.3.6.	Nivel de Servicio para las demandas de exportación:.....	108
5.3.7.	Costo Total por Manejo de contenedores vacíos:.....	109
5.3.8.	Beneficios Económicos:.....	112
5.4.	Discusión de resultados.....	114

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	117
BIBLIOGRAFÍA .....	120
ANEXOS.....	123

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> FFEs Carga seca en Colombia: Años 2008 y 2009.....	19
<b>Ilustración 2.</b> Mapa Fisco-Político de Colombia (IAGC, 2011).....	21
<b>Ilustración 3.</b> FFEs Carga seca Caso de Estudio: Años 2008 y 2009. ....	23
<b>Ilustración 4.</b> Porcentaje de desbalance comercial para carga seca (FFEs) por puerto para el año 2008. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio). ....	24
<b>Ilustración 5.</b> Porcentaje de desbalance comercial para carga seca (FFEs) por puerto para el año 2009. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio). ....	25
<b>Ilustración 6.</b> Croquis de Colombia (Foto artistas, 2010) indicando la ubicación de las ciudades donde se encuentran los Puertos y Patios para el caso de estudio. ....	26
<b>Ilustración 7.</b> Porcentaje de desbalance comercial para carga seca según el tamaño del contenedor para el año 2009. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio).....	28
<b>Ilustración 8.</b> Diagrama de causalidad simplificado para el flujo de contenedores en función de las demandas.....	46
<b>Ilustración 9.</b> Diagrama causal sobre el impacto en los costos. ....	47
<b>Ilustración 10.</b> Esquema de los flujos de desembalaje en Terminal y salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones. ....	51
<b>Ilustración 11.</b> Esquema de los flujos de salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones.....	52
<b>Ilustración 12.</b> Esquema de los flujos de movimiento para embalaje de contenedores y salida de contenedores vacíos con fines de exportación en Patios ubicados cerca de un Terminal.....	53
<b>Ilustración 13.</b> Esquema de los flujos de retiro de contenedores vacíos e ingreso de contenedores llenos para importaciones. ....	54
<b>Ilustración 14.</b> Esquema de los flujos de salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores vacíos en Patios para posicionamiento o evacuación. ....	55

<b>Ilustración 15.</b> Diagrama de causalidad para el Costo Total por almacenamiento de contenedores vacíos para un Patio. ....	64
<b>Ilustración 16.</b> Diagrama de causalidad para el Costo Total por Leasing o arrendamiento de contenedores en el Sistema. ....	65
<b>Ilustración 17.</b> Diagrama de causalidad para el Costo de Manipulación de contenedores vacíos en Patios. ....	66
<b>Ilustración 18.</b> Diagrama de causalidad para el Costo de Manipulación de contenedores vacíos en Terminales. ....	66
<b>Ilustración 19.</b> Diagrama de causalidad para el Costo de Transporte de contenedores vacíos en Terminales. ....	67
<b>Ilustración 20.</b> Diagrama de causalidad para el Ingreso por concepto de <i>Drop Off</i> para un tamaño de contenedor en un Patio. ....	68
<b>Ilustración 21.</b> Diagrama de causalidad para definir el Nivel de Servicio en un Patio ubicado en Terminal para un tamaño de contenedor. ....	69
<b>Ilustración 22.</b> Comparación niveles de Inventarios de contenedores en los Patios ubicados cerca de los Terminales (Modelo vs Real). ....	91
<b>Ilustración 23.</b> Comparación niveles de Inventarios de contenedores en los Patios ubicados en el interior (Modelo vs Real). ....	93
<b>Ilustración 24.</b> Costo Total (en USD) por Almacenamiento de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2. ....	101
<b>Ilustración 25.</b> Costo Total (en USD) por Manipulación de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2. ....	102
<b>Ilustración 26.</b> Costo Total (en USD) por Leasing de contenedores: Año 1 y Año 2. ....	104
<b>Ilustración 27.</b> Costo Total (en USD) por Transporte de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2. ....	105
<b>Ilustración 28.</b> Ingreso Total (en USD) por concepto de <i>Drop Off</i> : Año 1 y Año 2. ....	107
<b>Ilustración 29.</b> Nivel de Servicio para la demanda de Exportaciones: Año 1 y Año 2. ....	108
<b>Ilustración 30.</b> Costo Total (en USD) por Manejo de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2. ....	110
<b>Ilustración 31.</b> Porcentaje de contribución al costo Total: Año 1. ....	111
<b>Ilustración 32.</b> Porcentaje de contribución al costo Total: Año 2. ....	112

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Días de arribo de los buques para cada Terminal.....	43
<b>Tabla 2.</b> Días de zarpe de los buques para cada Terminal.....	45
<b>Tabla 3.</b> Tarifas <i>Drop Off</i> para cada Patio según el tamaño del contenedor. ....	61
<b>Tabla 4.</b> Convenciones para los nombres de las ciudades.....	63
<b>Tabla 5.</b> Parámetros para determinar el error de la muestra. ....	86
<b>Tabla 6.</b> Desempeño de las variables de respuesta para la muestra empleada en la validación.....	86
<b>Tabla 7.</b> Tamaño de muestra necesaria de acuerdo al error aceptable para cada una de las variables de respuesta con una confiabilidad del 95%.....	89
<b>Tabla 8.</b> Consideraciones frente a las demoras para efectos de simulación. ....	99
<b>Tabla 9.</b> Incremento porcentual del costo total de Almacenamiento de contenedores vacíos para el segundo Año.....	101
<b>Tabla 10.</b> Incremento porcentual del costo total por Manipulación de contenedores vacíos para el segundo Año. ....	103
<b>Tabla 11.</b> Incremento porcentual del costo total por Leasing de contenedores vacíos para el segundo Año. ....	104
<b>Tabla 12.</b> Incremento porcentual del costo total por Transporte de contenedores vacíos para el segundo Año. ....	106
<b>Tabla 13.</b> Incremento porcentual del ingreso total por concepto de <i>Drop Off</i> para el segundo Año.....	107
<b>Tabla 14.</b> Incremento porcentual del Nivel de servicio para el segundo Año.....	109
<b>Tabla 15.</b> Incremento porcentual del costo total por Transporte de contenedores vacíos para el segundo Año. ....	110
<b>Tabla 16.</b> Comparación de los Beneficios Económicos de todas las Políticas frente a la Política 1 para cada uno de los escenarios .....	113

## RESUMEN

La toma de decisiones frente a la planeación, diseño y operación de actividades para una Línea Naviera especializada en carga en contenedores es una tarea compleja en cuanto a la gestión sobre los flujos de contenedores se refiere. Algunos modelos han sido desarrollados con el fin de mejorar el desempeño en el manejo de los flujos de contenedores, sin embargo es preciso diseñar modelos específicos para trabajar problemáticas puntuales. Este proyecto comprende la descripción del problema asociado al manejo de contenedores por parte de una Línea Naviera en Colombia, la construcción y validación de un modelo empleando dinámica de sistemas, y la evaluación del impacto de políticas frente a distintos escenarios con el fin de analizar el posible desempeño de la gestión de costos y nivel de servicio.

**Abstract:** The decision making process over planning, designing and operating activities for a container Shipping Line is a complex task in what respect to container flows management. Some models have been developed aiming to improve performance over empty container management; however is important to design specific models to attend more punctual problems. This project comprehends the description of the container flow problem for a container shipping line in Colombia, the model design making use of System Dynamics, its validation and the study of policies impact, over different scenarios, to analyze potential performance of costs and service level.

Keywords: Containers flow, System Dynamics, Colombia.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas de transporte de carga en contenedores que tiene operaciones en Colombia requieren una adecuada gestión de sus actividades relacionadas con el manejo de contenedores de carga seca. De acuerdo con las restricciones y características del sistema bajo el cual se movilizan los equipos, es preciso definir políticas orientadas a reducir los costos operativos que permitan ofrecer tarifas competitivas y mejorar los niveles de servicio para fomentar el comercio internacional.

La necesidad de implementar sistemas logísticos eficientes para el manejo de contenedores dentro del territorio colombiano requiere un desarrollo investigativo que conduzca a la valoración de las actividades asociadas al flujo de contenedores, así como la comprensión de las relaciones que existe entre ellas con el fin de identificar oportunidades de eficiencias que contribuyan a la sostenibilidad del negocio y potencialmente al mejoramiento del medio ambiente.

Actualmente, las políticas para el manejo de contenedores están regidas por indicadores de gestión que obedecen a lineamientos orientados al cumplimiento de parámetros de productividad y eficiencia del sistema desde un entorno global o interregional pero no necesariamente contemplan las estacionalidades y características de la operación en Colombia. Esto conduce a un limitado desempeño frente a la gestión de costos y a un potencialmente inadecuado manejo de los niveles de servicio e inventarios.

Dado el alto nivel de incertidumbre que presenta el flujo de contenedores a nivel regional y local en Colombia, la dinámica de sistemas permite modelar el comportamiento de las variables más representativas asociadas a este problema en función de las características, relaciones y restricciones que describen la

operación. La dinámica de sistemas ofrece alternativas para comprender el impacto de diferentes políticas frente a los indicadores de gestión y al costo total de la operación para un horizonte de tiempo determinado e igualmente representa una ventaja para evaluar escenarios con el fin de facilitar la planeación y toma de decisiones.

Es de gran valor los aportes que presenta la literatura frente al desarrollo de modelos genéricos para la solución del problema asociado al manejo de contenedores desde los diferentes niveles geográficos. Sin embargo es importante resaltar que es preciso trabajar modelos específicos que conduzcan a una mejor comprensión de los sistemas. La literatura presenta pocos modelos para el manejo desde una perspectiva regional y local de manera integrada, y ninguno de estos ha trabajado la problemática empleando herramientas de la dinámica de sistemas de manera concreta.

## OBJETIVOS

### Objetivo General:

Diseñar un modelo, empleando dinámica de sistemas, que permita evaluar políticas asociadas al flujo de contenedores para una línea naviera en Colombia, con el fin de valorar el impacto sobre los costos logísticos del manejo de contenedores vacíos.

### Objetivos Específicos

1. Caracterizar el sistema asociado al flujo de contenedores con carga seca en Colombia.
2. Determinar el modelo que se debe elaborar de acuerdo con el tipo de problema y la metodología de dinámica de sistemas.
3. Establecer estrategias para el mejoramiento de los indicadores asociados a las variables de respuesta de acuerdo con las variables a manipular para el flujo de contenedores del caso de estudio.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Transporte Marítimo de carga en contenedores.

Los contenedores han transformado de manera radical el transporte de bienes. Desde su introducción en la década de 1960, la contenerización de carga se ha convertido en la forma más importante para transportar mercancías. Los contenedores han representado una reducción en los costos de manejo (tanto en puertos como en puntos de transferencia) que han permitido una considerable reducción en el valor de los fletes. Además, las soluciones para transporte en contenedores han permitido un manejo más eficiente y rápido de la carga, permitiendo movilizar múltiples unidades de manera simultánea (Taleb-Ibrahimi, Castilho, Daganzo, "Storage space vs handling work in container terminals", 1993).

El manejo de carga en contenedores trajo consigo diferentes configuraciones de contenedores, cuya clasificación está asociada principalmente al tamaño y el tipo. Los contenedores más empleados para el transporte de carga de acuerdo con el tamaño son las unidades de 20 pies, conocidas como *TEU (Twenty Feet Equivalent Unit)* y los de 40 pies, también llamados *FEU o FFE (Forty Feet Equivalent Unit)*.

Dentro del tipo de contenedor existen otras clasificaciones más específicas pero relacionadas directamente con el tipo de carga. De esta forma podemos hablar de transporte de carga seca y refrigerada que son los tipos de carga que usualmente se transporta en contenedores de 20 ó 40 pies de tipo seco o refrigerado. También se transportan fluidos, tanto líquidos como gaseosos, y cargas extra dimensionadas que para efectos de la Línea Naviera que transportan carga en contenedores, no representan un volumen considerable de carga a movilizar.

La contenerización de la carga representa soluciones como la estandarización de los procesos de cargue y descargue, seguridad frente a la manipulación de productos y facilidad en el manejo del transporte intermodal. Sin embargo el uso de los contenedores también representa problemas específicos para las líneas navieras, algunos de estos de gran complejidad, como los son el diseño de las flotas, rutas y su manejo, la decisión frente a comprar o arrendar los contenedores, el reposicionamiento de equipos tan pronto la carga se encuentra liberada o el alistamiento para efectos de pre-embarque ya sea en el puerto de origen o un terminal de transbordo.

Las líneas navieras que transportan carga en contenedores compiten principalmente en tarifas, tiempos de tránsito y nivel de servicio para proveer soluciones de transporte. La competitividad de una naviera puede incrementarse mediante una mejor gestión de su flota, comprendida como la reducción de gastos y una mejor respuesta a las necesidades de los clientes. Sin embargo, debido al desbalance en el comercio internacional, asociados a las diferentes necesidades económicas de cada país, los patrones de suministro y demanda de contenedores en distintos puertos presenta grandes diferencias (Li, Leung, Wu, Liu, “Allocation of empty containers between multi-ports”, 2007)

El incremento en los costos logísticos, afectados entre otros factores por los constantes aumentos en el precio de los combustibles, obliga a que las empresas evalúen permanentemente las alternativas disponibles para hacer que su canal de distribución funcione de una forma más eficiente, aprovechando al máximo sus activos y recursos. Esto con el fin de lograr productos competitivos, procurando no transmitir los incrementos en los costos de transporte a los consumidores finales. Para el caso de la industria de carga en contenedores, el precio de los combustibles afecta de manera considerable el costo de la operación (Notteboom, Verminmmen, “The effect of high fuel costs on liner service configuration in container shipping”, 2009).

Para las líneas navieras, además del costo del combustible, es de gran importancia considerar el costo de no emplear adecuadamente la flota de buques

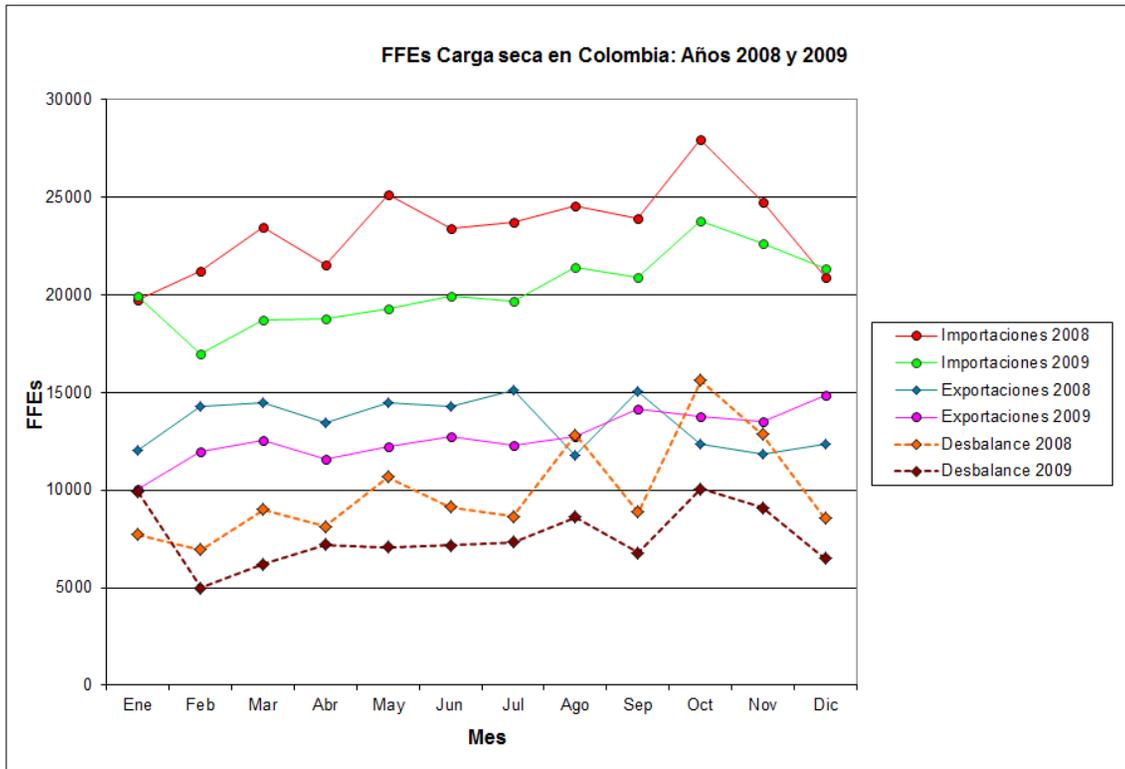
y los contenedores, los cuales representan los activos de mayor valor para este tipo de industria. Por esta razón, el diseño de las redes y rutas normalmente están enfocadas a itinerarios con buenos niveles de cumplimiento que permitan hacer un buen uso de la energía y la capacidad de transporte de los buques, mediante binaciones asociadas a la velocidad, tamaño de las embarcaciones y flujo de contenedores entre los puertos.

La gestión sobre los contenedores representa un problema de gran pertinencia dada la complejidad de algunas variables asociadas a la industria marítima, el desbalance comercial y los altos costos que representa la adquisición, mantenimiento, manipulación y transporte, (Dejax, Crainic, "A review of empty flows and fleet management model in freight transportation", 1987).

## **1.2. Desbalance comercial en Colombia: Años 2008 y 2009.**

Actualmente, el transporte de carga en contenedores que se moviliza desde o hacia Colombia presenta un marcado desbalance en los flujos de importaciones y exportaciones tanto de carga seca como de carga refrigerada. Para los años 2008 y 2009, fueron importados 112133 y 81537.5 FFEs más que los FFEs exportados. Sin embargo al verificar la composición del desbalance, la carga refrigerada se evidencia que se exportaron 6827 y 9930 FFEs más que los FFEs importados. Esto indica que para la carga seca el nivel de importaciones frente a las exportaciones fue mucho mayor, 118960 y 90917.5 FFE de más en la carga importada que exportada. (Quintero Hermanos Ltda, 2010).

El flujo de contenedores de carga seca no tiene un comportamiento estático a lo largo del año, pues las importaciones presentan cierto grado de estacionalidad, el cual se refleja en un incremento importante durante el segundo semestre del año principalmente asociado a la temporada alta de las exportaciones de Asia. Esta tendencia se puede apreciar en la Ilustración 1.



**Ilustración 1.** FFEs Carga seca en Colombia: Años 2008 y 2009.

Dadas las condiciones poco estáticas tanto de las importaciones como de las exportaciones de la carga en contenedores, sumado al desbalance comercial, resulta casi evidente que las líneas navieras tengan que reposicionar contenedores vacíos fuera del territorio colombiano.

Adicionalmente, el mercado no es estático y las proyecciones de la demanda de contenedores tanto de importación como de exportación, relacionadas directamente con el comportamiento de la economía Colombiana, tiende a incrementarse para los próximos años. Para el año 2010, el gobierno nacional ha estimado un crecimiento de la economía del 2.5% (Oficina de Estudios Económicos, 2010). Esto implica que Colombia demandará más contenedores tanto para exportar como importar bienes o materiales para las necesidades de diferentes industrias que participan en el intercambio de productos a nivel internacional.

Este desbalance implica que tarde o temprano los contenedores en exceso deben ser evacuados, puesto que la naviera no cuenta con la capacidad en términos de oportunidades de exportación hacia destinos rentables o hacia destinos donde potencialmente sea más atractivo tener los contenedores para posteriormente movilizarlos hacia países generadores de carga, como es el caso de los países de Lejano Oriente.

Adicionalmente las restricciones de capacidad del sistema sugieren no acumular demasiadas unidades vacías puesto que luego será más difícil evacuarlos, incrementando a su vez los costos de almacenamiento o leasing de los contenedores e incluso impactando el costo oportunidad de emplearlos en locaciones que realmente los necesitan.

Es importante resaltar que las condiciones geográficas de Colombia representa una gran ventaja en términos de flujo de carga dado que este país cuenta con costas en dos Océanos. Sin embargo también presenta un sistema montañoso de tres cordilleras que implica enormes retos para la movilización del transporte terrestre de carga, sumados a una no muy avanzada red de carreteras. Ver Ilustración 2 donde se presenta el mapa Físico-Político de Colombia.

Los centros de demanda de las importaciones (normalmente las ciudades con mayor población) están ubicados en el interior del país, lo cual implica que parte de la carga debe ser movilizad, por los consignatarios, vía terrestre desde los puertos para lograr llegar a su vez a los consumidores. En cuanto al manejo de las exportaciones, los centros de producción u oferta de carga se encuentran ubicados tanto en las ciudades donde están los puertos como en las del interior del país. Esto indica que los contenedores no necesariamente son llenados en su totalidad en los puertos o que parte de la carga debe ser movilizad, vía terrestre, varios cientos de kilómetros, para poder llegar a un Terminal portuario antes de su exportación.



**Ilustración 2.** Mapa Físico-Político de Colombia (IAGC, 2011).

Colombia cuenta actualmente con operaciones portuarias para carga contenerizada en 4 ciudades (Buenaventura, Barranquilla, Cartagena y Santa Marta). Cada uno de estos puertos maneja diferentes volúmenes de contenedores en las importaciones y exportaciones a lo largo del año. No todas las líneas navieras operan de manera simultánea en los cuatro puertos.

Para efectos de devolución o retiro de contenedores vacíos, las líneas navieras cuentan con proveedores de servicios de almacenamiento y reparación de contenedores, conocidos como depósitos o patios, en diferentes locaciones del territorio colombiano. Además de tener presencia cerca de los terminales

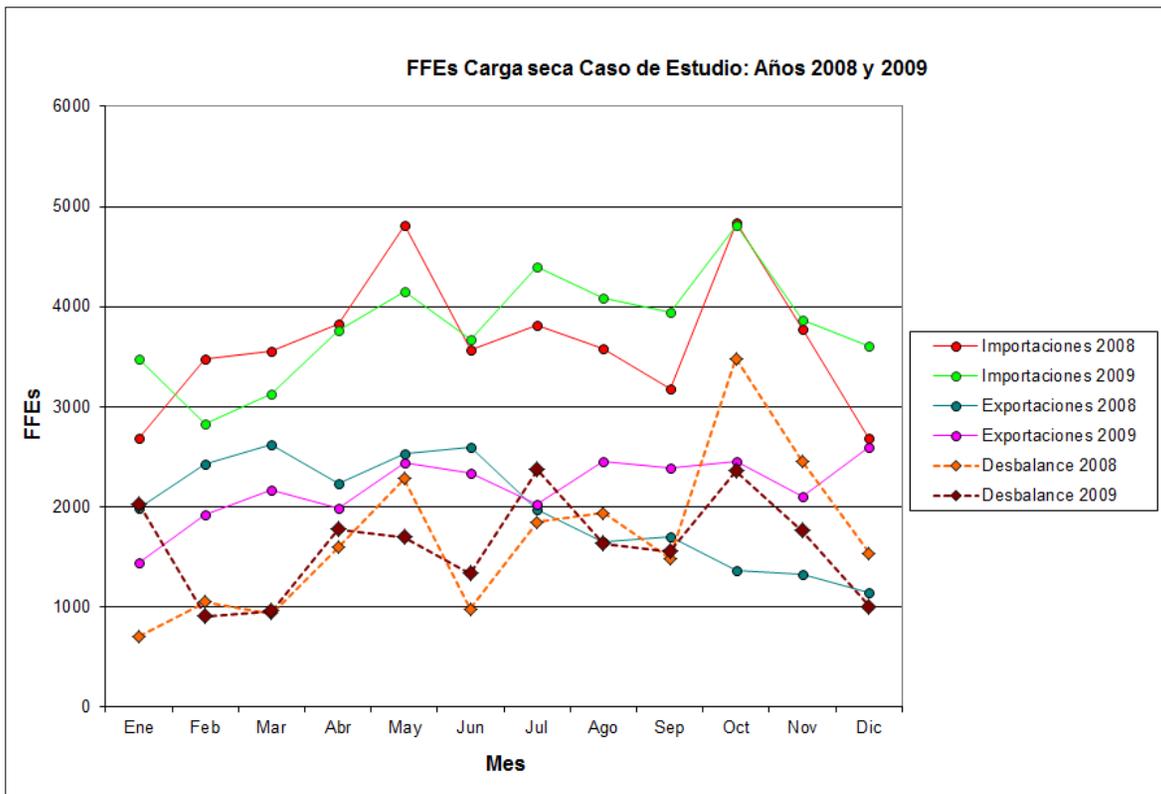
marítimos, algunos patios de contenedores se encuentran ubicados en las ciudades de mayor actividad comercial o industrial con el fin de brindar facilidades tanto a los importadores para devolver contenedores vacíos como a los exportadores para retirar equipos más cerca de sus instalaciones.

### **1.3. El flujo de contenedores para el caso de Estudio.**

El caso de estudio de este proyecto contempla la problemática del flujo de contenedores por parte de la naviera Maersk Line, la cual presta servicios de transporte de carga en contenedores en Colombia empleando los cuatro puertos colombianos acondicionados para movilizar carga contenerizada (Barranquilla, Buenaventura, Cartagena y Santa Marta), tanto para importación como para exportación de carga. Adicionalmente cuenta con un sistema de siete patios ubicados en Barranquilla, Buenaventura, Cartagena, Santa Marta, Bogotá, Cali y Medellín.

En Colombia, los servicios de transporte acordados entre la naviera y sus clientes se limitan estrictamente al movimiento de contenedores en la porción marítima del viaje, es decir, el cliente importador recibe su contenedor en puerto y el cliente exportador debe entregarlo en puerto para su respectivo embarque. La naviera no ofrece servicio de movimiento terrestre desde el puerto hasta el destino final de la carga o desde el origen de la carga hasta el puerto.

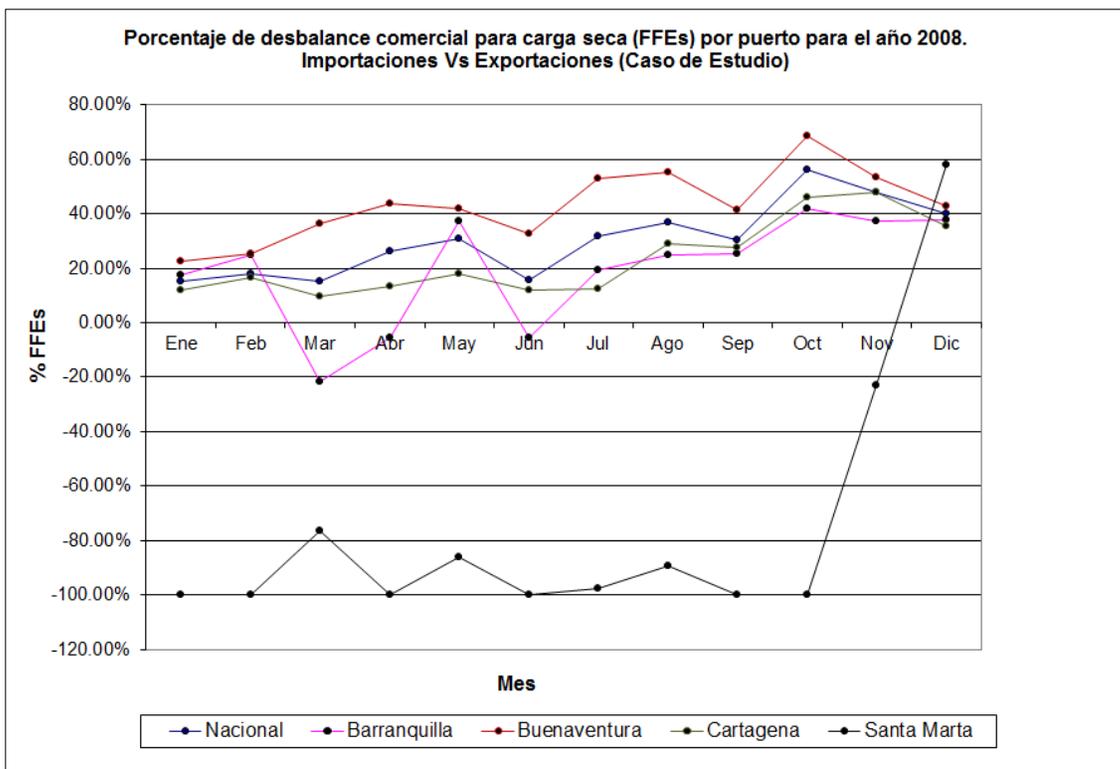
El comportamiento de las importaciones y exportaciones de carga seca movilizadas por Maersk Line en Colombia tiene gran similitud con la tendencia de la industria a nivel nacional. Para los años 2008 y 2009 las importaciones fueron mayores que las exportaciones (20294 y 19403.5 FFEs respectivamente), lo cual representa un desbalance de 28.43% y 25.50% en el flujo de contenedores que finalmente deben ser posicionados al exterior ante la falta de carga de exportación. (Ver Ilustración 3).



**Ilustración 3.** FFEs Carga seca Caso de Estudio: Años 2008 y 2009.

Las cifras por puerto ayudan a comprender mejor la problemática de la empresa que es caso de estudio, en términos del desbalance comercial. Para el año 2008, el puerto de Buenaventura presentó una significativa diferencia entre sus importaciones y exportaciones, asociadas a su ventaja como puerto más atractivo para las importaciones desde los países de Lejano Oriente. (Ver Ilustración 4).

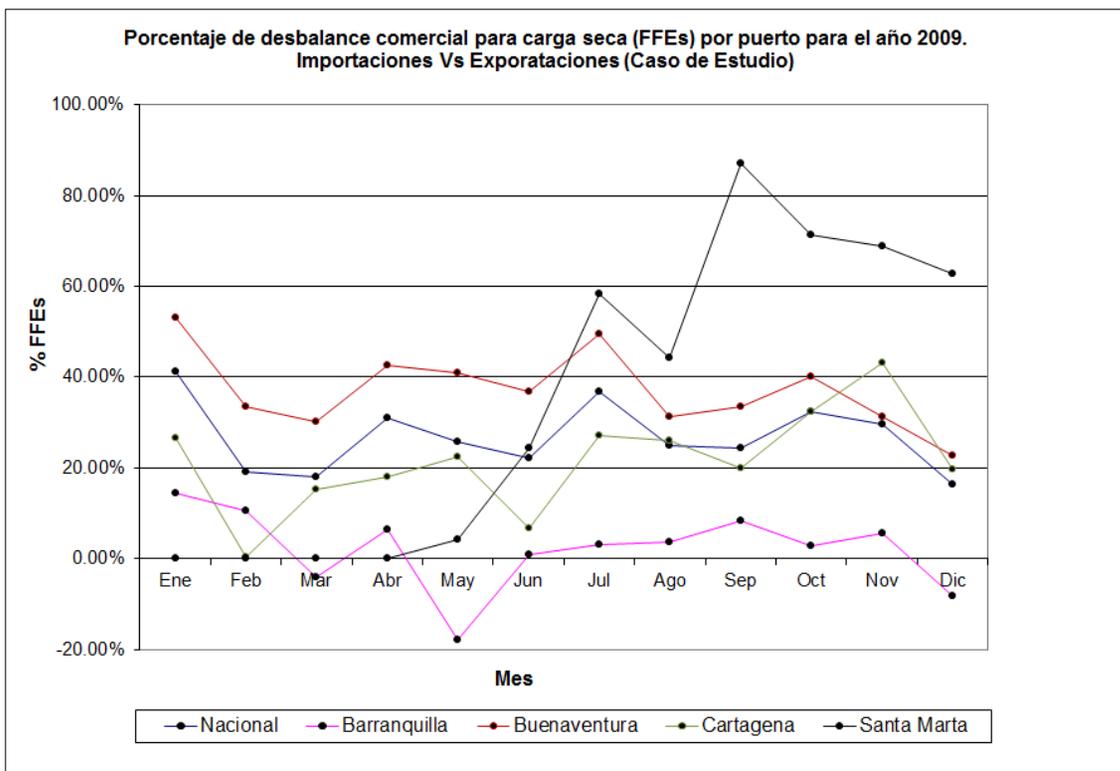
Para el año 2008, en el puerto de Santa Marta, solo hasta el mes de Noviembre se reactivó la aceptación de carga de importación, como consecuencia de la baja actividad de las oportunidades de negocio de este puerto que se enfocaban en el mercado Europeo que presentaba oportunidades interesantes de exportación.



**Ilustración 4.** Porcentaje de desbalance comercial para carga seca (FFEs) por puerto para el año 2008. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio).

Para el año 2009, el comportamiento de las exportaciones e importaciones a nivel nacional fue más estable en términos del desbalance comercial de carga en contenedores en FFEs, pues casi todos los puertos presentaron una tendencia similar a lo largo del año. Sin embargo, para Barranquilla se presentaron algunos meses donde las exportaciones superaron a las importaciones. (Ver Ilustración 5).

Es importante resaltar que para el 2009 los servicios que cubrieron las necesidades de transporte de carga en los cuatro puertos, no presentaron mayores modificaciones en términos de espacio para importar y exportar contenedores llenos, así como la frecuencia y regularidad de sus recaladas. Sin embargo en la medida que los buques zarpan con contenedores llenos cada vez es más reducido el espacio para evacuar contenedores vacíos.



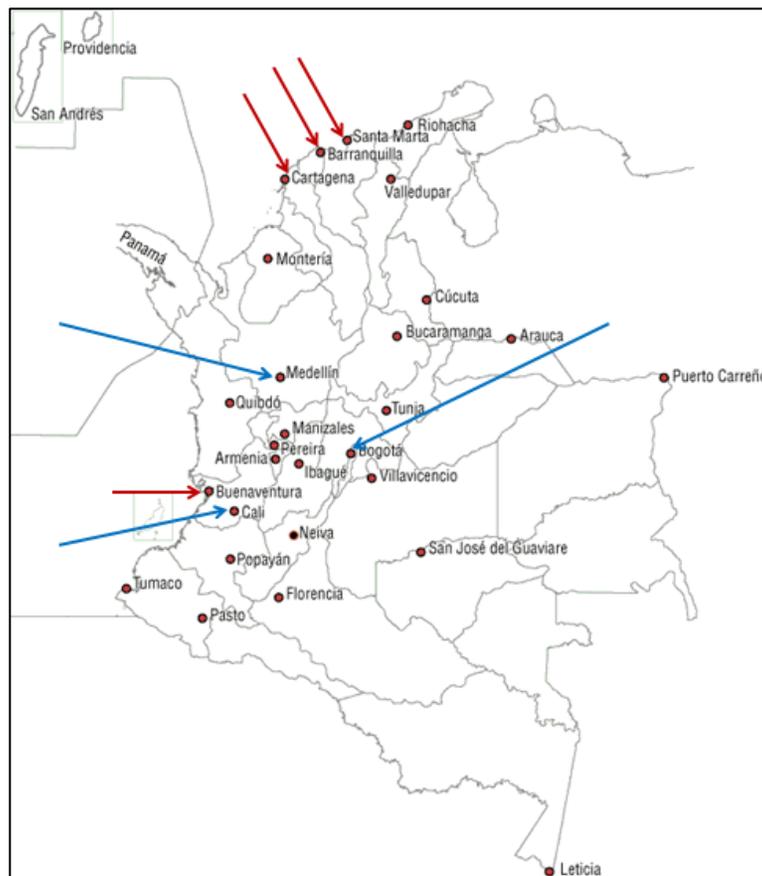
**Ilustración 5.** Porcentaje de desbalance comercial para carga seca (FFEs) por puerto para el año 2009. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio).

En la actualidad la Línea Naviera además de prestar servicio en los cuatro puertos principales para manejo de carga en contenedores, trabaja con un proveedor de almacenamiento y reparación de contenedores a través de un sistema de siete patios (Ver Ilustración 6). Uno en cada una de las cuatro ciudades donde se encuentra el puerto (resaltadas en color rojo) y uno en cada una de las tres ciudades ubicadas en el interior del país: Bogotá, Cali y Medellín (resaltadas en color azul).

Esto implica que los contenedores pueden ser devueltos, producto de una importación, en diferentes locaciones de acuerdo a la conveniencia del cliente. De manera similar, para las exportaciones, un cliente puede retirar un contenedor en una ciudad diferente al puerto por el cual va a embarcar. Aunque se puede hablar de tendencias frente a los flujos, no es posible determinar cuántos contenedores serán devueltos vacíos en cada Patio después del descargue en cada terminal, ni

tampoco cuántos de los contenedores retirados en cada Patio serán embarcados a través de cada uno de los Terminales.

Dadas las condiciones de los flujos, resulta probable que en algunas ocasiones se presenten periodos con altos niveles de inventario de contenedores vacíos en algunas locaciones mientras que en otras se pueden presentar periodos de escasez.



**Ilustración 6.** Croquis de Colombia (Foto artistas, 2010) indicando la ubicación de las ciudades donde se encuentran los Puertos y Patios para el caso de estudio.

Adicionalmente se presentan flujos de contenedores vacíos dado que el desbalance de carga implica posicionar contenedores dentro del país para ayudar a cubrir demandas puntuales en ciertas ciudades o para facilitar la evacuación de contenedores por fuera del territorio Colombiano con el fin de atender deficiencias de contenedores en otras regiones del mundo.

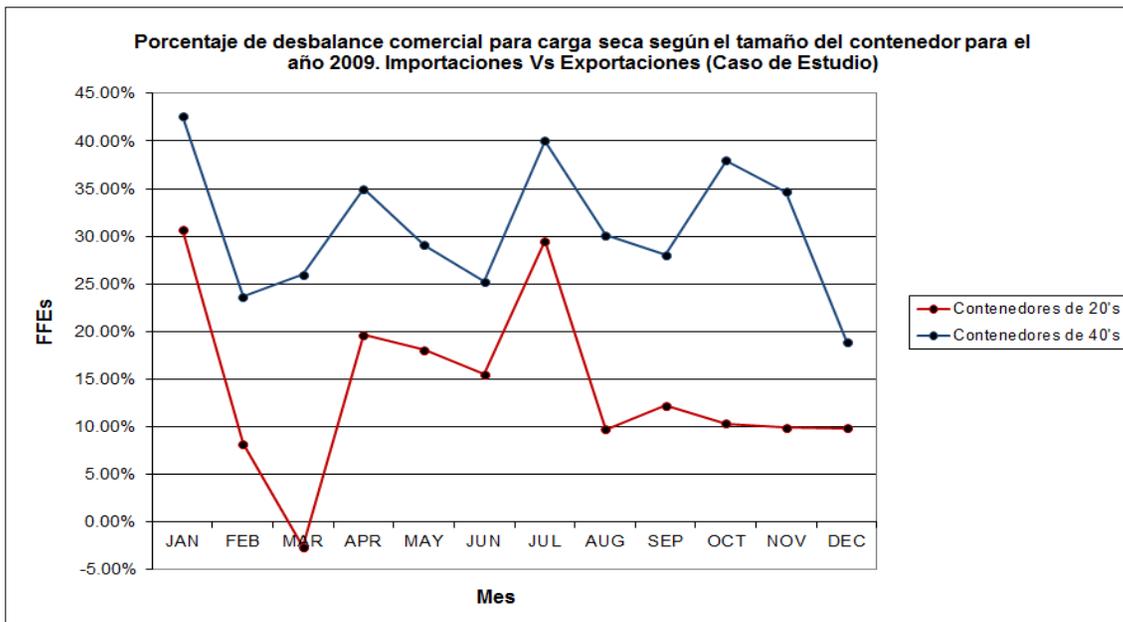
#### **1.4. Desbalance en flujo de contenedores según el tamaño.**

La problemática del flujo de contenedores se acrecienta también ante el desbalance presente en cuanto a las demandas de contenedores según el tamaño. De acuerdo a las cifras históricas (Quintero Hermanos Ltda, 2010), para el año 2009, el desbalance de contenedores de 40 pies superó al de los contenedores de 20 pies a lo largo de todo el año. (Ver Ilustración 7).

Evidencia del desbalance se refleja en las importaciones de contenedores de 20 pies en Febrero de 2009, las cuales fueron inferiores a las Exportaciones. Esto implica que la Línea Naviera debió almacenar contenedores vacíos de 20 pies para atender esa demanda de exportación. En caso de haber evacuado contenedores vacíos al exterior del país se hubieran perdido oportunidades de exportación con carga para los clientes.

Aunque el transporte de carga seca puede efectuarse en contenedores refrigerados apagados, normalmente se realiza en contenedores diseñados para el transporte de carga seca. Para esta finalidad se emplean contenedores de 20, 40 y 45 pies, siendo los de 20 y 40 pies los más empleados por efectos de estandarización y facilidad de transporte en camiones. Los contenedores de 45 pies se utilizan con una muy baja frecuencia y cada vez es más escasa su utilización.

Es importante aclarar que los equipos de 40 pies se sub-clasifican según el tipo de contenedor en función de la altura. Las unidades de 40 pies estándar tiene una altura de ocho pies y seis pulgadas (8'6") y las unidades de 40 pies High Cube tienen una altura de nueve pies y seis pulgadas (9'6"). Estos últimos se emplean normalmente por clientes cuyas características de producto ocupan un volumen mayor. Para efectos de simplificación, solamente se tendrá en cuenta el tamaño de los contenedores pues las unidades de 40 pies High Cube solo representan un 7 % de los contenedores de 40 pies que circulan en Colombia para la empresa que está siendo caso de estudio.



**Ilustración 7.** Porcentaje de desbalance comercial para carga seca según el tamaño del contenedor para el año 2009. Importaciones Vs Exportaciones (Caso de Estudio).

### 1.5. Almacenamiento de contenedores vacíos.

Dadas las condiciones de los pronósticos de las demandas se determinan las capacidades de almacenamiento necesarias y se establecen acuerdos de servicio con los patios de contenedores para ejecutar un presupuesto en cuanto al flujo de contenedores que permita un adecuado control de los costos logísticos en función de los niveles de inventario planeados. Esta negociación se efectúa normalmente a nivel de País pues los proveedores son empresas con representación directa en Colombia.

Para el puerto de Buenaventura, el patio se encuentra cerca del terminal de contenedores, ya que el terminal no ofrece la capacidad suficiente para almacenar contenedores vacíos. Caso contrario ocurre con los patios de Barranquilla y Santa Marta, los cuales se encuentran dentro del terminal, lo que simplifica el manejo de contenedores vacíos en caso que se requiera efectuar algún tipo de evacuación.

Para el caso de Cartagena se cuenta con un patio ubicado fuera del terminal, pero el terminal también ofrece servicios de Patio. Para la elaboración de este estudio se consideró que el patio está dentro del terminal ya que para finales del año 2010 se llegó a un acuerdo que implica no volver a emplear el patio externo, facilitando el almacenamiento de contenedores en una sola locación y a la vez promoviendo la evacuación eficiente de contenedores vacíos.

Los patios ofrecen servicios con tarifas de almacenamiento fijas para un volumen determinado de contenedores (en TEU) y cobran tarifas específicas por unidad adicional tanto de 20 pies como de 40 pies. Los acuerdos de volúmenes fijos se denominan *Free Pools* y estos varían de patio en patio en función de la proyecciones de movilización de contenedores que se estima serán almacenados en cada locación. Las tarifas por contenedor adicional pueden variar entre cada patio.

#### **1.6. Leasing o arrendamiento de contenedores.**

Las líneas navieras que transportan carga en contenedores manejan equipos bajo dos modalidades: propias o arrendadas. Para el caso de estudio, la Línea Naviera cuenta con una importante flota de contenedores propios, pero también emplea una significativa cantidad de contenedores en arriendo o leasing.

Para efectos de simplificación del sistema de costos y con la intención de reconocer cuando es más o menos costoso tener un contenedor en arriendo, la Línea Naviera causa un costo mayor dentro su esquema contable al uso de los contenedores durante los meses de Junio y Julio, por tratarse del periodo del año donde se requiere posicionar más unidades aptas para carga seca en los países de Lejano Oriente, con el fin de atender las demandas de carga para exportación.

Este incremento también obedece a que en los meses de Junio y Julio se requiere arrendar contenedores en Asia para lograr una mayor utilización de las

capacidades de los buques, ya que no siempre se logra movilizar todas las unidades necesarias para cubrir las demandas de exportación.

El costo de Leasing aplica para todos los contenedores, sean propios o arrendados con el fin de simplificar la gestión de contenedores a nivel mundial. Este costo se causa cada día que se emplea o no un contenedor, estando en posesión del cliente o de la Naviera, tanto en estado lleno como vacío. De ahí la importancia para la Línea Naviera de lograr que los contenedores estén rotando más.

Para el caso de estudio solo se contemplará el tiempo que los contenedores permanecen en Colombia, llenos o vacíos.

### **1.7. Manipulación de contenedores vacíos.**

Las actividades asociadas al movimiento de contenedores tanto llenos como vacíos también implican costos adicionales tanto para el cliente cuando el contenedor está en su posesión como para la naviera cuando los equipos están bajo su custodia. Estos costos son conocidos como los costos de manipulación y se causan cada vez que el contenedor cambia de locación.

Si un contenedor es retirado de un patio para ser empleado inmediatamente en una exportación o si es devuelto a un patio, una vez termina su uso después de una importación, el cliente incurre en un gasto por retiro o ingreso de contenedor. Este cobro lo efectúa el patio desde donde sale o ingresa el contenedor. Este costo lo asume el cliente.

Cuando un contenedor vacío requiere ser posicionado desde una locación A hasta una locación B dentro de Colombia (para atender la demanda de exportación de un cliente en esa locación o la demanda de evacuación hacia el exterior), los costos de los movimientos que se efectúen son asumidos por la Línea Naviera. De manera análoga, cuando se requiere mover un contenedor vacío desde Colombia

hacia Lejano Oriente, los gastos de manipulación (cargue y descargue en terminales de conexión) los absorbe la Línea Naviera.

El desbalance de contenedores del problema de estudio implica que la Línea Naviera incurra en los siguientes extra costos cuando se manipulan contenedores vacíos: Monte y desmonte de contenedores en patios ó terminales, gastos documentales, uso de instalaciones portuarias, movimientos terrestres dentro del terminal (previo al embarque) y embarque de contenedores vacíos para mencionar los más importantes. Actualmente, es común que diferentes proveedores sean quienes ejecuten cada servicio o proceso de manera independiente, sin embargo para efectos de simplificación en el caso de estudio, los costos se totalizan de acuerdo con los servicios que se ofrece en cada locación por contenedor.

### **1.8. Transporte terrestre de contenedores vacíos.**

Para lograr un adecuado posicionamiento o evacuación de contenedores, las líneas navieras requieren transportar contenedores entre locaciones (Patio hacia Patio o Patio hacia Puerto) con el fin de satisfacer las demandas de contenedores vacíos dentro o fuera del país.

Para el transporte de contenedores vacíos vía terrestre, se cuenta con múltiples proveedores que actualmente ofrecen sus servicios mediante un sistema de subastas en línea. Sin embargo, la creciente demanda de servicios de transporte para contenedores llenos ha causado dificultades para el movimiento de contenedores vacíos entre locaciones.

Es importante resaltar que cada vez que se contrata un servicio de transporte esto implica que, por cuestiones de economía, la Línea Naviera moviliza un contenedor de 40 pies o dos unidades de 20 pies, pues las tarifas se pactan por viaje independientemente si el contenedor es de 20 ó 40 pies. Para el caso de estudio se revisaran los comportamientos históricos de posicionamiento de contenedores entre locaciones con el fin de visualizar la cantidad de viajes que se realizan y

emplear estas cifras históricas para evaluar mejor la capacidad de transporte de contenedores vacíos con que efectivamente se cuenta.

### **1.9. Devolución de contenedores en locaciones lejos de puerto.**

En el evento en que un cliente requiera devolver contenedores en un patio en el interior del país (Bogotá, Medellín ó Cali) después de una importación, el cliente incurre en un costo adicional conocido como *Drop Off*. Este servicio debe pagarlo el cliente a la Línea Naviera. Normalmente el costo de este servicio está asociado al costo en que la Naviera posiblemente incurra al requerir posicionar este contenedor en el puerto para su posterior evacuación.

En algunos casos, por acuerdos comerciales, los clientes son exonerados del pago por este servicio ó reciben tarifas especiales. Sin embargo para el caso de estudio se asume que los clientes que regresan contenedores en patios al interior del país no pagan ningún valor. Los demás clientes, quienes manejan aproximadamente un 20% de los contenedores devueltos en patios al interior del país, pagan por este servicio o sencillamente devuelven los contenedores en los patios ubicados en los puertos ante las tarifas de *Drop Off* que desestimulan la devolución de contenedores en el interior del país

### **1.10. Demoras en la devolución de contenedores.**

El negocio de las líneas navieras de carga en contenedores consiste en proveer soluciones de transporte, pero es comprensible que ocurren demoras entre el descargue del contenedor y la devolución a un patio (en las importaciones) y entre el retiro de un patio y el ingreso al terminal para su embarque (en las exportaciones).

Sin embargo, las líneas navieras establecen políticas frente a los plazos para que el cliente efectúe sus operaciones de exportación o importación con la finalidad de

optimizar el uso de los contenedores, promoviendo una mayor rotación de los equipos y a la vez fomentando mejores prácticas logísticas frente a las operaciones de los clientes.

El tiempo libre estándar que se otorga para las importaciones es de 10 días transcurridos entre el descargue del contenedor en puerto y el ingreso vacío al patio en que fue devuelto. Para las exportaciones también se manejan 10 días libres pero comprendidos entre el retiro del contenedor vacío en un patio y su posterior embarque. En caso que el cliente supere los términos de tiempo libre, la naviera efectúa un cobro por día adicional dependiendo del tamaño del contenedor.

Para algunos clientes se han pactado tarifas especiales donde se otorgan más días libres, sin embargo para efectos del caso de estudio esta regla no se evaluará, pues normalmente los clientes preferenciales cumplen con los términos estándar de días libres y en pocas ocasiones requieren tomar días adicionales.

Dadas las condiciones del sistema frente al desequilibrio comercial de las importaciones y exportaciones de carga en contenedores, el desbalance en función del tamaño del equipo, la aleatoriedad de las demandas e incertidumbre frente a las devoluciones y retiros, las restricciones geográficas que afectan los flujos de equipos, y los costos en que se incurre en el manejo de la gestión de toda la operación, indican que el problema alrededor de los contenedores vacíos en Colombia, para la naviera caso de estudio, representa no solo una gran dificultad sino a la vez un permanente reto para garantizar la viabilidad del negocio.

Es por esto que el objetivo de este trabajo se enfoca en diseñar una herramienta basada en Dinámica de Sistemas que facilite trabajar escenarios y políticas que permitan lograr una mejor planeación de los recursos y una mejor gestión de la operación.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Manejo de contenedores vacíos para una Línea Naviera.**

El problema asociado a la gestión eficiente de los equipos tanto llenos como vacíos de manera simultánea, ha sido objeto de investigación debido al incremento del comercio internacional durante los últimos 20 años y a las proyecciones de su crecimiento.

Desde la perspectiva de la logística inversa, la devolución de productos se ha caracterizado por el nivel de incertidumbre en cuanto a la frecuencia y la cantidad de las devoluciones (de Brito, van der Laan, "Inventory Control with product returns: the impact of imperfect information", 2007), lo cual dificulta la planeación, gestión y control, puesto que la asignación de recursos para estas actividades se convierte en una tarea compleja y difícil de valorar. Conocer cuánto producto va a ser devuelto, donde, en qué estado y cuando, es una constante preocupación de las empresas que día a día deben gestionar su cadena de suministros sin dejar a un lado el manejo sobre las devoluciones.

Actualmente varios sectores tanto de la industria como de servicios han analizado diferentes oportunidades para la gestión adecuada tanto de las devoluciones como las posibilidades de mejoramiento de sus procesos logísticos (Guide Jr, Jayaraman, Linton, "Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery", 2003). En el caso puntual del transporte de carga en contenedores, la localización geográfica de los centros de oferta y demanda son elementos determinantes en el diseño de las redes de servicio.

Los contenedores llenos están siendo transportados en buques desde puertos de origen a puertos de destino de acuerdo con las necesidades de los clientes. Una

vez los contenedores llegan a su destino estos son desembalados, quedando a su vez vacíos. Los contenedores vacíos pueden ser almacenados en puertos o depósitos para una futura reutilización o para ser reposicionados hacia otros puertos o locaciones donde se requiere atender la demanda en esos lugares. La gestión de contenedores vacíos ligada a las actividades de almacenamiento, alistamiento y posicionamiento, no produce ningún beneficio económico pero si un incremento en los costos operacionales de las líneas navieras. Es considerado como uno de los problemas más complejos que enfrenta la industria logística a nivel mundial debido al enorme desbalance comercial.

El manejo de los contenedores vacíos involucra cuatro niveles geográficos: global, interregional, regional y local. El nivel global comprende el movimiento masivo de contenedores vacíos vía marítima desde áreas con exceso hacia áreas con déficit. El nivel interregional hace referencia al reposicionamiento dentro de un área de gran tamaño o en un tramo que conduzca al reposicionamiento global. Este movimiento se puede llevar a cabo de manera intermodal o mediante un trayecto corto marítimo. Los niveles regional y local pueden ser considerados de manera conjunta e involucran labores de acarreo que en la parte regional se relacionan con el balanceo entre importaciones y exportaciones en los terminales, mientras que a nivel local comprenden el balance del movimiento de contenedores entre los terminales y los depósitos. (Theofanis, Boile, "Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies", 2009).

A nivel mundial cerca del 20% de los contenedores en la porción marítima se transportan vacíos y el costo de reposicionarlos es cercano a USD 400 por contenedor. (deBrito, Konings, "Container management strategies to deal with the East-West flows imbalance", 2009). Para 2010 se espera que el costo del posicionamiento de contenedores vacíos supere los USD 50000 millones de acuerdo con la tendencia que presenta la industria. (Bing, Zhongchen, "Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-carriage", 2007).

El problema de reposicionamiento de contenedores ha sido tratado de diferentes maneras de acuerdo con el alcance y enfoque del problema, como el caso del reposicionamiento de contenedores a nivel marítimo desde un entorno global, (Shen, Khoong, “A DSS for empty container distribution planning”, 1995), (deBrito, Konings, “Container management strategies to deal with the East-West flows imbalance”, 2009), (Erera, Morales, Savelsbergh, “Global Intermodal tanks container management for the chemical industry”, 2005). Estos trabajos se orientan en las capacidades de la red para lograr un mejor flujo de contenedores o de isotanques que para efectos prácticos presentan también un desbalance en cuanto a su utilización.

Se han trabajado modelos específicos en el entorno Global basados en los flujos entre clientes empleando sistemas que apoyen decisiones (Bandeira, Becker, Borenstein, “A DSS for integrated distribution of empty and full containers”, 2009), sin embargo este hace referencia a los flujos de productos y las respectivas demandas, buscando balancear la red. Dicho balance representa uno de los retos más fuertes pues bajo situaciones estáticas aporta gran valor pero en entornos dinámicos no necesariamente es factible lograrlo. También, se han trabajado modelos específicos que facilitan la toma de decisiones frente a la compra o arriendo de los contenedores de acuerdo al desbalance (Moon, Do Ngoc, Sur, “Positioning empty containers among multiple ports with leasing and purchasing considerations”, 2010). Este último presenta un importante aporte desde el punto de vista del manejo del capital de acuerdo al desbalance en las demandas de carga.

Los escenarios analizados desde un entorno regional e interregional han sido estudiados desde diferentes acercamientos. Un sistema de dos puertos con dos viajes (Lam, Lee, Tang, “An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem”, 2007) que sirve de referencia para entender flujos específicos entre dos puertos que pueden pertenecer o no a la misma región, pero no trabajan problemáticas sobre las demoras en las devoluciones de contenedores o el Nivel de servicio para atender demandas. El reposicionamiento

de contenedores con transporte intermodal empleando barcazas (Choong, Cole, Kutanoglu, "Empty container Management for intermodal transportation networks", 2002), así como estudios sobre los flujos de contenedores en regiones específicas como el caso del Caribe (Veenstra, Mulder, Sels, "Analysing container flows in the Caribbean", 2005). Sin embargo no se aborda de manera concreta la problemática de los contenedores vacíos y se limita a al de un país bastante pequeño como es el caso de Curazao.

A nivel regional y local se ha trabajado el problema de los flujos de contenedores para la porción terrestre pero orientado a la reducción del costo de transporte a nivel intermodal (Bing, Zhongchen, "Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-carriage", 2007). Este modelo no busca un buen manejo de la demandas y no trabaja otros componentes asociados al costo de la operación.

Los modelos existentes contribuyen de manera práctica al desarrollo de modelos regionales y locales al facilitar la visualización de la problemática y las restricciones del sistema permitiendo establecer analogías para las relaciones puerto de origen-puerto de transbordo, del modelo global e interregional, y ciudad-puerto del modelo regional o patio-puerto del modelo local. Sin embargo, los modelos actuales no contemplan las restricciones específicas de Colombia, como son las fluctuaciones de la demanda y oferta de contenedores por ciudad y puerto, las condiciones geográficas que se traducen en tiempos más largos para la devolución y posicionamiento de contenedores, los costos variables locales o los niveles de cumplimiento de los clientes.

## **2.2. Dinámica de Sistemas y Sistemas Logísticos.**

La Dinámica de Sistemas es una disciplina fundada durante los años cincuenta del siglo XX por J.W. Forrester. Esta metodología se basa en la teoría del control de realimentación, lo cual podemos interpretar como un estudio o análisis de la evolución de las variables en el tiempo frente a los procesos de retroalimentación,

las relaciones de flujos y demoras, la no linealidad de algunas variables y las fronteras de los modelos o sistemas. Esta disciplina propone que existen ciertos arquetipos que pueden describir el comportamiento de los sistemas independientemente del tipo de sistema. (Schaffernicht, *“Indagación de situaciones dinámicas mediante la dinámica de sistemas”*, 2008).

La Dinámica de sistemas como metodología permite entender mejor la complejidad de diferentes sistemas a través del uso de los arquetipos, los cuales facilitan el entendimiento de una problemática al ser útiles como herramientas de diagnóstico sobre situaciones particulares, herramientas de planificación para anticipar posibles consecuencias o como herramientas de construcción para contribuir a un mejor y más amplio conocimiento del entorno.

Los tres principios sobre los cuales se apoya y fundamenta la Dinámica de Sistemas son (Álvarez, Alonso, *“El proceso de toma de decisiones en entornos complejos: Una aplicación metodológica”*, 2000):

- Existencia de bucles de realimentación.
- Existencia de no linealidad en las relaciones entre variables.
- Existencia de retrasos en las relaciones entre variables.

La Dinámica de Sistemas ha sido de utilidad para el modelamiento de diferentes sistemas. En lo que respecta a sistemas logísticos ha sido empleada entre otros para comparar una propuesta de cadena de suministro centralizada (Rubiano, *“Propuesta de Gestión de la Cadena de Suministro Centralizada. Comparación con la gestión de la Cadena de Suministro Totalmente Integrada”*, 2004). Para los modelos de transporte, que guardan cierto nivel de similitud o comparten algunas variables independientemente de la modalidad de transporte, esta metodología ha trabajado herramientas para evaluar desde el desempeño de un Terminal aeroportuario (Manataki, Zografos, *“A generic system dynamics based tool for airport Terminal performance analysis”*, 2009) como también para el diseño de

Modelos urbanos de transporte (Jifeng, Huapu, Hu, “*System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application*”, 2008).

Aunque existe una importante cantidad de estudios frente al manejo de los contenedores vacíos, esta problemática no ha sido tratada desde la dinámica de sistemas para ninguno de los cuatro niveles geográficos. Además, aunque algunos modelos proponen balancear las demandas de importación y exportación, ninguno incorpora indicadores de nivel de servicio que permitan visualizar en qué momento se está perdiendo la oportunidad de atender demandas puntuales de exportación, con el fin de tomar medidas a futuro de manera más proactiva.

### **3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO**

Para la construcción del modelo es preciso conocer los elementos que caracterizan al sistema, analizar tanto los flujos de contenedores como la información histórica para identificar las tendencias o patrones que determinan la dinámica del sistema y establecer las relaciones entre el sistema y sus partes de acuerdo con las variables que serán evaluadas en función de las variables que se manipulan.

De manera simultánea es preciso comprender el sistema de costos que actualmente se maneja para la valoración de los costos logísticos relacionados con el flujo de los contenedores, con fin de evaluar el impacto de políticas frente a diferentes estrategias o escenarios.

#### **3.1. Elementos del sistema.**

El flujo de contenedores se representa como un sistema compuesto por una serie de elementos y subsistemas que analizados de manera integral facilitan el entendimiento del comportamiento del flujo de la carga en contenedores en Colombia para la naviera de estudio.

El sistema está compuesto por Terminales y Patios que son vistos a la vez como subsistemas. Los Terminales son los lugares donde ocurre el descargue y cargue de los contenedores mientras que los Patios son los lugares donde se almacenan las unidades vacías de manera temporal.

Los camiones en los que se movilizan los contenedores llenos y vacíos entre locaciones (Patios) o dentro de los Terminales, representan un elemento

fundamental para garantizar el flujo de contenedores dentro del sistema y entre subsistemas.

La frontera del sistema se puede representar como el punto donde el sistema de contenedores visto desde una perspectiva regional (País) se relaciona con el sistema interregional y global. Los elementos que representa la frontera son los buques por medio de la actividades de cargue y descargue de contenedores.

### **3.2. Flujo de contenedores dentro y fuera del sistema.**

Para comprender el comportamiento del flujo de los contenedores es preciso tener claridad sobre cada uno de los movimientos posibles que pueden presentarse para un contenedor. Una vez identificados los posibles movimientos, estos se clasificaron con el fin de identificar posibles parejas ó secuencia de movimientos. Los posibles movimientos se deben considerar tanto a nivel de Terminales como a nivel de Patios para posteriormente visualizar el grado de integración entre el sistema y sus partes.

Para el caso de estudio, la clasificación de cada movimiento se realizó de acuerdo con la actividad que se efectúa según la finalidad ó el uso que se está dando al contenedor: Importación, exportación, posicionamiento ó evacuación. De manera complementaria, dicha actividad se asocia al estado del contenedor en términos de si se encuentra lleno o vacío. De esta forma se vincula el flujo de acuerdo con actividades posibles para cada uno de los tipos de contenedor (20 ó 40 pies).

Adicionalmente, es preciso tener claridad sobre quien tiene posesión del contenedor. En una importación el cliente tiene posesión del contenedor hasta que este es retornado en estado vacío en un patio. En una exportación el cliente tiene la posesión del contenedor desde que lo retira del patio (vacío) hasta que ingresa al terminal (lleno).

### **3.2.1. Actividades en Terminales.**

Los terminales presentan actividades con contenedores tanto llenos como vacíos por ser el punto de cargue y descargue. Las posibles actividades que ocurren en los terminales son las siguientes:

- Descargue de contenedor lleno (Importación).
- Descargue de contenedor vacío (Posicionamiento).
- Embarque de contenedor lleno (Exportación).
- Embarque Terminal de contenedor vacío (Evacuación).
- Salida de contenedor lleno (Importación).
- Ingreso de contenedor lleno (Exportación).
- Ingreso de contenedor vacío (Posicionamiento).
- Desembalaje del contenedor lleno (Importación).
- Embalaje del contenedor vacío (Exportación).

### **3.2.2. Actividades en Patios.**

En los patios solamente se manejan contenedores vacíos, por lo tanto las posibles actividades que ocurren son las siguientes:

- Ingreso de contenedor vacío (Importación).
- Ingreso de contenedor vacío (Posicionamiento).
- Salida de contenedor vacío (Exportación).
- Salida de contenedor vacío (Posicionamiento).

### 3.2.3. Demandas de contenedores.

Para determinar las entradas y salidas de contenedores a nivel país, se emplearon las cifras históricas de movimientos de contenedores, de 20 y 40 pies, con carga seca y vacíos para el periodo comprendido entre Octubre 1 de 2009 y Septiembre 30 de 2010. Dicho periodo sirve para evaluar el comportamiento de la carga durante las temporadas de alta y baja demanda.

#### 3.2.3.1. Demandas de contenedores llenos.

Con el fin de evaluar los flujos de contenedores llenos, se revisaron los datos históricos de descargues de contenedores llenos en los 4 Terminales y las salidas de contenedores para exportación desde los 7 Patios tanto para contenedores de 20 como de 40 pies.

Normalmente la Línea Naviera cumple con las ventanas de tiempo asignadas para la recalada de los buques, cuya frecuencia es semanal. Por lo tanto, las demandas de contenedores llenos para importación fueron simplificadas con el fin de reflejar el descargue, una vez por semana, de contenedores llenos en cada uno de los Terminales. Para efectos del modelo se asume que los buques arriban siempre el mismo día (Ver Tabla 1) ya que es posible que un buque inicie descargue en un día determinado en la noche y finalice el descargue al siguiente día en la madrugada ó en caso de tener un pequeño retraso cumpla su operación de descargue durante el mismo día.

<b>Terminal</b>	<b>Día de Arribo</b>
Buenaventura	Jueves
Barranquilla	Jueves
Cartagena	Miércoles
Santa Marta	Sábado

**Tabla 1.** Días de arribo de los buques para cada Terminal.

Para las demandas de contenedores llenos para exportación, se estudiaron las salidas de contenedores vacíos desde cada Patio, que posteriormente fueron exportados. De esta manera se refleja mejor los requerimientos de contenedores

para cada Patio en un día determinado. Los Patios de contenedores no ofrecen servicio de entrega de unidades vacías los domingos y feriados. Para efectos de la construcción del modelo, con fines de simulación, el único día de la semana que no se retiran contenedores es el domingo ya que es posible que en futuros años los días feriados cambien.

La información, tanto de las demandas históricas de importación como de exportación, fue consolidada en matrices para cada Terminal y Patio según el tamaño del contenedor con el fin de emplearlas para la construcción del modelo. De esta forma, se generaron ocho matrices para las demandas de importación (dos para cada Terminal) y catorce matrices para las demandas de exportación (dos para cada Patio).

### **3.2.3.2. Demanda de contenedores vacíos.**

Debido al desbalance comercial para carga en contenedores se presenta un excedente de contenedores vacíos en Colombia que también puede ser visto como una demanda de contenedores vacíos en el exterior. De manera similar, durante algunas épocas del año, atender la demanda de exportación implica movilizar contenedores vacíos desde el exterior hacia Colombia o entre ciudades (Patios) dentro de Colombia. Es importante aclarar que las demandas de contenedores vacíos en los Patios ubicados en las ciudades donde hay terminales pueden tener dos propósitos: atender la demanda de contenedores para exportación o ser un paso de conexión para la evacuación de contenedores vacíos hacia el exterior del país.

Para los embarques de contenedores vacíos se consideraron los datos históricos semanales de embarque de contenedores de 20 y 40 pies para cada uno de los Terminales. Para efectos del modelo se asume que los buques zarpan siempre el mismo día (Ver Tabla 2) pues se considera que la Línea Naviera cumple con las ventanas de tiempo estimadas para su operación.

<b>Terminal</b>	<b>Día de Arribo</b>
Buenaventura	Sábado
Barranquilla	Viernes
Cartagena	Miércoles
Santa Marta	Sábado

**Tabla 2.** Días de zarpe de los buques para cada Terminal.

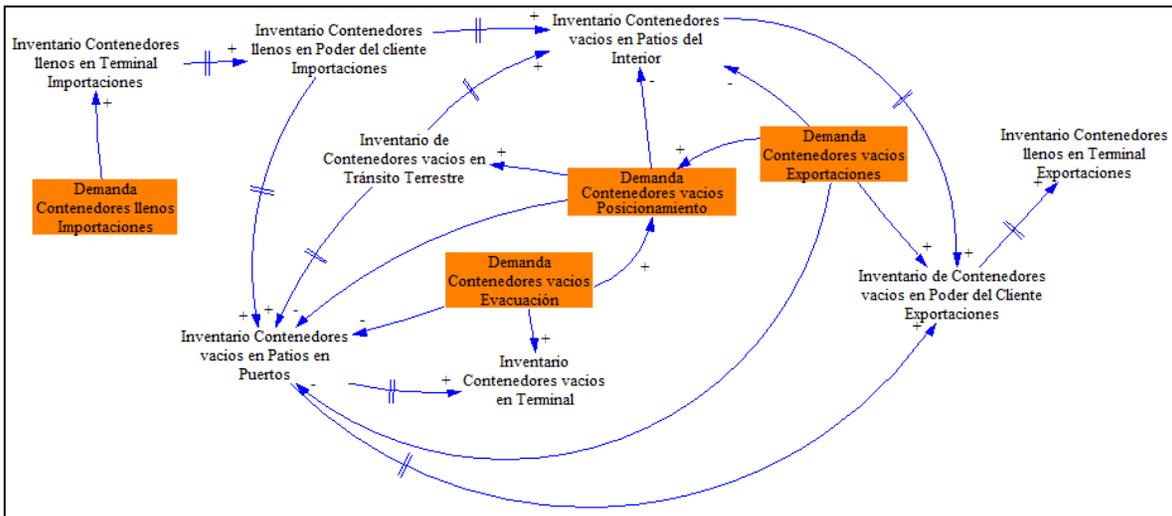
Para las demandas internas de contenedores vacíos, se trabajaron los datos históricos semanales cuando los contenedores son importados vacíos desde el exterior. Se evaluaron los datos de ingreso diario de contenedores vacíos en los Patios, que no provenían directamente de una importación, sino que estaban asociados a movimientos internos en el país efectuados por parte de una empresa de transporte contratada por la Línea Naviera para este fin.

La información tanto de las demandas históricas de exportación de contenedores vacíos como de importación y posicionamiento fue consolidada en matrices para cada Terminal y Patio según el tamaño del contenedor, con el fin de emplearlas para la construcción del modelo. Vale aclarar que algunos Terminales no presentaron importación de contenedores vacíos y algunos Patios no demandaron posicionamiento de contenedores vacíos. De esta forma se generaron una serie de matrices de acuerdo al comportamiento histórico de cada locación para las demandas de contenedores vacíos:

- Ocho matrices para las demandas de exportación (dos para cada Terminal),
- Cuatro matrices para las demandas de importación en los Terminales (dos para Barranquilla, una para Cartagena y una para Santa Marta relacionadas con contenedores de 20 pies).
- Diez matrices para las demandas de posicionamiento en los Patios (dos para Barranquilla, Buenaventura, Cartagena y Cali respectivamente, una para el Patio de Medellín relacionada con contenedores de 40 pies y una para Santa Marta relacionada con contenedores de 20 pies).

### 3.3. Relaciones entre el sistema y sus partes.

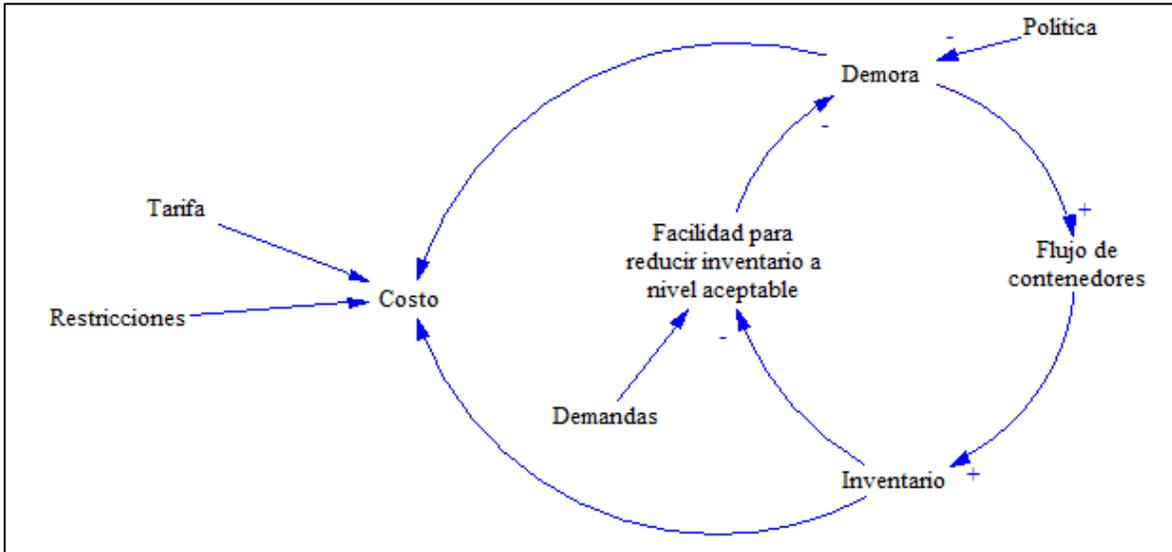
Para la elaboración del modelo bajo la metodología de Dinámica de sistemas es preciso identificar los bucles de realimentación presentes en el sistema, entender la no linealidad en los flujos de contenedores tanto llenos como vacíos y también reconocer donde se presentan demoras. En la Ilustración 8 se puede apreciar de manera simplificada los flujos de contenedores en función de las demandas, así como las demoras presentes entre los diferentes momentos donde se presenta acumulación de contenedores.



**Ilustración 8.** Diagrama de causalidad simplificado para el flujo de contenedores en función de las demandas.

De igual forma es preciso identificar las relaciones entre el sistema y los costos asociados al flujo de los contenedores. Tanto en las importaciones como en las exportaciones, las políticas frente a los tiempos de devolución o retiro impactan la rotación de los contenedores. Sin embargo un incremento en la rotación también puede afectar el nivel de inventario en un punto determinado del sistema. Un inventario alto implica que se dificulta la posibilidad de llegar a nivel aceptables y esto a su vez puede llegar a influenciar sobre la demora para poder reducir el nivel de inventario. Costos como Almacenamiento, Leasing, Transporte y Manipulación de contenedores se ven influenciados por las demoras, pues de acuerdo al nivel

del inventario, las demandas, restricciones de cada variable de respuesta y su respectiva tarifa se genera un costo para la Línea Naviera (ver Ilustración 9).



**Ilustración 9.** Diagrama causal sobre el impacto en los costos.

### 3.3.1. Realimentación.

El sistema asociado al flujo de contenedores presenta múltiples bucles donde se puede apreciar la realimentación, los cuales se presentan en varios de los subsistemas que lo componen. Los más representativos se encuentran en los Patios de contenedores. Es importante resaltar que los bucles no están aislados y su comportamiento está asociado a otros bucles de mayor complejidad.

#### 3.3.1.1. Realimentación Negativa.

Por tratarse de un sistema con limitaciones en cuanto a la capacidad de almacenamiento o de posicionamiento de contenedores, se presenta realimentación negativa en varios de los Patios ubicados en el interior del País. Sin embargo, estos bucles no son fáciles de identificar puesto que por temas de negociación algunos clientes que importan volúmenes considerables de contenedores todas las semanas, acordaron devolver contenedores en estas

locaciones independientemente si el Patio alcanzó un inventario de contenedores superior al nivel del *Free Pool*.

Las personas encargadas de gestionar los niveles de inventario no pueden detener el ingreso de contenedores vacíos de manera temporal. Solamente pueden limitar el acceso para clientes por fuera de estas negociaciones. En la construcción del modelo no se discrimina el tipo de cliente, solamente se trabajaron cifras históricas para conocer las tasas de devolución de contenedores a lo largo del año.

Esto implica que el modelo que se va a emplear, no controlará los niveles de inventarios en los Patios ubicados en el interior del País para efectos de retroalimentación, pero si servirá para identificar momentos en los que los patios comenzarán a representar extra costos frente al almacenamiento de contenedores vacíos, facilitando la toma de decisiones frente a intenciones de cerrar los patios para clientes que no tengan previos acuerdos con la Naviera con suficiente anticipación. En el caso de los Patios ubicados en las ciudades donde se tiene Terminal servirá para evaluar si se recomienda evacuar unidades vacías para no incurrir en extra costos por almacenamiento.

El embarque de contenedores presenta otro bucle de realimentación negativa, pues la capacidad del buque implica detener el embarque de contenedores vacíos para dar prelación al embarque de contenedores llenos en momentos en que la cantidad de contenedores llenos más los contenedores vacíos sobrepase la capacidad del buque. Es importante resaltar que las demandas de evacuación de contenedores están determinadas por personas que gestionan los flujos de unidades vacías por fuera del sistema (con una perspectiva interregional y Global), lo que implica que en algunas ocasiones se deberá tomar la decisión de no evacuar contenedores vacíos.

### **3.3.1.2. Realimentación Positiva.**

El bucle de realimentación positiva más importante es el que se presenta con los inventarios de contenedores vacíos en los Patios. A mayor cantidad de

contenedores vacíos mayor será la cantidad de contenedores que serán retirados para ser exportados, posicionados ó evacuados. Esta última aplica para los Patios que no están ubicados en el interior del País.

Es claro que la cantidad de contenedores que se requieren para exportación está determinada por una condición de la demanda, pero a mayor disponibilidad de contenedores, mayor será la cantidad que pueden ser entregados a los clientes. De manera similar para los contenedores de evacuación, a mayor disponibilidad, mayor será la cantidad que pueden ser evacuados (de acuerdo con las demandas de evacuación).

Si vemos el sistema como un bucle de realimentación positiva encontraremos que a mayor ingreso de contenedores producto de las importaciones, mayor será la cantidad de contenedores que pueden ser exportados, bajo las condiciones de demanda de exportación a nivel regional (País).

### **3.3.2. No Linealidad frente a los flujos de contenedores.**

Los flujos de contenedores llenos tanto de importación como de exportación y los flujos de contenedores vacíos posicionados y evacuados fueron analizados empleando Microsoft Excel® y Minitab® 15. Esto con el fin de revisar su comportamiento y variación a lo largo de un año para las tendencias en cuanto a devolución de equipos en importación en cada patio (tanto del interior como los localizados en puerto), el retiro de equipos en cada Patio frente al Terminal de embarque y los movimientos de contenedores vacíos entre Patios para efectos de posicionamiento de unidades para exportación o para evacuación fuera del País.

Dado que los flujos no se comportan de manera Lineal, se empleó el Método de Monte Carlo (Kalos, Whitlock, "Monte Carlo Methods", 2008) para trabajar las probabilidades de ocurrencia de un evento en función de la distribución de frecuencias que históricamente presentó cada pareja de movimientos. De esta forma se generaron matrices con las distribuciones de frecuencia acumulada de los movimientos asociados a contenedores de importación, exportación y vacíos de acuerdo con las siguientes combinaciones de movimientos:

- Desembalaje en Terminal y Salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones.
- Salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones.
- Embalaje de contenedores y salida de contenedores vacíos de Patios ubicados en las ciudades con Terminal para fines de exportación.
- Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores llenos para las exportaciones.
- Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores vacíos en Patios para posicionamiento o evacuación.

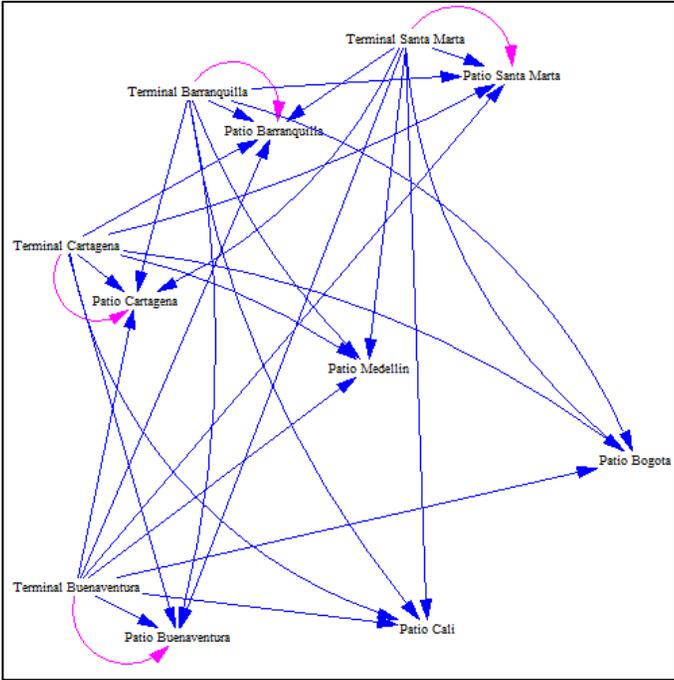
**3.3.2.1.** Desembalaje en Terminal y salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones.

Una vez se efectúa el descargue de un contenedor lleno con carga de importación, solo es posible que el contenedor siga una de dos alternativas: ser desembalado en el Terminal o ser retirado lleno por parte del cliente para posteriormente ser retornado vacío en un Patio (Ver Ilustración 10).

Cada uno de los cuatro Terminales presenta un comportamiento diferente a lo largo del año para cada tamaño de contenedor, frente a las proporciones de contenedores que son desembalados en el terminal (líneas color magenta) y los que salen llenos para posteriormente ser retornados vacíos en un patio (líneas color azul).

Considerando que los buques tienen una frecuencia semanal de arribo en cada Terminal, las probabilidades de ocurrencia tanto de las proporciones de contenedores desembalados como de contenedores que salen llenos fueron evaluadas de manera semanal. De esta forma se generaron cuatro matrices de Probabilidad de frecuencia asociadas a las proporciones tanto de las unidades que

son desembaladas como a aquellas que son retiradas llenas para cada uno de los Terminales.



**Ilustración 10.** Esquema de los flujos de desembalaje en Terminal y salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones.

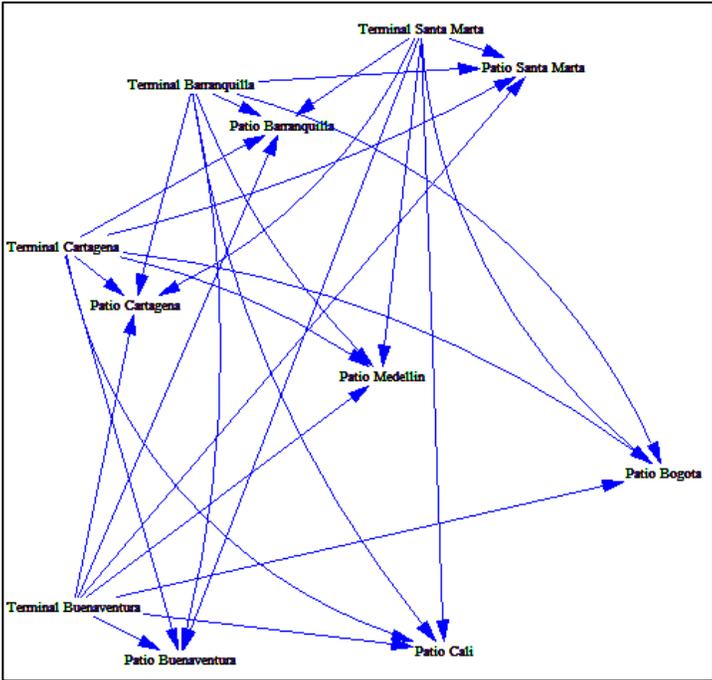
**3.3.2.2.** Salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones.

Tan pronto un contenedor es retirado lleno de un Terminal su siguiente movimiento es ingresar vacío en un Patio de contenedores. (Ver Ilustración 11). Las tendencias frente a las devoluciones de contenedores (líneas color azul) varían a lo largo del año no solo entre Terminales sino también de acuerdo al tamaño del contenedor.

La cantidad de contenedores que arriban semanalmente a un Terminal A que son retirados llenos y posteriormente serán devueltos en un Patio 1 no es la misma que aquellos retirados llenos del Terminal B y que son devueltos en el Patio 2. Tampoco lo es la proporción de contenedores que son retirados del Terminal A

posteriormente devueltos en el Patio 1 y la proporción de contenedores que son retirados del Terminal B devueltos en el Patio 2.

De manera individual, para cada Terminal, se revisaron las frecuencias ocurrencia de las proporciones de contenedores retirados semanalmente y que posteriormente ingresaron a cada uno de los siete Patios de contenedores. De esta forma se generaron catorce matrices, por Terminal, de las Probabilidades de frecuencia asociadas a las proporciones de devolución de contenedores en cada uno de los Patios.



**Ilustración 11.** Esquema de los flujos de salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones.

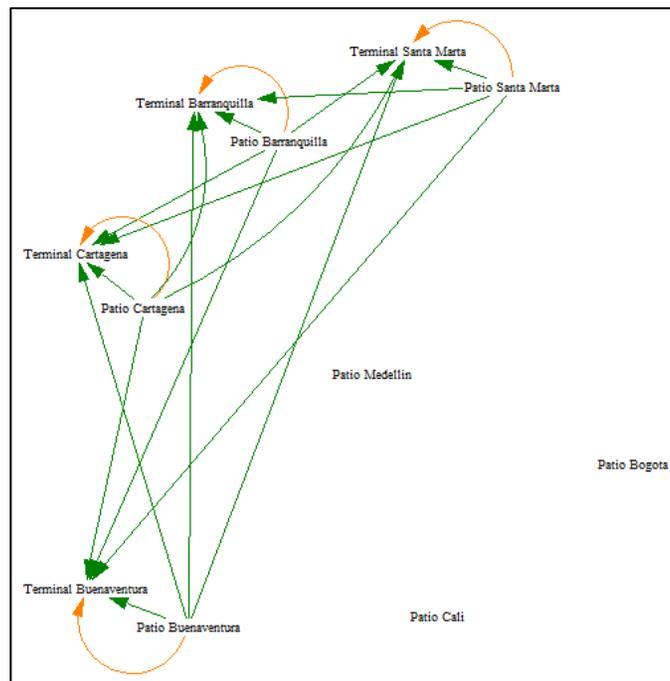
**3.3.2.3.** Movimiento para embalaje de contenedores y salida de contenedores vacíos con fines de exportación en Patios ubicados cerca de un Terminal.

Los movimientos que presentan los contenedores vacíos que son requeridos por los clientes en los Patios ubicados en las ciudades donde hay Terminal son solo dos: Movimiento de contenedor para su posterior embalaje en el Terminal o salida

de contenedor vacío por parte del cliente para su posterior exportación (Ver Ilustración 12).

Cada uno de los cuatro Terminales, presenta un comportamiento diferente a lo largo del año para cada tamaño de contenedor frente a las proporciones de contenedores que son requeridos para embalaje en el Terminal (líneas color naranja) y los que son retirados vacíos para posteriormente ser empleados para una exportación (líneas color verde).

De manera individual, para cada Patio ubicado en las ciudades donde se encuentran los Terminales, se revisaron las frecuencias de las proporciones de contenedores movilizados para embalaje y los equipos retirados con fines de exportación para cada semana. De esta forma se generaron cuatro matrices de Probabilidad de frecuencia asociadas a las proporciones, tanto de las unidades que son requeridas para embalaje como a aquellas que son retiradas por los clientes con fines de exportación, para cada uno de los Terminales.

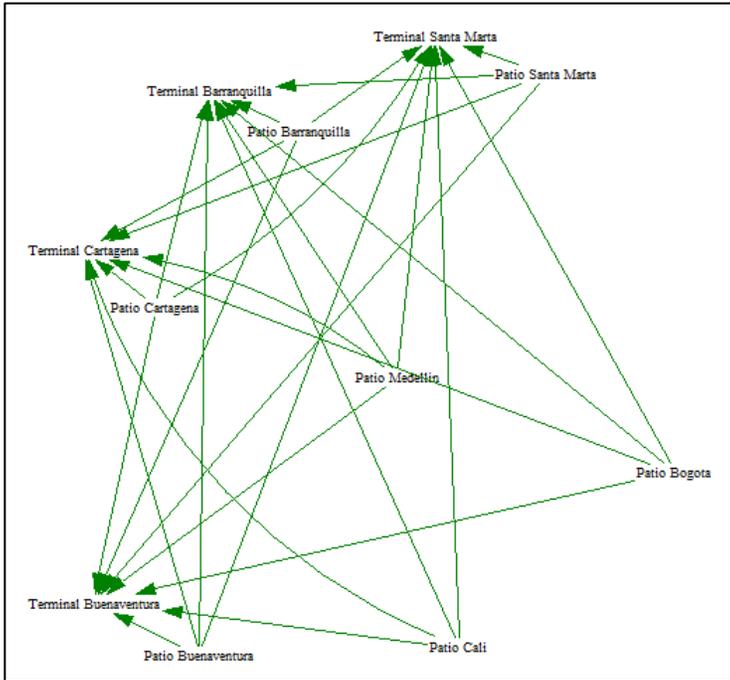


**Ilustración 12.** Esquema de los flujos de movimiento para embalaje de contenedores y salida de contenedores vacíos con fines de exportación en Patios ubicados cerca de un Terminal.

**3.3.2.4.** Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores llenos para las exportaciones.

Tan pronto un contenedor es retirado vacío de un Patio por parte de un cliente, su siguiente movimiento es ingresar lleno a un Terminal (Ver Ilustración 13). Las tendencias frente a los retiros e ingreso de contenedores en los Terminales (líneas color verde) varían a lo largo del año no solo entre Patios sino también de acuerdo al tamaño del contenedor.

De manera individual, para cada Patio, se revisaron las frecuencias de las proporciones de contenedores retirados semanalmente y que posteriormente ingresaron a cada uno de los Terminales. De esta forma se generaron catorce matrices, dos para cada Patio, de las Probabilidades de frecuencia asociadas a las proporciones de retiro de contenedores en cada uno de los Patios frente al ingreso lleno en los Terminales.

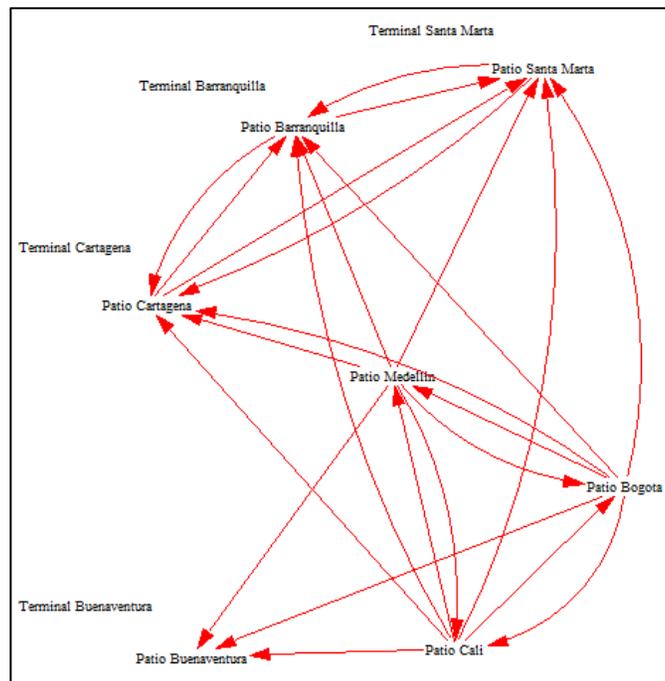


**Ilustración 13.** Esquema de los flujos de retiro de contenedores vacíos e ingreso de contenedores llenos para importaciones.

**3.3.2.5.** Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores vacíos en Patios para posicionamiento o evacuación.

Como se mencionó anteriormente, los contenedores vacíos son movilizados entre locaciones por parte de la Línea Naviera con el fin de atender demandas de contenedores para exportación o simplemente para facilitar la evacuación de contenedores. Los contenedores vacíos tan pronto un contenedor es retirado de un Patio, por parte de la Línea Naviera, su siguiente movimiento es ingresar vacío a otro Patio (Ver Ilustración 14).

Los movimientos de contenedores vacíos (líneas color rojo) están limitados por las dificultades para conseguir transporte terrestre económico requerido en la movilización de contenedores vacíos, por lo tanto, las tendencias frente a las salidas de contenedores e ingreso en otros Patios varían a lo largo del año no solo de acuerdo al Patio sino también según el tamaño del contenedor, pues no siempre se demandan las mismas cantidades de contenedores de 20 y 40 pies.



**Ilustración 14.** Esquema de los flujos de salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores vacíos en Patios para posicionamiento o evacuación.

De manera individual, para cada Patio, se revisaron las frecuencias de las proporciones de contenedores retirados semanalmente y que posteriormente ingresaron a cada uno de los Patios. Se generaron catorce matrices, para cada Patio, de las Probabilidades de frecuencia asociadas a las proporciones de retiro de contenedores en cada uno de los Patios frente al ingreso llenos en los Terminales.

Es importante resaltar que muchas de las combinaciones de movimientos de contenedores vacíos entre Patios no presentaron ninguna actividad, por lo cual la matriz no requiere ser incluida en el modelo.

### **3.3.3. Demoras en el sistema.**

Así como el sistema presenta cierto grado de aleatoriedad frente a los flujos de contenedores entre las locaciones igualmente presenta aleatoriedad en los tiempos entre actividades.

Actualmente el sistema presenta demoras en las siguientes actividades en los Terminales:

- Descargue de contenedores llenos de importación.
- Descargue de contenedores vacíos de posicionamiento.
- Descargue y posterior desembalaje en Terminal para las importaciones.
- Descargue y posterior salida de contenedores llenos del Terminal para las importaciones.
- Embalaje y posterior ingreso de contenedores para Exportación.
- Ingreso y embarque de contenedores llenos de exportación.
- Movimiento de contenedores vacíos desde Patio ubicado en Terminal hasta embarque para evacuación.

Las siguientes demoras se presentan con contenedores fuera de los Terminales y Patios.

- Salida de contenedores llenos y devolución de contenedores vacíos en las importaciones.
- Salida de contenedores vacíos de Patios e ingreso de contenedores llenos para las exportaciones.
- Transporte de contenedores vacíos entre Patios para posicionamiento o evacuación.

Para efectos de construcción del modelo, las demoras serán empleadas dentro de los parámetros y variables a manipular. Por lo tanto su comportamiento será manipulado, tomando valores determinados, con el fin de evaluar el desempeño del sistema ante diferentes circunstancias o escenarios.

### **3.4. Operacionalización de Variables.**

Las variables con las cuales se evalúa el desempeño del sistema relacionado con el flujo de contenedores en Colombia, están directamente asociadas a la estructura de costos que actualmente define la organización con el propósito de asignar recurso para un adecuado cumplimiento presupuestal.

Con el fin de establecer un mecanismo de evaluación de desempeño del sistema, es preciso caracterizar las variables a fijar, manipular y evaluar para un adecuado procesamiento y control de la información.

#### **3.4.1. Parámetros o variables a fijar.**

##### **3.4.1.1. Tiempo de Transporte para movimiento de contenedores vacíos.**

Este parámetro corresponde al tiempo que transcurre entre la salida de un contenedor vacío y su ingreso vacío a otra locación (Patio ó Terminal) cuando el contenedor está en poder de la Naviera. Este movimiento obedece a la necesidad

de posicionar contenedor para atender necesidades de exportación o para su posterior evacuación).

**Valores:**

- Si el movimiento ocurre entre un patio y un Terminal ubicados en la misma ciudad, el tiempo de transporte terrestre es de 0 días.
- Si el movimiento ocurre entre dos patios o un patio y un Terminal ubicados en diferentes ciudades, el tiempo de transporte terrestre es de 2 días.

**Tipo de variable:** Discreta.

**3.4.1.2.** Tiempo demora Devolución de contenedores desembalados.

El tiempo que transcurre entre el descargue de un contenedor producto de una importación y el tiempo que este es devuelto vacío en el Patio ubicado en el Terminal está asociado a una demora. Sin embargo esta demora es prácticamente despreciable ya que el Patio se encuentra en la misma ciudad.

**Valor:** 0 días.

**Tipo de variable:** Discreta.

**3.4.1.3.** Tiempo demora Embalaje de contenedores en Terminal.

El Tiempo que transcurre durante el proceso de embalaje está asociado a una demora debido a que el cliente debe movilizar el contenedor desde el Patio hacia la zona de embalaje en el Terminal, embalar la carga y posteriormente debe movilizar el contenedor desde la zona de embalaje hacia la zona de embarque.

**Valor:** 1 día.

**Tipo de variable:** Discreta.

#### **3.4.1.4.** Tiempo demora Descargue-Desembalaje para importaciones.

El Tiempo que transcurre entre el Descargue y el Desembalaje de contenedores en las importaciones representa una demora. Para efectos de la construcción de modelo esta demora será asociada al tiempo libre de bodegajes que otorgan los terminales para las importaciones de carga en contenedores.

**Valor:** 3 días.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Observación:** Normalmente los clientes tienen 3 días libres de bodegajes en los terminales. Esta práctica se maneja en todos los terminales.

#### **3.4.1.5.** Tiempo demora Ingreso-Embarque de contenedores.

El Tiempo mínimo que puede tardar un contenedor en el terminal antes de su embarque está asociado a una demora. Normalmente un contenedor debe estar en el Terminal como mínimo 24 horas antes del arribo del buque para poder documentarlo para su embarque.

**Valor:** 1 día.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Observación:** Para esta variable se considerará la demora frente a la fecha de zarpe del buque.

#### **3.4.1.6.** Tiempo demora embarque de contenedores.

El Tiempo que tarda un buque efectuando la operación de embarque de contenedores durante una recalada en Puerto está asociado a una demora. Este tiempo está en función de la cantidad de contenedores que deben ser embarcados. Para efectos de simplificación del modelo se fijara en un día esta actividad.

**Valor:** 1 día.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Observación:** Normalmente la operación de embarque puede tomar menos de un día.

#### **3.4.1.7.** Tiempo demora descargue de contenedores.

El Tiempo que tarda un buque efectuando la operación de descargue de contenedores durante una recalada en Puerto está asociado a una demora. Este tiempo está en función de la cantidad de contenedores que deben ser descargados. Para efectos de simplificación del modelo se fijara de acuerdo con el Terminal debido a que en Buenaventura se manejan volúmenes superiores de importación.

**Valores:**

- Buenaventura: 2 días.
- Barranquilla, Cartagena y Santa Marta: 1 día.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Observación:** Normalmente la operación de descargue puede tomar menos de un día para los puertos de Barranquilla, Cartagena y Santa Marta.

#### **3.4.1.8.** Fracción de contenedores que pagan *Drop Off*.

Con el fin de conocer los ingresos por concepto de *Drop Off*, se define el porcentaje de contenedores que pagan *Drop Off*, según la tendencia de los acuerdos comerciales que se pactan para la devolución de contenedores vacíos en Patios ubicados en el interior del País.

**Valor:** 20%.

**Tipo de variable:** Discreta.

### 3.4.1.9. Costo del *Drop Off*.

El Costo en que incurre un cliente al entregar un contenedor vacío, producto de una importación, en un patio diferente a los ubicados en puerto se conoce como *Drop Off* y representa un ingreso para la Naviera.

**Valores:** El costo del *Drop Off* depende de la tarifa de cada Patio de acuerdo con el tamaño del contenedor (ver Tabla 3).

Patio	20 pies	40 pies
Bogotá	200 USD	400 USD
Cali	100 USD	200 USD
Medellín	100 USD	200 USD

**Tabla 3.** Tarifas *Drop Off* para cada Patio según el tamaño del contenedor.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Observación:** La tarifa puede variar a lo largo del año. Sin embargo para efectos de construcción del modelo se trabajaron tarifas estándar para todo el año en cada uno de los Patios.

### 3.4.2. Variables a Manipular.

Las variables que se desea manipular, con el fin de ver su impacto en las variables a evaluar, están asociadas a los días libres de devolución de contenedores de importación y días libres para exportación de contenedores.

#### 3.4.2.1. Días libres para devolución de contenedores de importación.

Los días libres para devolución de contenedores de importación es el tiempo otorgado a los clientes importadores para completar su proceso de importación y retornar los contenedores vacíos en un patio. Los días libres normalmente se contabilizan desde el momento de descargar del contenedor. Sin embargo, para efectos del modelo se consideraran los días libres desde el momento en que el contenedor sale del Terminal, ya que se asume que el cliente siempre utiliza los 3 días libres que ofrece el Terminal tan pronto un contenedor es descargado.

También se asume que el cliente empleará los días exactos que tiene para devolver el contenedor. El tiempo libre para devolución de contenedores será el mismo independientemente del puerto por el que arriba la carga.

**Unidad de medida:** Días.

**Tipo de variable:** Discreta y estocástica.

**Observación:** Se asume que el cliente empleará los días exactos que tiene para sacar el contenedor del Terminal y devolverlo vacío en un Patio.

#### **3.4.2.2. Días libres para retiro e ingreso de contenedores para exportación.**

Los días libres para retiro y posterior ingreso de contenedores en una exportación, representan el tiempo otorgado a los clientes para completar su proceso de exportación. Los días libres normalmente se contabilizan desde el momento del retiro del contenedor vacío hasta el embarque del contenedor. Sin embargo, para efectos del modelo se consideraran los días libres desde el momento en que el contenedor sale del patio hasta que ingresa al Terminal, ya que se asume que el cliente siempre utiliza los 3 días libres que ofrece el Terminal entre el ingreso y el embarque del contenedor. El tiempo libre será el mismo independientemente del patio en el que se retira el contenedor.

**Unidad de medida:** Días.

**Tipo de variable:** Discreta y estocástica.

**Observación:** Se asume que el cliente empleará los días exactos que tiene para retirar el contenedor vacío de un Patio e ingresarlo lleno a un Terminal.

#### **3.4.3. Variables a Evaluar.**

Las variables que se planea evaluar están relacionados con el costo total de almacenamiento, costo total de Leasing o arrendamiento, costo total de transporte, costo total de manipulación, ingresos totales por concepto de *Drop Off* y el Nivel de servicio promedio.

Para efectos de simplificación en los diagramas de causalidad que se presentan a continuación, se manejó la siguiente convención de siglas para cada una de las ciudades la cual se aprecia en la Tabla 4.

<b>Ciudad</b>	<b>Convención</b>
Barranquilla	BAQ
Bogotá	BQG
Buenaventura	BVN
Cali	CLI
Cartagena	CTG
Medellín	MED
Santa Marta	SMP

**Tabla 4.** Convenciones para los nombres de las ciudades.

#### **3.4.3.1.** Costo Total por Almacenamiento de contenedores vacíos.

El Costo Total por Almacenamiento de contenedores vacíos es aquel que incurre la Línea Naviera al almacenar contenedores vacíos en los Patios, por encima de los niveles pactados libres de costo variable (*Pool*).

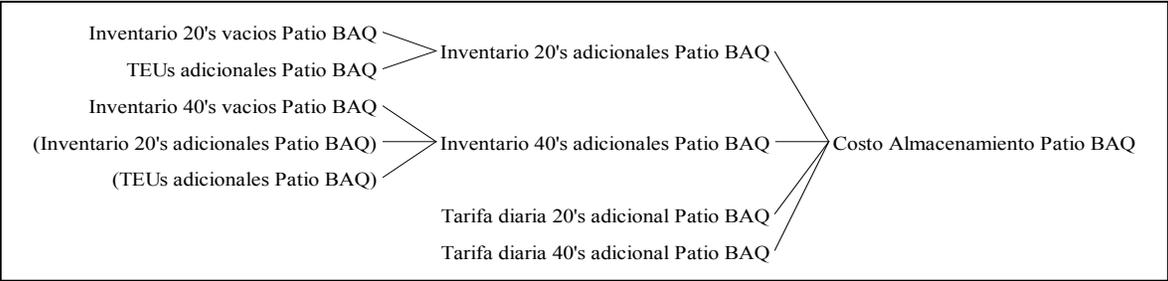
Los niveles de inventario libres de tarifa variable por almacenamiento están determinados en *TEU*. Por lo tanto, es preciso determinar la cantidad de contenedores adicionales equivalentes en *TEU* para establecer cuantos contenedores adicionales de 20 y 40 pies se están almacenando en cada Patio. La tarifa por almacenamiento puede variar dependiendo del Patio y el tamaño del contenedor. (Ver ilustración 15)

**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Continua.

**Instrumento de Medición:** Se emplearan los registros de inventarios de contenedores en los patios para determinar la cantidad de contenedores por encima del nivel libre de costo variable en cada locación. Posteriormente esta cantidad de contenedores se multiplica por la tarifa de almacenamiento diario en

cada locación y se suman los costos de almacenamiento de todos los Patios. Se consolidará la información de manera anual.



**Ilustración 15.** Diagrama de causalidad para el Costo Total por almacenamiento de contenedores vacíos para un Patio.

**3.4.3.2.** Costo Total por *Leasing* o arrendamiento de contenedores.

*El Costo Total por Leasing de contenedores es aquel* incurrido por parte de la Línea Naviera por concepto de arrendamiento de contenedores vacíos. Aplica tanto para cuando el contenedor está en posesión del cliente, como cuando está en posesión de la Línea Naviera. Solamente será evaluado para el tiempo en que el contenedor permanece en Colombia.

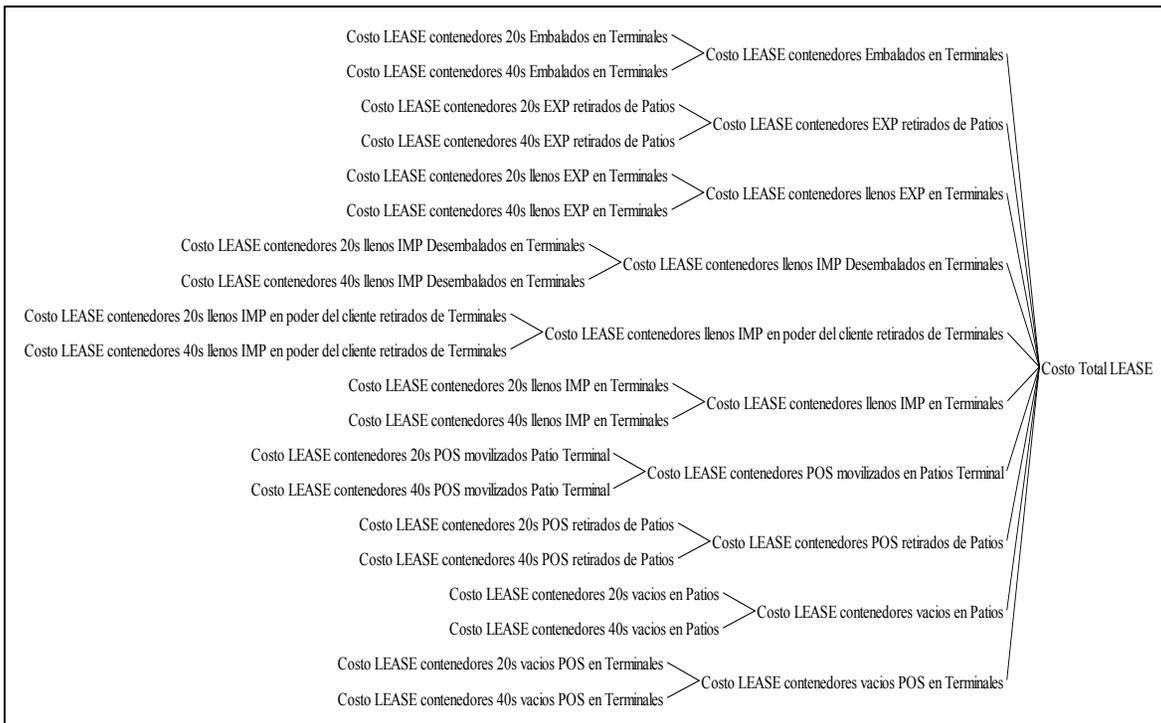
**Observaciones:** El costo del Leasing se modifica dependiendo del mes.

- Entre Agosto y Mayo el costo diario del Leasing es de 1 USD/día por contenedor.
- Entre Junio y Julio el costo diario del Leasing es de 3 USD/día por contenedor.

**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Continua.

**Instrumento de Medición:** Registro diario de la cantidad de contenedores que se encuentran en el País en todas las posibles locaciones y estados. Esta cantidad posteriormente debe ser multiplicada por el costo del Leasing diario. Se consolidará la información de manera anual. (Ver ilustración 16).



**Ilustración 16.** Diagrama de causalidad para el Costo Total por Leasing o arrendamiento de contenedores en el Sistema.

### 3.4.3.3. Costo Total por Manipulación de contenedores vacíos.

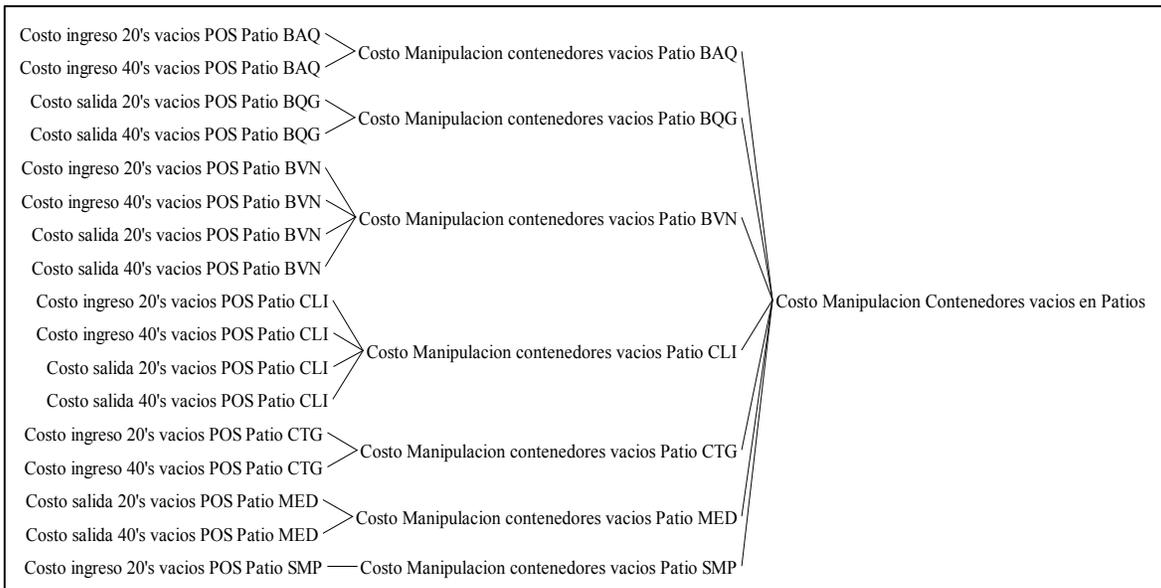
El Costo Total por Manipulación de contenedores vacíos es aquel que incurre la Línea Naviera al manipular un contenedor vacío tanto en Patios como en Terminales.

**Observación:** Las tarifas por movimientos pueden variar dependiendo del Patio ó el Terminal según el tamaño del contenedor.

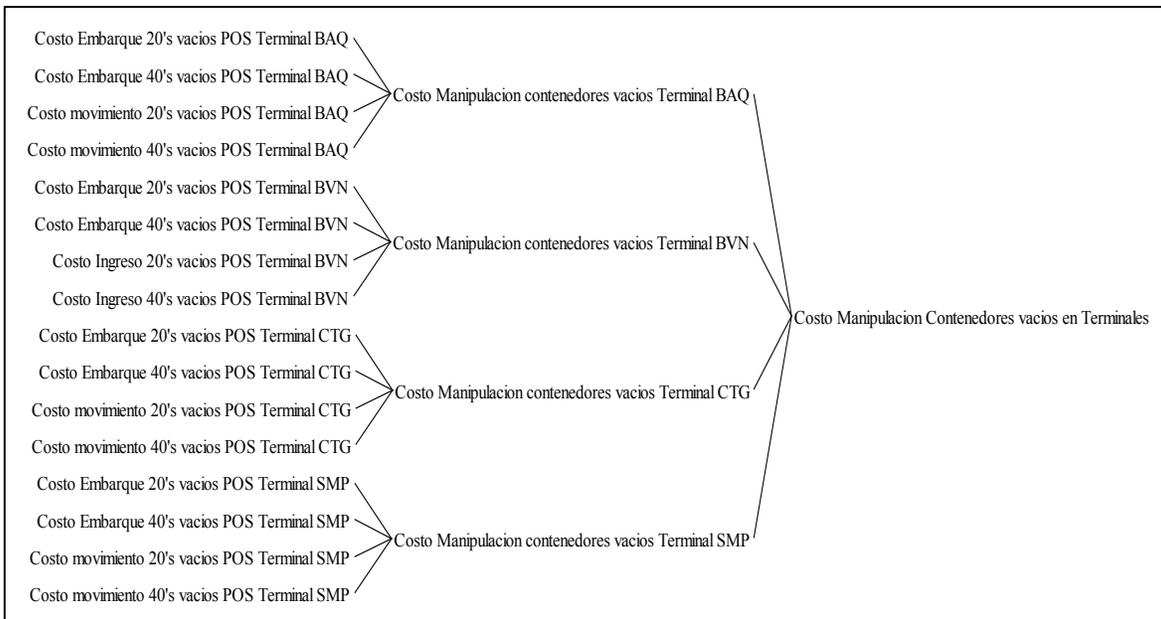
**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Continua.

**Instrumento de Medición:** Registro diario de los movimientos autorizados por la Línea Naviera para retirar, ingresar, movilizar, embarcar o descargar contenedores vacíos que no están bajo custodia del cliente, multiplicado por las tarifas de cada movimiento. (Ver Ilustraciones 17 y 18).



**Ilustración 17.** Diagrama de causalidad para el Costo de Manipulación de contenedores vacíos en Patios.



**Ilustración 18.** Diagrama de causalidad para el Costo de Manipulación de contenedores vacíos en Terminales.

### 3.4.3.4. Costo Total por Transporte de contenedores vacíos.

El Costo Total por Transporte de contenedores vacíos es aquel en que incurre la Línea Naviera al movilizar contenedores vacíos desde un patio hacia otra locación

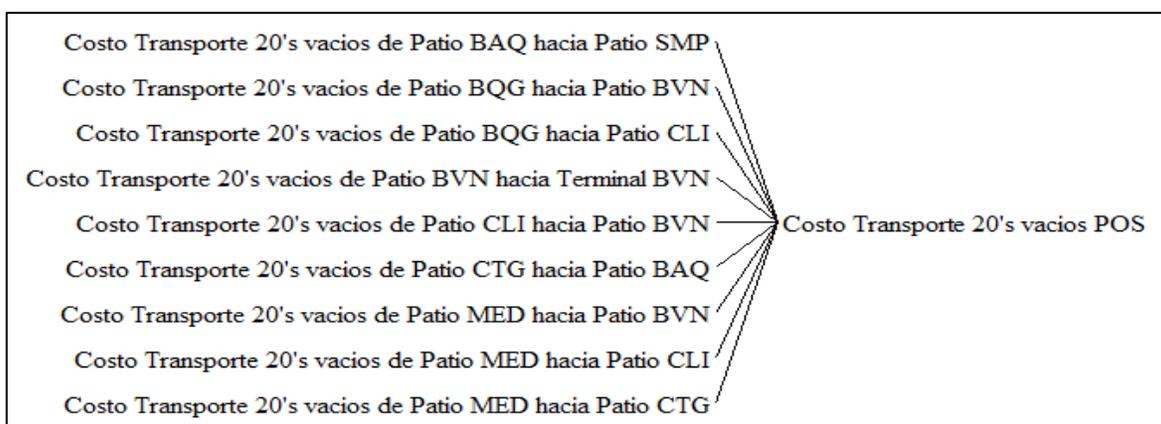
(patio o Terminal) para ser utilizados en una exportación o durante su recorrido hasta ser evacuado del país.

**Observación:** La tarifa varía dependiendo de la pareja de locaciones y el tamaño del contenedor.

**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Continua.

**Instrumento de Medición:** Registro diario de los movimientos efectuados entre cada pareja de locaciones para posteriormente multiplicarlo por la tarifa respectiva. Se consolidará la información de manera anual. (Ver Ilustración 19)



**Ilustración 19.** Diagrama de causalidad para el Costo de Transporte de contenedores vacíos en Terminales.

### 3.4.3.5. Ingreso Total por concepto de *Drop Off*.

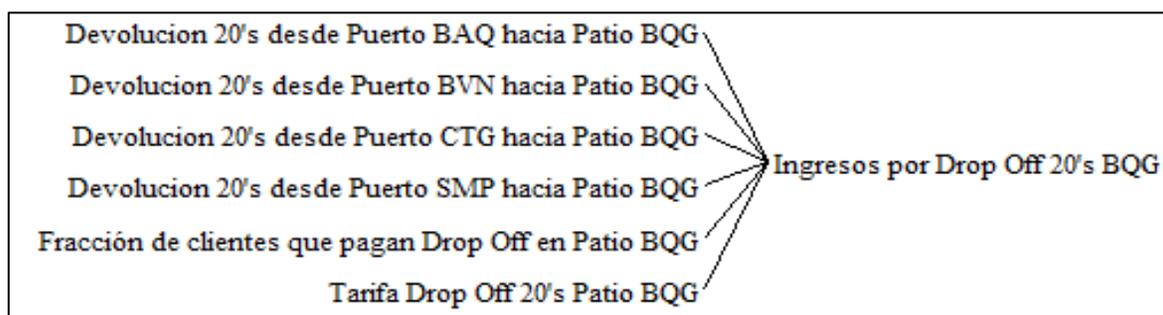
Los Ingreso percibidos por la Línea Naviera como consecuencia de la devolución de contenedores, por parte de los clientes, en los Patios localizados en el interior del País corresponde a los ingresos por concepto de *Drop Off*. Estos ingresos son variables a lo largo del año.

**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Instrumento de Medición:** Registro diario de los contenedores que son devueltos en los patios ubicados en el interior del país multiplicado por la fracción de contenedores que pagan *Drop Off*. Se consolidará la información de manera anual. (Ver Ilustración 20)

**Observación:** La tarifa de *Drop Off* puede variar de acuerdo con cada patio y según el tamaño del contenedor



**Ilustración 20.** Diagrama de causalidad para el Ingreso por concepto de *Drop Off* para un tamaño de contenedor en un Patio.

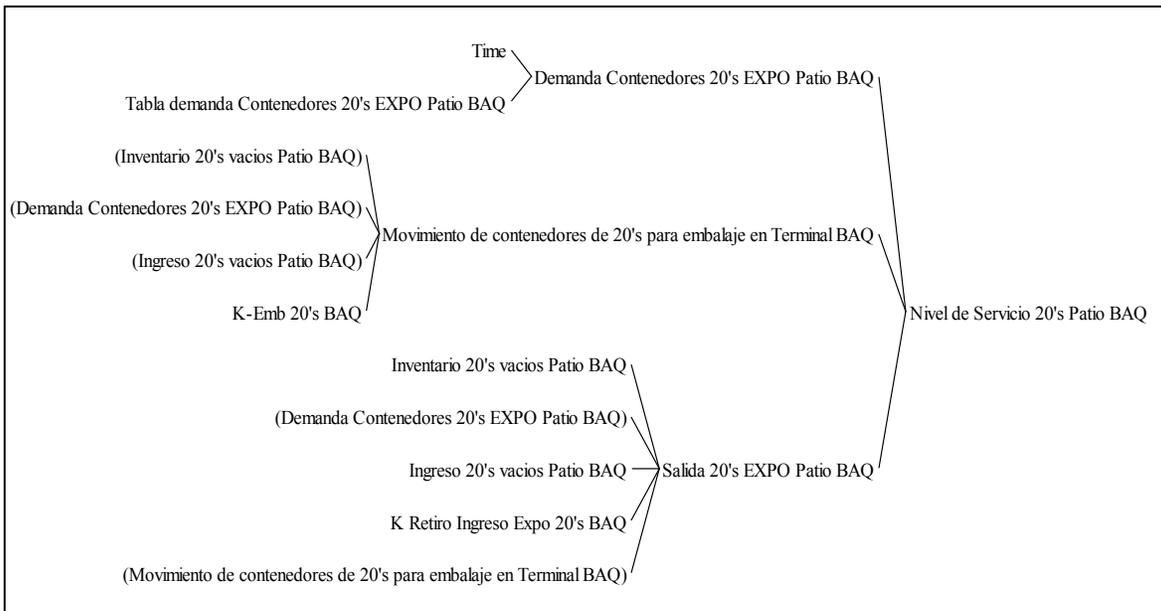
### 3.4.3.6. Nivel de Servicio Promedio para Exportaciones

Aunque existen múltiples formas de evaluar el nivel de servicio, para el caso de estudio se considerará como Nivel de Servicio Promedio para las Exportaciones, a la Intención de la Línea Naviera de atender la totalidad de los requerimientos de contenedores para exportación ya sea almacenando o movilizand o contenedores vacíos en las cantidades y tamaños solicitados para el momento en que los exportadores los necesitan.

**Unidad de medida:** Porcentaje.

**Tipo de variable:** Discreta.

**Instrumento de Medición:** Porcentajes de contenedores asignados por la Línea Naviera en cada locación frente a la cantidad de contenedores que los clientes solicitan para ese día. Se reporta el promedio de los porcentajes de nivel de servicio de todas las locaciones y de cada tamaño de contenedor. (Ver Ilustración 21).



**Ilustración 21.** Diagrama de causalidad para definir el Nivel de Servicio en un Patio ubicado en Terminal para un tamaño de contenedor.

### 3.4.3.7. Costo Total por Manejo de contenedores vacíos

El costo Total por manejo de contenedores vacíos es la suma del Costo Total por almacenamiento de contenedores vacíos, más el costo Total por Leasing o arrendamiento, más el costo Total por Manipulación de contenedores vacíos y el costo Total por Transporte de contenedores vacíos

**Unidad de medida:** USD.

**Tipo de variable:** Continua.

## 3.5. Modelación Matemática.

Con la finalidad de trasladar el modelo conceptual a un software de simulación dinámica, es preciso representar los elementos de los diagramas causales por medio de variables clasificadas en tres tipos: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

## Indices

*t*: Período de tiempo,  $t = 1, 2, 3, \dots, T$

*a*: Terminal,  $a = 1, 2, 3, 4$  (Ver Anexo 1)

*b*: Tamaño de contenedor,  $b = 1, 2$  (Ver Anexo 1)

*c*: Patio,  $c = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  (Ver Anexo 1)

## Parámetros:

*Estado de los contenedores:*

*F* = Contenedores llenos

*V* = Contenedores vacíos

## Inventario:

$NInvDscT^aF_k^b$ : Nivel de inventario de contenedores llenos Tamaño **b** que se encuentran descargados en el Terminal **a** para el instante de tiempo **k**

$NInvDsbT^aF_k^b$ : Nivel de inventario contenedores llenos Tamaño **b** que están siendo desembalados en Terminal **a** para el instante de tiempo **k**

$NInvSalT^aF_k^b$ : Nivel de inventario contenedores llenos Tamaño **b** que salieron del Terminal **a** para el instante de tiempo **k**

$NInvPatP^cV_k^b$ : Nivel de inventario contenedores vacíos Tamaño **b** que se encuentran en el Patio **c** para el instante de tiempo **k**

$NInvRetP^cV_k^b$ : Nivel de inventario contenedores vacíos Tamaño **b** que fueron retirados por parte del cliente en el Patio **c** para el instante de tiempo **k**

$NInvMebP^cT^aV_k^b$ : Nivel de inventario contenedores vacíos Tamaño **b** que son movilizados para embalaje desde el Patio **c** hacia el Terminal **a** para el instante de tiempo **k**

- $NInvPosP^cV_k^b$ : Nivel de inventario contenedores vacíos Tamaño **b** que están siendo posicionados desde el Patio **c** para el instante de tiempo **k**
- $NInvMovP^cT^aV_k^b$ : Nivel de inventario contenedores vacíos Tamaño **b** que están siendo movilizados con fines de evacuación desde el Patio **c** hacia el Terminal **a** para el instante de tiempo **k**
- $NInvIngT^aF_k^b$ : Nivel de inventario contenedores llenos Tamaño **b** que ingresaron en el Terminal **c** para el instante de tiempo **k**
- $NBuqueT_k^a$ : Nivel de Inventario de contenedores, expresado en TEUs, programados para embarque en Buque que zarpa del Terminal **a** para el instante de tiempo **k**.

#### Tasas:

- $TasaDscT^aF_{jk}^b$ : Tasa de descarga de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaSalT^aF_{jk}^b$ : Tasa de salida de contenedores llenos Tamaño **b** del Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaDsbT^aF_{jk}^b$ : Tasa de desembalaje de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaDDT^aP^cV_{jk}^b$ : Tasa de devolución de contenedores vacíos Tamaño **b** que fueron desembalados en el Terminal **a** e ingresan al Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaDevT^aP^cV_{jk}^b$ : Tasa de devolución de contenedores vacíos Tamaño **b** que salieron llenos del Terminal **a** e ingresan al Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaIngPosP^cV_{jk}^b$ : Tasa de ingreso de contenedores vacíos Tamaño **b** que fueron posicionados desde el Patio **c'** e ingresan al Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaMebP^cT^aV_{jk}^b$ : Tasa de movilización de contenedores vacíos Tamaño **b** para embalaje desde el Patio **c** hacia el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaRetP^cV_{jk}^b$ : Tasa de retiro por parte del cliente de contenedores vacíos Tamaño **b** desde el Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**

- $TasaSalPosP^cV_{jk}^b$ : Tasa de salida de contenedores vacíos Tamaño **b** para posicionamiento desde el Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaMovP^cT^aV_{jk}^b$ : Tasa de movimiento de contenedores vacíos Tamaño **b** para evacuación desde el Patio **c** hacia el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaIngT^aP^cF_{jk}^b$ : Tasa de ingreso de contenedores llenos Tamaño **b** al Terminal **a** que fueron retirados desde el Patio **c** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaEmbT^aF_{jk}^b$ : Tasa de embalaje de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaCargueT^aV_{jk}^b$ : Tasa de embarque de contenedores vacíos Tamaño **b** en el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $TasaCargueT^aF_{jk}^b$ : Tasa de embarque de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a** durante el periodo comprendido entre **j** y **k**
- $ZarpeBuqueT_{jk}^a$ : Tasa de zarpe del Buque del Terminal **a**, expresado en TEUs, durante el periodo comprendido entre **j** y **k**

#### Demoras:

- $DemDscT_{j-Dem_a}^a$ : Tiempo transcurrido durante el descargue de contenedores en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.
- $DemDscDsbT_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido entre el descargue y el movimiento para desembalaje de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.
- $DemDscSalT_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido entre el descargue y la salida de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.
- $DemDDT^aP^cV_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido entre el movimiento para desembalaje de contenedores vacíos Tamaño **b** en el Terminal **a** y la devolución en el Patio **c**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

$DemSalDevT^aP^cV_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido entre la salida de contenedores llenos Tamaño **b** desde el Terminal **a** y la devolución de contenedores vacíos Tamaño **b** en el Patio **c**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

$DemEmbP^cT^aV_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido durante el movimiento para embalaje de contenedores vacíos Tamaño **b** desde el Patio **c** hasta el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se embala el contenedor.

$DemRetIngP^cT^aF_{j-Dem_c}^b$ : Tiempo transcurrido desde el retiro de contenedores vacíos Tamaño **b** desde el Patio **c** por parte del cliente y el ingreso de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

$DemTrsP^cV_{j-Dem_c}^b$ : Tiempo transcurrido durante el transporte de contenedores vacíos Tamaño **b** desde el Patio **c** hasta otro Patio, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

$DemCargueT^aF_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido durante el embarque de contenedores llenos Tamaño **b** en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

$DemCargueT^aV_{j-Dem_a}^b$ : Tiempo transcurrido durante el embarque de contenedores vacíos Tamaño **b** en el Terminal **a**, para el periodo comprendido desde **j** hasta que se completa la actividad.

#### **Coeficientes para los flujos:**

$kDsbT^aF^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores llenos Tamaño **b** que son desembalados en el Terminal **a**.

$kSalT^aF^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores llenos Tamaño **b** que salen del Terminal **a**.

$kDevT^aP^cF^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores llenos Tamaño **b** que salen del Terminal **a** y son devueltos en el Patio **c**.

$kEmbP^cT^aV^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores vacíos Tamaño **b** que son movilizados para embalaje desde el Patio **c** para ser embarcados desde el Terminal **a**.

$kRetP^cT^aV^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores vacíos Tamaño **b** que son retirados por parte del cliente desde el Patio **c** para ser embarcados desde el Terminal **a**.

$kPosP^cV^b$ : Coeficiente para fracción de contenedores vacíos Tamaño **b** que son posicionados desde el Patio **c** hacia otro Patio.

#### *Demandas:*

$DiT^aF^b$ : Demanda de importación de contenedores llenos Tamaño **b** que son descargados en el Terminal **a**.

$DiT^aV^b$ : Demanda de importación de contenedores vacíos Tamaño **b** que son descargados en el Terminal **a**.

$DeP^cV^b$ : Demanda de exportación de contenedores vacíos Tamaño **b** que son retirados desde el Patio **c**.

$DpP^cV^b$ : Demanda de posicionamiento de contenedores vacíos Tamaño **b** que son requeridos en el Patio **c**.

$DvT^aV^b$ : Demanda evacuación de contenedores vacíos Tamaño **b** que son embarcados desde el Terminal **a**.

#### *Restricción de capacidad:*

$CapBuqueT^a$ : Capacidad de transporte del Buque que zarpa desde el Terminal **a** expresada en TEUs.

#### *Día de zarpe de los buques:*

$n_a$ : Día de la semana en que zarpa el Buque desde el Terminal **a**.

## VARIABLES DE NIVEL:

Aplican para todos los Terminales y patios según el lugar donde se presenta la actividad.

$$NInvDscT^a F_k^b = NInvDscT^a F_j^b + [TasaDscT^a F_{jk}^b - TasaSalT^a F_{jk}^b - TasaDsbT^a F_{jk}^b] * dt \quad (1)$$

$$NInvDsbT^a F_k^b = NInvDsbT^a F_j^b + [TasaDsbT^a F_{jk}^b - TasaDDT^a P^c V_{jk}^b] * dt \quad (2)$$

$$NInvSalT^a F_k^b = NInvSalT^a F_j^b + \left[ TasaSalT^a F_{jk}^b - \left( \sum_{c=1}^7 TasaDevT^a P^c V_{jk}^b \right) \right] * dt \quad (3)$$

$$NInvPatP^c V_k^b = NInvPatP^c V_j^b + \left[ \left( \sum_{a=1}^4 TasaDevT^a P^c V_{jk}^b \right) + \left( \sum_{c'=1}^6 TasaIngPosP^c V_{jk}^b \right) + TasaDDT^a P^c V_{jk}^b - TasaMebP^c T^a V_{jk}^b - TasaRetP^c V_{jk}^b - TasaSalPosP^c V_{jk}^b - TasaMovP^c T^a V_{jk}^b \right] * dt \quad (4)$$

$$NInvRetP^c V_k^b = NInvRetP^c V_j^b + \left[ TasaRetP^c V_{jk}^b - \left( \sum_{a=1}^4 TasaIngT^a P^c F_{jk}^b \right) \right] * dt \quad (5)$$

$$NInvMebP^c T^a V_k^b = NInvMebP^c T^a V_j^b + [TasaMebP^c T^a V_{jk}^b - TasaEmbT^a F_{jk}^b] * dt \quad (6)$$

$$NInvPosP^c V_k^b = NInvPosP^c V_j^b + \left[ TasaSalPosP^c V_{jk}^b - \left( \sum_{c'=1}^6 TasaIngPosP^c V_{jk}^b \right) \right] * dt \quad (7)$$

$$NInvMovP^c T^a V_k^b = NInvMovP^c T^a V_j^b + [TasaMovP^c T^a V_{jk}^b - TasaCargueT^a V_{jk}^b] * dt \quad (8)$$

$$NInvIngT^a F_k^b = NInvIngT^a F_j^b + \left[ \left( \sum_{c=1}^7 TasaIngT^a P^c F_{jk}^b \right) + TasaEmbT^a F_{jk}^b - TasaCargueT^a F_{jk}^b \right] * dt \quad (9)$$

$$NBUquet_k^a = NBUquet_j^a + \left[ \frac{(TasaCargueT^a V_{jk}^2 + TasaCargueT^a F_{jk}^2)}{2} + (TasaCargueT^a V_{jk}^1 + TasaCargueT^a F_{jk}^2) - ZarpeBUquet_j^a \right] * dt \quad (10)$$

## VARIABLES DE FLUJOS:

Aplican para todos los Terminales y patios según el lugar donde se presenta la actividad.

$$TasaDscT^a F_{jk}^b = DiT^a F^b * DemDscT_{j-Dem_a}^a \quad (11)$$

$$TasaDscT^a V_{jk}^b = DiT^a V^b * DemDscT_{j-Dem_a}^a \quad (12)$$

$$TasaMovP^c T^a V_{jk}^b = TasaDscT^a V_{jk}^b \quad (13)$$

$$TasaDsbT^a F_{jk}^b = ENT \quad \left| \begin{array}{l} \text{Si } NInvDscT^a F_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \quad \text{Min} \left( DemDscDsbT^a F_{j-Dem_a}^b * kDsbT^a F^b, \right. \\ \quad \left. \text{Max} \left( NInvDscT^a F_j^b - DemDscSalT^a F_{j-Dem_a}^b * kSalT^a F^b, 0 \right) \right) \\ \text{Si no } 0 \end{array} \right. \quad (14)$$

$$TasaSalT^a F_{jk}^b = ENT \quad \left| \begin{array}{l} \text{Si } NInvDscT^a F_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \quad \text{Min} \left( DemDscSalT^a F_{j-Dem_a}^b * \right. \\ \quad \left. kSalT^a F^b, \text{Max} \left( NInvDscT^a F_j^b - DemDscDsbT^a F_{j-Dem_a}^b * \right. \right. \\ \quad \left. \left. kDsbT^a F^b, 0 \right) \right) \\ \text{Si no } 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

$$TasaDDT^a P^c V_{jk}^b = ENT \quad \left| \begin{array}{l} \text{Si } NInvDsbT^a F_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \quad \text{Min} \left( NInvDsbT^a F_j^b, DemDDT^a P^c V_{j-Dem_a}^b \right) \\ \text{Si no } 0 \\ \forall c = a \end{array} \right. \quad (16)$$

$$TasaRetP^cV_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Si } NInvPatP^cV_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \text{Min} (DeP^cV^b, NInvPatP^cV_j^b - TasaMebP^cT^aV_{jk}^b) \\ \quad * kRetP^cT^aV^b \\ \text{Si no } 0 \end{array} \right. \quad (17)$$

$$TasaDevT^aP^cV_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Si } NInvSalT^aF_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \text{Min} \left( NInvSalT^aF_j^b, \text{Max} \left( DemSalDevT^aP^cF_{j-Dem_a}^b \right. \right. \\ \quad * kDevT^aP^cF^b \\ \quad - \sum_{c'=1}^6 DemSalDevT^aP^{c'}F_{j-Dem_a}^b \\ \quad \left. \left. * kDevT^aP^{c'}F^b, \quad 0 \right) \right) \\ \text{Si no } 0 \\ c' \in C / c' \cup c = C \end{array} \right. \quad (18)$$

$$TasaMebP^cT^aV_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Si } NInvPatP^cV_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \text{Min} (DeP^cV^b, NInvPatP^cV_j^b) * kEmbP^cT^aV^b \\ \text{Si no } 0 \\ \forall c = a \end{array} \right. \quad (19)$$

$$TasaSalPosP^cV_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \text{Si } NInvPatP^cV_j^b > 0 \\ \text{Entonces} \\ \text{Min} (DpP^cV^b, NInvPatP^cV_j^b - TasaMebP^cT^aV_{jk}^b \\ \quad - TasaRetP^cV_{jk}^b) \\ \text{Si no } 0 \end{array} \right. \quad (20)$$

$$TasaMevP^c T^a V_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \mathbf{Si} \ NInvPatP^c V_j^b > 0 \\ \\ \mathbf{Entonces} \\ \text{Min} \left( DvT^a V^b, \quad NInvPatP^c V_j^b - TasaMebP^c T^a V_{jk}^b \right. \\ \quad \left. - TasaRetP^c V_{jk}^b - TasaSalPosP^c V_{jk}^b \right) \\ \\ \mathbf{Si} \ \text{no} \ 0 \\ \\ \forall \ c = a \end{array} \right. \quad (21)$$

$$TasaEmbT^a F_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \mathbf{Si} \ NInvMebP^c T^a V_j^b > 0 \\ \\ \mathbf{Entonces} \\ DemEmbP^c T^a V_{j-Dem_a}^b \\ \\ \mathbf{Si} \ \text{no} \ 0 \\ \\ \forall \ c = a \end{array} \right. \quad (22)$$

$$TasaIngP^c T^a F_{jk}^b = ENT \quad \left| \quad \begin{array}{l} \mathbf{Si} \ NInvRetP^c V_j^b > 0 \\ \\ \mathbf{Entonces} \\ \text{Min} \left( NInvRetP^c V_j^b, \right. \\ \quad \text{Max} \left( DemRetIngP^c T^a F_{j-Dem_a}^b * kRetP^c T^a V^b \right. \\ \quad \left. - \sum_{a'=1}^3 DemRetIngP^c T^{a'} F_{j-Dem_a}^b \right. \\ \quad \left. \left. * kRetP^c T^{a'} V^b, 0 \right) \right) \\ \\ \mathbf{Si} \ \text{no} \ 0 \\ \\ a' \in A / a' \cup a = A \end{array} \right. \quad (23)$$

$$\begin{array}{l|l}
TasaIngPosP^cV_{jk}^b = & ENT \quad Si \ NInvPatP^cV_j^b > 0 \\
& \textit{Entonces} \\
& Min \left( NInvPatP^cV_j^b, Max \left( DemTrsP^cV_{j-Dem_c}^b * kPosP^cV^b \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - \sum_{c'=1}^6 DemTrsP^{c'}V_{j-Dem_c}^b * kPosP^{c'}V^b, 0 \right) \right) \\
& \textit{Si no } 0 \\
& c' \in C / c' \cup c = C
\end{array} \tag{24}$$

$$\begin{array}{l|l}
TasaCargueT^aF_{jk}^1 = & ENT \quad Si \ NInvIngT^aF_j^1 > 0 \\
& \textit{y} \\
& NInvIngT^aF_j^1 + DemCargueT^aF_{j-Dem_a}^1 < CapBuqueT^a - \\
& NBuqueT_k^a \\
& \textit{Entonces} \\
& Min (CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a, \quad NInvIngT^aF_j^1) \\
& \textit{Si no } 0 \\
& \forall t = n_a, (n+7)_a, (n+14)_a, (n+21)_a, \dots
\end{array} \tag{25}$$

$$\begin{array}{l|l}
TasaCargueT^aF_{jk}^2 = & ENT \quad Si \ NInvIngT^aF_j^2 > 0 \\
& \textit{y} \ 2 * (NInvIngT^aF_j^2 + DemCargueT^aF_{j-Dem_a}^2) < \\
& CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a \\
& \textit{Entonces} \\
& Min \left( (CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a - TasaCargueT^aF_{jk}^1) / 2, \right. \\
& \quad \left. NInvIngT^aF_j^2 \right) \\
& \textit{Si no } 0 \\
& \forall t = n_a, (n+7)_a, (n+14)_a, (n+21)_a, \dots
\end{array} \tag{26}$$

$$\begin{array}{l}
TasaCargueT^a V_{jk}^1 = \quad ENT \quad \mathbf{Si} \ NInvIngT^a V_j^1 > 0 \quad (27) \\
\mathbf{y} \ NInvIngT^a V_j^1 + DemCargueT^a V_{j-Dem_a}^1 < CapBuqueT^a - \\
\quad NBuqueT_k^a \\
\mathbf{Entonces} \\
\quad Min \left( (CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a - NInvIngT^a F_j^1 - 2 \right. \\
\quad \quad \left. * (NInvIngT^a F_j^2) \right. \\
\quad \quad \left. + TasaCargueT^a V_{jk}^2), NInvIngT^a V_j^1 \right) \\
\mathbf{Si no} \ 0 \\
\forall t = n - 1_a, (n + 6)_a, (n + 13)_a, (n + 20)_a, \dots
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
TasaCargueT^a V_{jk}^2 = \quad ENT \quad \mathbf{Si} \ NInvIngT^a V_j^2 > 0 \quad (28) \\
\mathbf{y} \ 2 * (NInvIngT^a V_j^2 + DemCargueT^a V_{j-Dem_a}^2) < \\
\quad CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a \\
\mathbf{Entonces} \\
\quad Min \left( \left( (CapBuqueT^a - NBuqueT_k^a - NInvIngT^a F_j^1) / 2 \right. \right. \\
\quad \quad \left. \left. - NInvIngT^a F_j^2 \right), \quad NInvIngT^a V_j^2 \right) \\
\mathbf{Si no} \ 0 \\
\forall t = n - 1_a, (n + 6)_a, (n + 13)_a, (n + 20)_a, \dots
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
ZarpeBuqueT^a = \quad ENT \quad \mathbf{Si} \ t = n_a, (n + 7)_a, (n + 14)_a, (n + 21)_a, \dots \quad (29) \\
\mathbf{Entonces} \\
\quad Min (CapBuqueT^a, NBuqueT_k^a) \\
\mathbf{Si no} \ 0
\end{array}$$

## VARIABLES AUXILIARES

*Demandas (Ver Anexo 2):*

$$DiT^aF^b = f(t) \quad (30)$$

$$DiT^aV^b = f(t) \quad (31)$$

$$DeP^cV^b = f(t) \quad (32)$$

$$DpP^cV^b = f(t) \quad (33)$$

$$DvT^aV^b = f(t) \quad (34)$$

*Coefficientes para los flujos (Ver Anexo 3):*

$$kDsbT^aF^b = p(x) \quad (35)$$

$$kSalT^aF^b = p(x) \quad (36)$$

$$kDevT^aP^cF^b = p(x) \quad (37)$$

$$kEmbP^cT^aV^b = p(x) \quad (38)$$

$$kRetP^cT^aV^b = p(x) \quad (39)$$

$$kPosP^cV^b = p(x) \quad (40)$$

*Demoras:*

$$DemDscT^a_{j-Dem_a} = 1 \text{ día} \quad (41)$$

$$DemDscDsbT^aF^b_{j-Dem_a} = \text{Ver Anexo 4} \quad (42)$$

$$DemDscSalT^aF^b_{j-Dem_a} = \text{Ver Anexo 4} \quad (43)$$

$$DemDDT^aP^cV^b_{j-Dem_a} = 0 \text{ días} \quad (44)$$

$$DemSalDevT^aP^cV^b_{j-Dem_a} = \text{Ver Anexo 4} \quad (45)$$

$$DemEmbP^cT^aV^b_{j-Dem_a} = 1 \text{ día} \quad (46)$$

$$DemRetIngP^cT^aF^b_{j-Dem_c} = \text{Ver Anexo 4} \quad (47)$$

$$DemTrsP^c V_{j-Dem_c}^b = 0 \text{ días ; } \forall c = a \quad (48)$$

$$2 \text{ días ; } \forall c \neq a$$

$$DemCargueT^a F_{j-Dem_a}^b = 1 \text{ día} \quad (49)$$

$$DemCargueT^a V_{j-Dem_a}^b = 1 \text{ día} \quad (50)$$

### 3.6. Restricciones y consideraciones adicionales.

1. Actualmente, para los puertos de Barranquilla y Santa Marta se cuenta con un solo servicio para la exportación e importación de contenedores, mientras que los puertos de Buenaventura y Cartagena cuentan con dos servicios semanales cada uno. Para efectos del caso de estudios con fines de simplificación, se asume que en cada puerto solamente recalca un servicio con el fin de simplificar los flujos de entrada y salida del sistema, ya que los buques de los servicios adicionales que recalcan en estos puertos presentan recaladas muy cercanas e incluso pueden llegar a ser simultáneas.
2. En cuanto a la capacidad de transporte, las embarcaciones presentan restricciones tanto de peso como de cantidad de contenedores. El peso es una restricción de diseño en cuanto a la estabilidad de la embarcación pero la cantidad de contenedores está asociada principalmente a la configuración del barco en cuanto al tamaño y tipo de contenedores que se embarcan. Solo se considerara la restricción en cuanto a la capacidad del buque expresada en TEUs.
3. Se asume que la capacidad del buque puede atender las demandas de carga de importación. Los pronósticos de ventas locales alineados dentro del sistema global de ventas, permiten establecer el tipo de embarcaciones con las cuales se debe atender los puertos de Colombia de acuerdo con las demandas de carga. De esta forma se busca garantizar un adecuado cumplimiento de las metas comerciales de la empresa y a la vez facilitar el flujo de contenedores para optimizar el uso de los equipos y embarcaciones.

4. Dado que entre los puertos de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta se presenta posicionamiento de contenedores tanto por vía terrestre como marítima y sus tarifas no son muy diferentes, para efectos del modelo se considera la variable transporte asociada a una tarifa de acuerdo al tamaño del contenedor.
5. Es importante, aclarar que las Líneas Navieras operan en los Terminales con ventanas de tiempo durante las cuales solo pueden efectuar una cantidad limitada de movimientos por hora asociados a la productividad de las grúas con las que se está efectuando el cargue y descargue de los contenedores. Para efectos de construcción del modelo se asume que la ventana de tiempo está diseñada para atender la cantidad de movimientos que requiere efectuar la Línea Naviera independientemente de los incrementos estimados de las demandas de importación y exportación.
6. El modelo no contempla los pedidos en *Backorder* o espera. Dadas las condiciones del mercado y ante una fuerte presencia de competidores los requerimientos de contenedores para exportación que no se atienden en el momento que se requieren no pueden ser puestos en espera, ya que un cliente buscará alternativas para embarcar su producto en lugar de esperar a que un contenedor se encuentre disponible en un Patio.
7. El modelo no contempla tiempos de indisponibilidad de contenedores asociados a reparaciones que se efectúan en contenedores averiados o adecuaciones que se requieren para embarcar cierto tipo de productos, las cuales en algunos casos las realiza la Línea Naviera.
8. La capacidad de los *Free Pools* en los patios es independiente del tiempo. Esta condición puede ser modificada si se requiere.
9. Todas las tarifas y costos son independientes del tiempo. Esta consideración también puede ser modificada si se requiere.

10. No se acepta sustitución de contenedores para ningún tamaño de contenedor en ninguna locación.
11. El modelo no contempla los costos fijos tanto de operación como administrativos. Se limita exclusivamente a los costos variables de Almacenamiento, Manipulación, Arrendamiento y Transporte.

#### 4. VALIDACIÓN DEL MODELO

Durante la validación del modelo se trabajaron tiempos fijos para las demoras presentes en el sistema, asociadas a los promedios históricos del comportamiento de los flujos de contenedores tanto de importación como de exportación. Igualmente se trabajaron valores promedio para las tarifas de transporte, almacenamiento y manipulación de contenedores tanto en Patios como en Terminales. Es preciso resaltar que para efectos de validación del modelo, las demandas, del año 2 no fueron modificadas frente a los valores del Año1.

Por cuestión de presupuesto, el modelo se construyó empleando VENSIM® PLE (Software de Simulación Dinámica en la versión Personal Learning Edition), lo cual implica que no se trabajaron las condiciones de aleatoriedad propias de las demoras en el flujo de contenedores.

Para determinar la validez del modelo que se construye, es preciso realizar un número determinado de corridas con el fin de evaluar el comportamiento de las variables de respuesta del modelo. Al emplear la función de aleatoriedad de Vensim® se realizaron 10 corridas con el fin de determinar el promedio y la desviación estándar de la muestra para las variables de respuesta durante el Año 1 y el Año 2.

Por tratarse de una muestra aleatoria, el promedio de la muestra se comporta de acuerdo con la distribución normal. Por lo tanto el error (E) de la muestra se puede determinar a partir del número de corridas (n) para una desviación estándar (S) conocida de acuerdo con la ecuación (51). (López, Cálculo de Probabilidades e Inferencia Estadística, 2009).

$$E = Z_{\alpha/2} * \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (51)$$

De esta forma se evaluaron los errores de la muestra para cada uno de los valores de respuesta considerando una confiabilidad del 95%. Para este cálculo se empleó Microsoft Excel® tomando los valores de la Tabla 5.

Ítem	Valor
Tamaño de la muestra (n)	10
Confiabilidad (1- $\alpha$ )	0.95
$\alpha/2$	0.025
$Z_{\alpha/2}$	1.9600

**Tabla 5.** Parámetros para determinar el error de la muestra.

El valor promedio, desviación estándar y Error de la muestra para cada una de las variables de respuesta se pueden apreciar en la Tabla 6.

Ítem	Promedio	Desviación Estándar	Error
Costo ALMACENAMIENTO Año 1 (USD)	204437.38	70631.87	43777.28
Costo ALMACENAMIENTO Año 2 (USD)	721388.75	187159.72	116000.67
Costo LEASE Año 1 (USD)	3432993.10	72330.31	44829.97
Costo LEASE Año 2 (USD)	5406023.00	195495.93	121167.4
Costo MANIPULACION Año 1 (USD)	1387521.05	4667.08	2892.63
Costo MANIPULACION Año 2 (USD)	1465968.00	3066.69	1900.72
Costo TRANSPORTE Año 1 (USD)	698562.80	15829.55	9811.07
Costo TRANSPORTE Año 2 (USD)	752980.50	35440.67	21965.95
Ingreso por <i>Drop Off</i> Año 1 (USD)	639888.00	14476.85	8972.68
Ingreso por <i>Drop Off</i> Año 2 (USD)	681768.00	24834.84	15392.51
Nivel de Servicio Exportaciones Año 1	96.53%	0.29%	0.18%
Nivel de Servicio Exportaciones Año 2	98.30%	0.61%	0.38%

**Tabla 6.** Desempeño de las variables de respuesta para la muestra empleada en la validación.

#### 4.1. Tolerancia del Error

Para una adecuada validación del modelo, es preciso definir un margen de error tolerable que permita efectuar un análisis representativo considerando no solo

costos sino tiempos razonables de experimentación. Se definieron valores tolerables de error para cada una de las variables de respuesta, considerando el desempeño histórico de los costos y los presupuestos para aquellos que se gestionan en Colombia.

Para el caso de estudio, se definieron valores tolerables para cada una de las variables de respuesta, considerando el desempeño histórico de los costos, los valores promedio de los tiempos de devolución de contenedores en la importación y los días libres para el embarque de contenedores en la exportación. Igualmente se trabajaron valores promedio para las tarifas de transporte, almacenamiento y manipulación de contenedores tanto en Patios como en Terminales.

Para el costo Total de Almacenamiento se considera un error de 50000 USD para el primer año y de 100000 USD para el segundo, debido al alto nivel de variabilidad que presentan las tasas de devolución de contenedores por cada Patio.

Frente al costo Total de Leasing de contenedores se considera un error de 50000 USD y 100000 USD para el año 1 y año 2 respectivamente. Dado que este costo es el que tiene un peso más alto en el manejo de los contenedores vacíos y que el tiempo de permanencia de los contenedores en el país, para el año 2, se verá afectado por el no incremento de las demandas de evacuación. Los valores de error tolerados implican un margen inferior al 2 %.

Con relación al costo Total de Manipulación, se considera un error de 5000 USD y 10000 USD para el año 1 y año 2, que representan un margen inferior al 1%. Además, bajo las condiciones de demanda para el año 2, se asume que el costo no se incrementara de manera drástica entre el primer y segundo año.

Dadas las condiciones expuestas frente a las demandas del Año 1 y Año 2, se considera que se presentará un leve incremento del flujo de contenedores vacíos en custodia de la Naviera, lo cual implica que un error de 10000 USD para el año 1 y de 20000 USD para el año 2 frente al Costo Total de Transporte reflejan la tendencia esperada. Adicionalmente, estos valores implican un impacto leve en el

presupuesto, el cual normalmente no se utiliza debido a la falta de transportadores interesado en movilizar contenedores vacíos con tarifas razonables.

Aunque los ingresos por *Drop Off* no son propiamente ingresos cuando el desbalance de las importaciones frente a las exportaciones es tan marcado, un error de 10000 USD para el año 1 y de 15000 USD para el año 2, implican un margen de error razonable dadas las condiciones de aleatoriedad de las devoluciones de contenedores en Patios propias del modelo.

El Nivel de servicio para las demandas de exportación es una variable que está afectada por las devoluciones de contenedores en los diferentes Patios. Un error de 0.5% para los dos años representa un valor razonable dados los altos volúmenes de importación comparados con los de exportación. Actualmente la Línea Naviera no cuenta con este indicador, sin embargo para efectos del modelo permite visualizar el impacto de políticas frente a la disponibilidad de contenedores vacíos para atender las exportaciones de carga.

A partir de los valores de Error tolerables que se definen, se puede calcular el número de corridas necesarias para tener un promedio representativo de los valores se calcula el Error de la muestra de acuerdo con la siguiente ecuación (52):

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} * S}{E} \right)^2 \quad (52)$$

Dadas los valores tolerables de error se determinó que el número de corridas mínimo que se debe emplear es 15. (Ver Tabla 7).

Ítem	Error tolerado	Corridas (n)
Costo ALMACENAMIENTO Año 1 (USD)	50000	8
Costo ALMACENAMIENTO Año 2 (USD)	100000	14
Costo LEASE Año 1 (USD)	50000	9
Costo LEASE Año 2 (USD)	100000	15
Costo MANIPULACION Año 1 (USD)	5000	4
Costo MANIPULACION Año 2 (USD)	10000	1
Costo TRANSPORTE Año 1 (USD)	10000	10
Costo TRANSPORTE Año 2 (USD)	20000	13
Ingreso por <i>Drop Off</i> Año 1 (USD)	10000	9
Ingreso por <i>Drop Off</i> Año 2 (USD)	15000	11
Nivel de Servicio Exportaciones Año 1	0.50%	2
Nivel de Servicio Exportaciones Año 2	0.50%	6

**Tabla 7.** Tamaño de muestra necesaria de acuerdo al error aceptable para cada una de las variables de respuesta con una confiabilidad del 95%.

#### **4.2. Niveles de inventario de contenedores vacíos en los Patios.**

Al validar el modelo es preciso trabajar un periodo de tiempo razonable que permita apreciar si el modelo, dadas sus condiciones de aleatoriedad, refleja de manera razonable la realidad histórica del sistema. Como las variables de respuesta están sujetas a condiciones de negociación, no siempre estables y que pueden variar en el transcurso del tiempo, es preciso validar el modelo con información con un parámetro más objetivo como es el caso de los niveles de inventario de contenedores vacíos en los Patios.

El modelo cuenta con información para el periodo comprendido entre la semana 40 del año 2009 (Octubre 1 de 2009 = día 1) y la semana 40 del año 2010 (Septiembre 30 de 2010 = día 365). Los registros con que se efectúa la validación corresponden al periodo comprendido entre la semana 22 y 40 del año 2010, pues solo desde esa semana se comenzó a tener registros 3 veces por semana (Lunes, Miércoles y Viernes) de los niveles de inventario de contenedores vacíos en cada uno de los Patios.

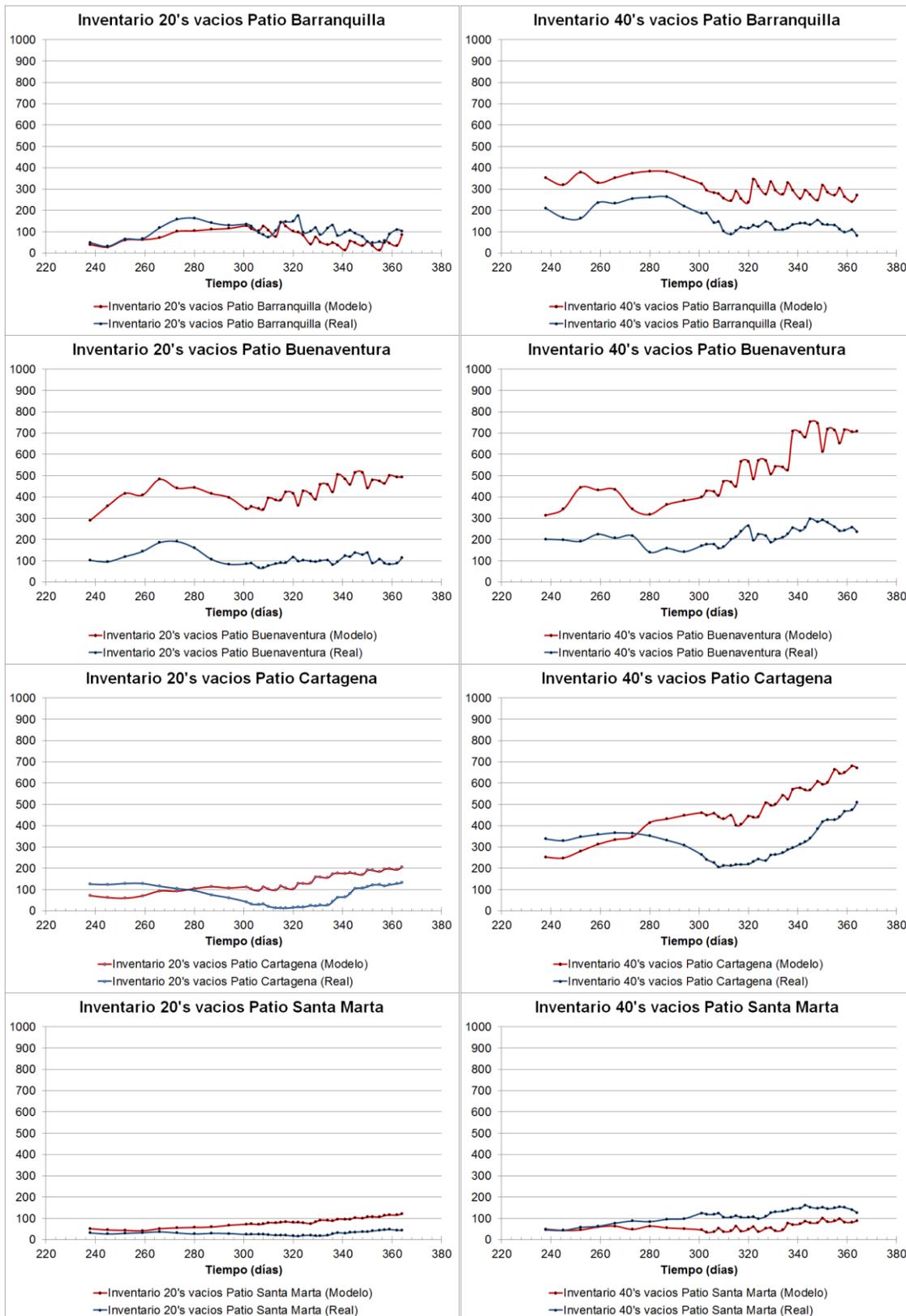
#### **4.2.1. Niveles de inventario para contenedores vacíos en los Patios ubicados en las ciudades donde hay Terminal**

Dadas las condiciones de aleatoriedad del modelo frente a los flujos de contenedores, basadas en los datos históricos de 12 meses y los valores que se fijaron para todas las demoras del sistema, se puede apreciar una marcada similitud entre el modelo y los datos históricos frente a las tendencias de los Niveles de inventario tanto para contenedores de 20 como de 40 pies. (Ver Ilustración 22).

Los Patios de Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, presentan no solo una gran similitud en la tendencia sino también en los Niveles de inventario para los contenedores de 20 pies. Para el caso del Patio de Buenaventura, a pesar de tener similitud en la tendencia, los Niveles de contenedores de 20 pies pueden presentar diferencias debido a la falta de regularidad de los dos servicios que recalcan en este Puerto. Esto obedece principalmente a las políticas de asignación de muelle del Terminal que la Línea Naviera empleaba en ese periodo de tiempo.

Los niveles de inventario para los contenedores de 40 pies, presentan una clara tendencia a los largo del tiempo al comparar el modelo con los datos histórico, sin embargo los Niveles de Inventario están más influenciados por las demoras y en menor medida por la aleatoriedad de los flujos. Al estar las demoras fijadas, el modelo no lograr ajustar los flujos de manera que los inventarios no se vean impactados. Esto se aprecia en los Patios de Barranquilla y Cartagena que manejan los volúmenes más altos de importación en la costa Norte.

Para el caso de Buenaventura, el modelo presenta niveles altos de inventarios de contenedores vacíos de 40 pies, asociados a la irregularidad del servicio. Normalmente se evacuan más contenedores de 40 pies que de 20 por este Puerto. Para el Patio de Santa Marta el modelo presenta más afinidad con los registros históricos tanto en la tendencia como en los Niveles de Inventarios para las unidades de 40 pies.

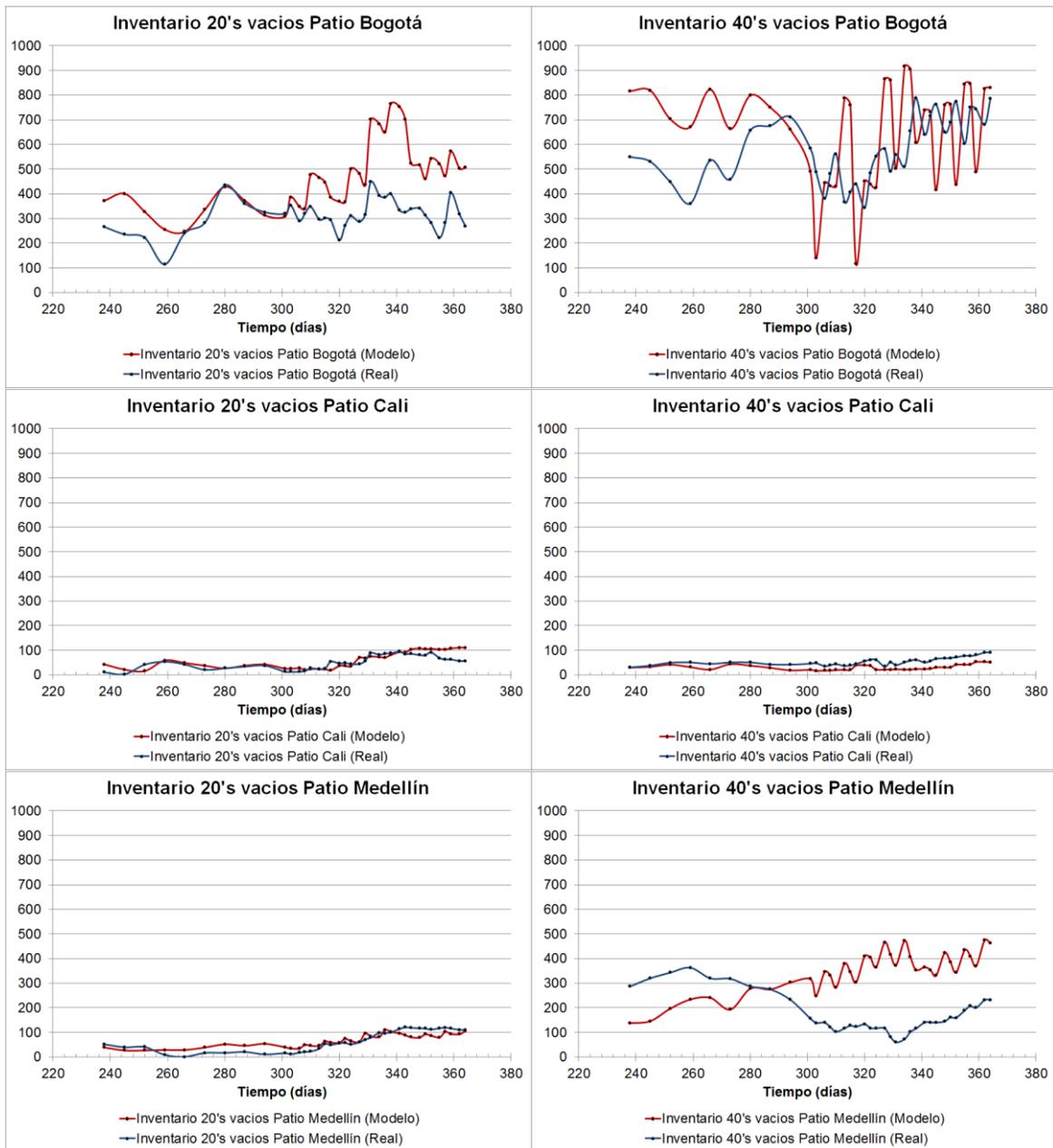


**Ilustración 22.** Comparación niveles de Inventarios de contenedores en los Patios ubicados cerca de los Terminales (Modelo vs Real).

#### **4.2.2. Niveles de inventario para contenedores vacíos en los Patios ubicados en el interior del País**

Los niveles de inventario de contenedores vacíos en Cali, Medellín y Bogotá presentaron una buena relación entre el modelo y los datos históricos, especialmente para los contenedores de 20 pies tanto para la tendencia como para las cantidades de contenedores (Ver Ilustración 23). En el caso de los contenedores de 40 pies, los niveles de inventario presentan clara tendencia para el patio de Cali, moderada tendencia para el Patio de Bogotá y no una muy clara tendencia para el patio de Medellín al comparar los datos arrojados por el modelo y las cifras históricas.

Aunque las demoras y la aleatoriedad juegan un papel clave en el modelo, es preciso resaltar que a lo largo del año se presentan diferentes políticas de tipo reactivo frente restringir o habilitar la devolución de contenedores en los patios. Estas políticas no presentan ninguna tendencia pero pueden influir en los datos históricos de los niveles de inventario de manera positiva para efectos de rotación de contenedores o de manera negativa deteriorando la calidad del servicio.



**Ilustración 23.** Comparación niveles de Inventarios de contenedores en los Patios ubicados en el interior (Modelo vs Real)

## **5. ANÁLISIS DE POLÍTICAS**

La problemática frente al manejo de contenedores vacíos requiere una adecuada planeación por parte de las Líneas Navieras, con el fin de alinear las proyecciones de ventas y los presupuestos de operación para garantizar una operación rentable y sostenible.

Con el propósito de evaluar el desempeño en gestión de costos y nivel de servicio, se definieron cuatro escenarios y cuatro políticas, con el propósito de analizar el impacto de cada una de las políticas en cada uno de los escenarios.

### **5.1. Escenarios**

Para un adecuado análisis del impacto de Políticas frente al modelo, se definió un conjunto de cuatro escenarios con el apoyo del Gerente Comercial de la Línea Naviera objeto de estudio. El propósito de estos escenarios es representar el flujo de carga en contenedores de manera tal que se refleje el crecimiento económico esperado en la economía Colombiana de acuerdo con las proyecciones definidas en el año 2010. Aunque las cifras de crecimiento son determinadas de acuerdo al comportamiento general de la economía, para efectos del negocio de transporte, el crecimiento se determina de acuerdo con el incremento en la cantidad de contenedores que se movilizan con carga.

Los 4 escenarios comprenden un conjunto de características similares pero que varían de acuerdo con los puertos y las respectivas proyecciones de crecimiento tanto de exportaciones como de importaciones. Simultáneamente se representan las intenciones de posicionamiento y evacuación de contenedores vacíos tanto en a nivel local como regional.

### **Escenario 1:**

Para este escenario se espera un crecimiento conservador del 4% en cuanto al flujo de contenedores del Año 1 comparado con el Año 2. Lo cual se traduce en las siguientes condiciones:

- 4 % de incremento en la demanda de Importación para todos los puertos para el segundo año.
- 4% de incremento en la demanda de exportación para todos los patios para el segundo año.
- 4% de incremento en la evacuación de vacíos hacia el exterior para todos los puertos para el segundo año.
- 4% de incremento en posicionamiento hacia los Patios ubicados cerca del terminal para el segundo año.

No hay posicionamiento de vacíos hacia Medellín y Cali para el segundo año, debido a que la oferta de transporte para contenedores vacíos es prácticamente inexistente, ocasionado por a la creciente demanda de movilización de carga en trayectos más atractivos para las empresas de transporte.

### **Escenario 2:**

Para este escenario se espera un crecimiento optimista del 10% en cuanto al flujo de contenedores del Año 1 comparado con el Año 2. Las razones que implican esta tasa de crecimiento son las buenas condiciones que se esperan en cuanto a las importaciones desde Lejano Oriente y a las exportaciones hacia países de Latinoamérica. Esto se traduce en las siguientes condiciones:

- 10 % de incremento en la demanda de Importación para todos los puertos para el segundo año.
- 10% de incremento en la demanda de exportación para todos los patios para el segundo año.

- 10% de incremento en la evacuación de vacíos hacia el exterior para todos los puertos para el segundo año.
- 10% de incremento en posicionamiento hacia los Patios ubicados cerca del terminal para el segundo año.

No hay posicionamiento de vacíos hacia Medellín y Cali para el segundo año, debido a que la oferta de transporte para contenedores vacíos es prácticamente inexistente, ocasionado por a la creciente demanda de movilización de carga en trayectos más atractivos para las empresas de transporte.

### **Escenario 3:**

Dada la creciente demanda de carga desde Lejano Oriente, se espera un crecimiento en las importaciones del 20% en cuanto al flujo de contenedores del Año 1 comparado con el Año 2. Sin embargo este crecimiento no es generalizado en todos los puertos. Adicionalmente no crece la demanda de carga de exportación a nivel de país. Esto se traduce en las siguientes condiciones:

- 20% de incremento en la demanda anual de importación a nivel nacional (65% en Buenaventura, 20% en Barranquilla, 10% en Cartagena y 5% en Santa Marta) para el segundo año.
- 0% de incremento en las demandas de exportación para el segundo año.
- 30% incremento para evacuación de contenedores de 20 pies para todos los puertos durante el segundo año.
- 50% incremento para evacuación 40 pies para todos los puertos durante el segundo año.
- 30% de incremento para posicionamiento de contenedores de 20 pies hacia los Patios en Terminales para el segundo año.
- 50% de incremento para posicionamiento de contenedores de 40 pies hacia los Patios en Terminales para el segundo año.

No hay posicionamiento de vacíos hacia Medellín y Cali para el segundo año, debido a que la oferta de transporte para contenedores vacíos es prácticamente inexistente, ocasionado por a la creciente demanda de movilización de carga en trayectos más atractivos para las empresas de transporte.

#### **Escenario 4:**

Similar al escenario 3, con un crecimiento esperado en las importaciones del 20% en cuanto al flujo de contenedores del Año 1 comparado con el Año 2. El crecimiento de la demanda de importación no es generalizado en todos los puertos. Adicionalmente la única ciudad que presentará crecimiento en la demanda de carga de exportación es la que retira contenedores en Barranquilla. Se están realizando importantes esfuerzos para capturar más mercado de exportación en esta ciudad. Esto se traduce en las siguientes condiciones:

- 20% de incremento en la demanda anual de importación a nivel nacional (65% en Buenaventura, 20% en Barranquilla, 10% en Cartagena y 5% en Santa Marta) para el segundo año.
- 10% de incremento en las demandas de exportación de carga retirando contenedores en Barranquilla para el segundo año.
- 30% de incremento para evacuación de contenedores de 20 pies para todos los puertos durante el segundo año.
- 50% de incremento para evacuación 40 pies para todos los puertos durante el segundo año.
- 30% de incremento para posicionamiento de contenedores de 20 pies hacia los Patios en Terminales para el segundo año.
- 50% de incremento para posicionamiento de contenedores de 40 pies hacia los Patios en Terminales para el segundo año.

No hay posicionamiento de vacíos hacia Medellín y Cali para el segundo año, debido a que la oferta de transporte para contenedores vacíos es prácticamente

inexistente, ocasionado por a la creciente demanda de movilización de carga en trayectos más atractivos para las empresas de transporte.

## **5.2. Políticas**

Para la definición de las Políticas que se evaluarán en cada uno de los escenarios se realizaron una serie de consideraciones con el fin de simplificar la problemática a los días libres que se le otorgan al cliente.

Normalmente los Terminales ofrecen 3 días libres de bodegajes y aunque los días libres de demoras cuentan desde el descargue del contenedor, para las importaciones, hasta que este es retornado vacío o desde que se retira vacío, hasta que se embarca para las exportaciones, se asume que los clientes toman los 3 días libres que ofrecen los terminales dentro de sus procesos de comercio internacional. Es preciso resaltar que los días libres que se ofrecen a nivel de mercado para un cliente regular son 10.

Se asume que los clientes no utilizarán más o menos días para cumplir sus operaciones logísticas tanto en las exportaciones como en las importaciones. Por lo tanto, las Políticas que se evaluaron están asociadas principalmente a las demoras entre la salida y devolución de contenedores en las importaciones y a las demoras entre el retiro e ingreso de contenedores para las exportaciones.

Adicionalmente, considerando el desbalance entre las importaciones y exportaciones se evaluó el impacto de no importar contenedores vacíos en cada una de las políticas para el segundo año.

Para el caso del transporte de contenedores vacíos, se estima que el tiempo de transporte será de 2 días independientemente de la pareja de locaciones entre las que se moviliza el contenedor. (Ver Tabla 8).

Dadas las condiciones expuestas, las políticas que se trabajaran son 4. La política más suave, desde una perspectiva comercial, consiste en otorgar más días libres

a los clientes y la política más fuerte es aquella que fomenta una mayor rotación de los contenedores por lo cual se otorgan menos días a los clientes. Hay dos políticas intermedias (Políticas 2 y 3) que buscan evaluar el impacto de valores entre la política más suave (Política 1) y la más fuerte (Política 2).

Demora	Duración (días)
$DemDscT_{j-Dem_a}^a$	1
$DemDscDsbT_{j-Dem_a}^a F_{j-Dem_a}^b$	3
$DemDscSalT_{j-Dem_a}^a F_{j-Dem_a}^b$	3
$DemDDT_{j-Dem_a}^a P^c V_{j-Dem_a}^b$	0
$DemSalDevT_{j-Dem_a}^a P^c V_{j-Dem_a}^b$	Variable
$DemEmbP_{j-Dem_a}^c T_{j-Dem_a}^a V_{j-Dem_a}^b$	1
$DemRetIngP_{j-Dem_c}^c T_{j-Dem_c}^a F_{j-Dem_c}^b$	Variable
$DemTrsP_{j-Dem_c}^c V_{j-Dem_c}^b$	2
$DemCargueT_{j-Dem_a}^a F_{j-Dem_a}^b$	1
$DemCargueT_{j-Dem_a}^a V_{j-Dem_a}^b$	1

**Tabla 8.** Consideraciones frente a las demoras para efectos de simulación.

**Política 1:**

7 días libres de demoras en las importaciones desde la salida del contenedor lleno desde el Terminal hasta su devolución vacío en un Patio

7 días libres de demoras en las exportaciones desde el retiro del contenedor vacío en el Patio hasta su ingreso lleno en el Terminal.

**Política 2:**

6 días libres de demoras en las importaciones desde la salida del contenedor lleno desde el Terminal hasta su devolución vacío en un Patio

6 días libres de demoras en las exportaciones desde el retiro del contenedor vacío en el Patio hasta su ingreso lleno en el Terminal.

**Política 3:**

5 días libres de demoras en las importaciones desde la salida del contenedor lleno desde el Terminal hasta su devolución vacío en un Patio

5 días libres de demoras en las exportaciones desde el retiro del contenedor vacío en el Patio hasta su ingreso lleno en el Terminal.

**Política 4:**

4 días libres de demoras en las importaciones desde la salida del contenedor lleno desde el Terminal hasta su devolución vacío en un Patio

4 días libres de demoras en las exportaciones desde el retiro del contenedor vacío en el Patio hasta su ingreso lleno en el Terminal.

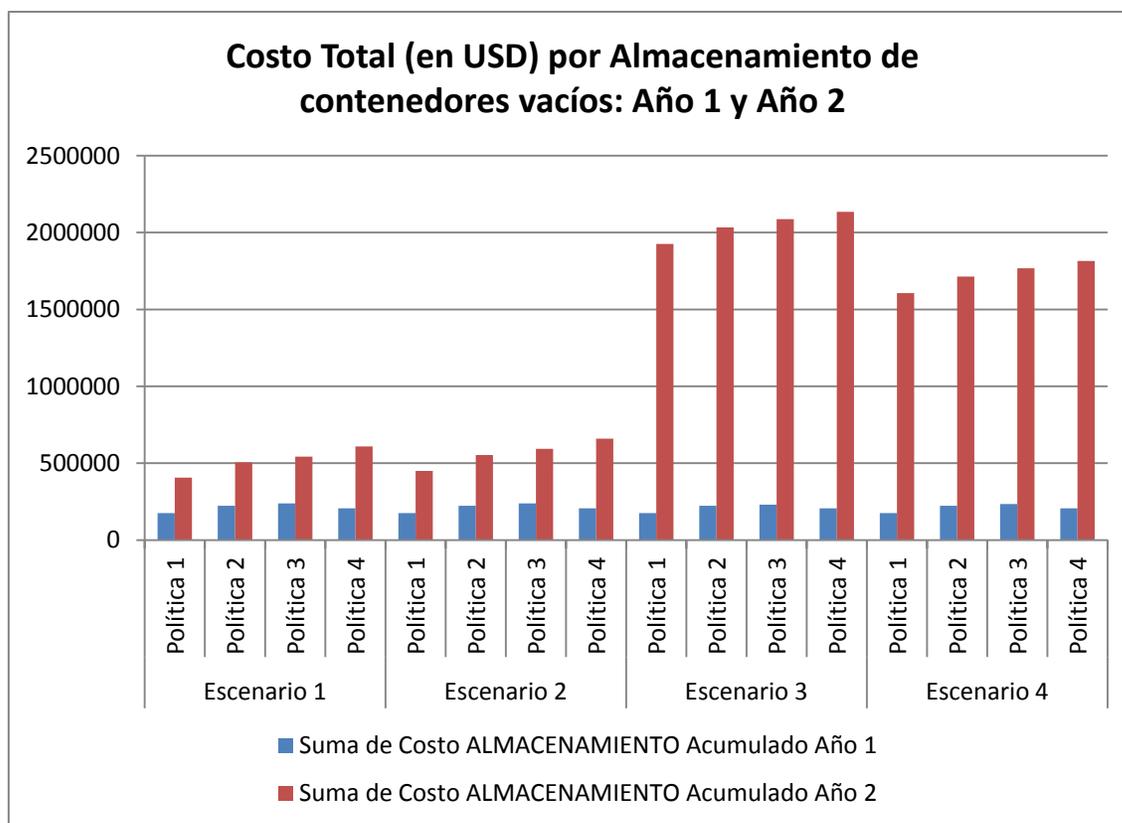
**5.3. Resultados**

**5.3.1. Costo Total por Almacenamiento de contenedores vacíos:**

Las políticas presentan tendencias similares para todos los escenarios en cuanto al incremento del costo Total de almacenamiento de contenedores vacíos del Año 2 frente al Año 1 (ver Ilustración 24). En la medida que se reduce el tiempo libre de demoras se evidencia como el costo por Almacenamiento se incrementa pues la Línea Naviera asume el costo de almacenar contenedores por encima del *Free Pool*.

Aunque en la medida que se reducen los días libres de demoras tanto en las importaciones como en las exportaciones, se incrementa el costo de Almacenamiento, el incremento porcentual para el costo total de almacenamiento para el año 2 es mayor para las Políticas 1 y 4. (Ver Tabla 9). Esto indica que las Políticas 2 y 3 ofrecen una mejor sincronización entre las devoluciones de

contenedores vacíos y las demandas tanto de exportación como de evacuación de contenedores.



**Ilustración 24.** Costo Total (en USD) por Almacenamiento de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2.

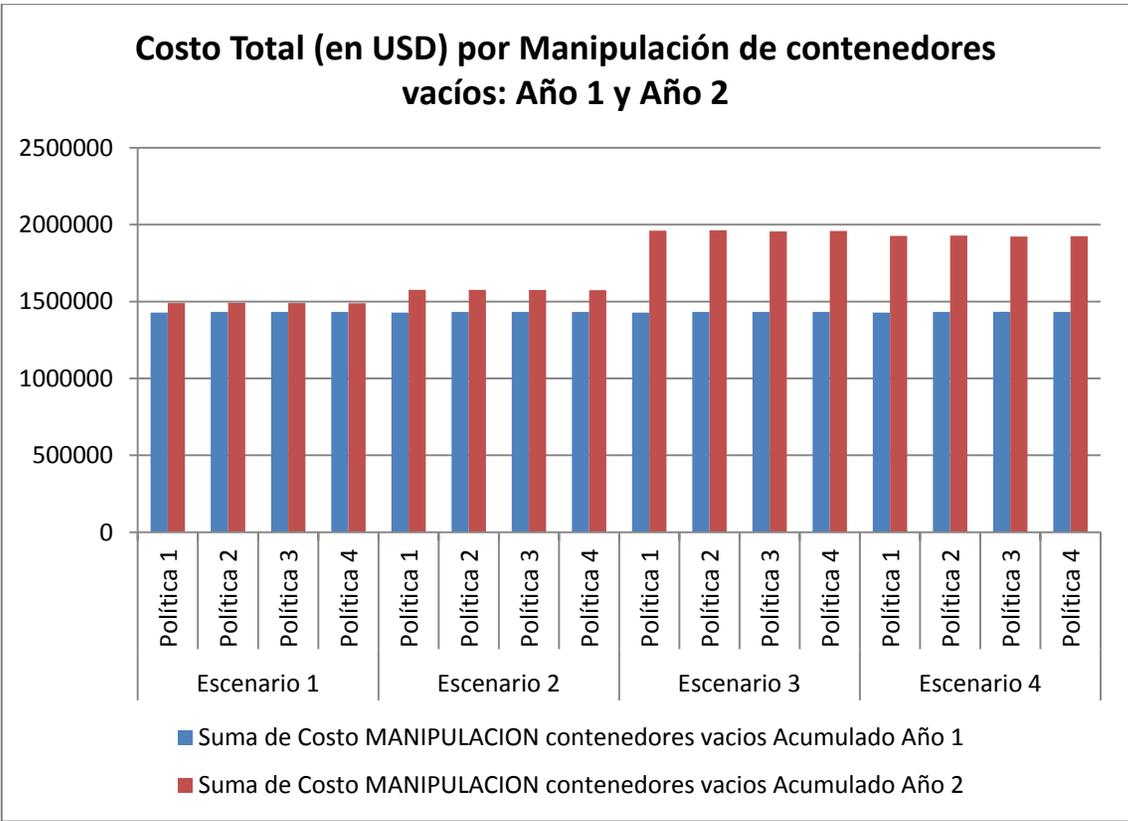
El Escenario 4, permite evidenciar que el incremento en las exportaciones de carga para contenedores retirados del patio de Barranquilla reduce considerablemente el costo por Almacenamiento de contenedores vacíos. Esta reducción es aparentemente independiente de la Política que se use.

Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	231.99%	256.72%	1099.38%	916.67%
2	226.20%	247.19%	908.86%	765.79%
3	226.91%	248.26%	905.40%	754.27%
4	294.20%	318.88%	1031.24%	876.43%

**Tabla 9.** Incremento porcentual del costo total de Almacenamiento de contenedores vacíos para el segundo Año.

**5.3.2. Costo Total por Manipulación de contenedores vacíos:**

El costo por Manipulación está más influenciado por los costos de manipulación de contenedores que van a ser evacuados, que por lo que van a ser posicionados. Y al no contar con posicionamiento en los patios de Cali y Medellín para el segundo año, las políticas no representan un impacto significativo frente al costo por Manipulación de contenedores vacío para los diferentes escenarios. (Ver Ilustración 25)



**Ilustración 25.** Costo Total (en USD) por Manipulación de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2.

Al verificar los incrementos porcentuales del costo total por manipulación para el segundo año, se evidencia que las políticas prácticamente no afectan este costo. La política de otorgar 5 días libres presenta el menor incremento para el segundo año en los escenarios de mayor volumen de importación (Escenarios 2 y 3) y la Política de otorgar 7 días libres es la que representa el incremento más alto en los mismos escenarios (ver Tabla 10). Esto indica que a mayor carga arribando por

Buenaventura, mayor será el incremento en los costos de manipulación de contenedores y en la medida que se incrementan los días libres a 6 ó 7 se puede incrementar aún más el costos de manipulación de contenedores.

<b>Política</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>	<b>Escenario 3</b>	<b>Escenario 4</b>
<b>1</b>	104.38%	110.35%	137.30%	134.91%
<b>2</b>	104.11%	110.04%	137.03%	134.65%
<b>3</b>	104.00%	109.94%	136.52%	134.09%
<b>4</b>	103.94%	109.90%	136.76%	134.38%

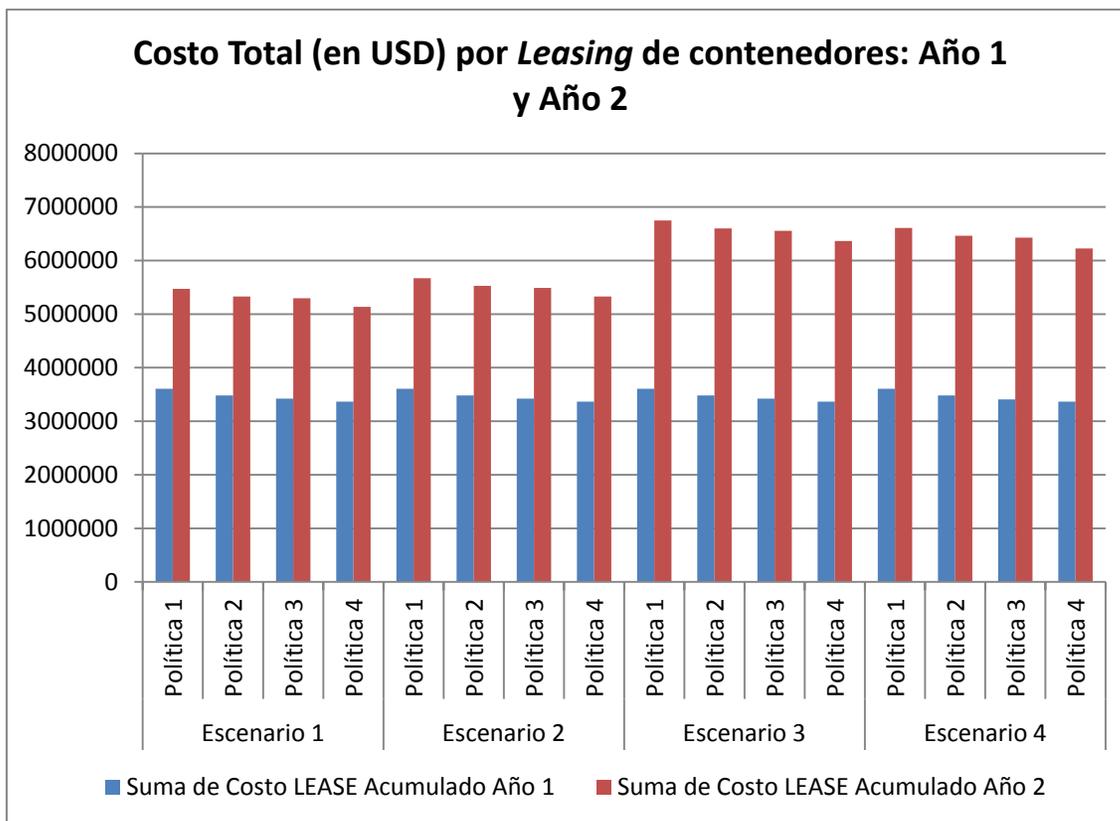
**Tabla 10.** Incremento porcentual del costo total por Manipulación de contenedores vacíos para el segundo Año.

### **5.3.3. Costo Total por Leasing de contenedores vacíos:**

El Leasing ó arrendamiento de contenedores está directamente ligado al nivel de rotación de los contenedores en el país. En la medida que se reduce el tiempo de permanencia de los contenedores, se reduce el costo que se causa por arrendamiento independientemente si el contenedor está en poder del cliente o no.

Los escenarios 3 y 4, presentan los costos más altos por Leasing debido al fuerte incremento en las demandas de importación de contenedores, que ante demandas de exportación no tan atractivas incrementan el tiempo de residencia de los contenedores en el País.

La política 4 ofrece un mejor desempeño en cuanto a este rubro, pues contribuye a incrementar la rotación de los contenedores tanto de importación como de exportación. (Ver Ilustración 26). De manera opuesta, la política de ofrecer 7 días libres implica un costo más alto para el Leasing de contenedores, independientemente del escenario.



**Ilustración 26.** Costo Total (en USD) por Leasing de contenedores: Año 1 y Año 2.

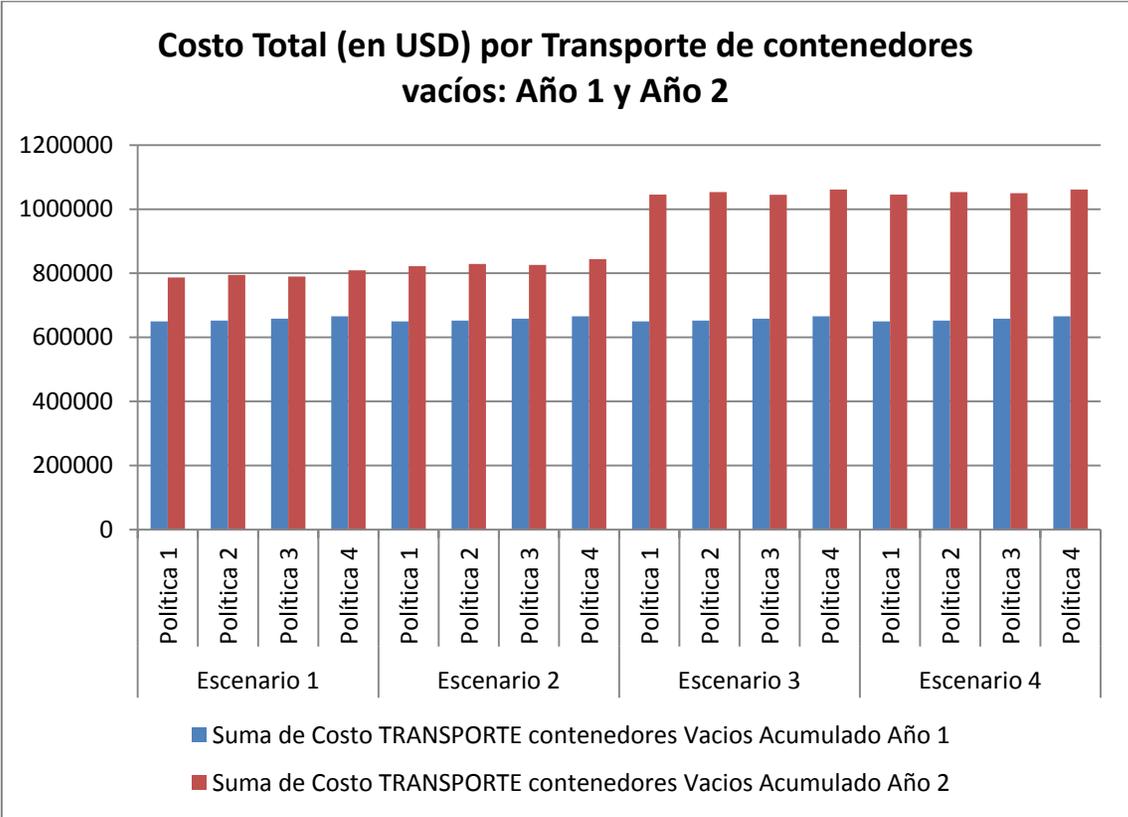
Los incrementos porcentuales del costo por Leasing para el segundo año (Ver tabla 11) comprueban que los incrementos en las demandas de importación en una tasa mayor a los incrementos de las demandas de exportación ó evacuación afectan el costo de arrendamiento de contenedores. Para el escenario 4, el incremento porcentual es menor para la política 1, porque el costo por Leasing para el primer año había sido mayor comparativamente que el de la política 4.

Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	151.74%	157.23%	187.10%	183.30%
2	153.06%	158.75%	189.54%	185.60%
3	154.71%	160.43%	191.59%	188.69%
4	152.54%	158.23%	189.07%	184.92%

**Tabla 11.** Incremento porcentual del costo total por Leasing de contenedores vacíos para el segundo Año.

**5.3.4. Costo Total por Transporte de contenedores vacíos:**

El costo de transporte de contenedores vacíos está directamente asociado a las demandas de posicionamiento para atender exportaciones o para cumplir con las demandas de evacuación. (Ver Ilustración 27)



**Ilustración 27.** Costo Total (en USD) por Transporte de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2.

Para los Escenarios 1 y 2, el costo es bastante estable independientemente de la política que se aplica, puesto que no se presenta posicionamiento de contenedores hacia Cali y Medellín, ni incrementos representativos en el posicionamiento de contenedores hacia los Patios ubicados en los puertos para el segundo año. Sin embargo las políticas 3 y 4, que promueven menores tiempos de demora por parte de los clientes, contribuyen a una mayor disponibilidad de contenedores vacíos para que estos sean posicionados hacia locaciones que los demandan.

Los escenarios 3 y 4, que implican incrementos en las demandas de importación, presentan costos más de transporte ya que independientemente de la política que se evalúa, es posible cumplir con las demandas de evacuación y posicionamiento de unidades vacías. Esto se evidencia en el incremento porcentual de los costos de Transporte para el segundo año. (Ver tabla 12).

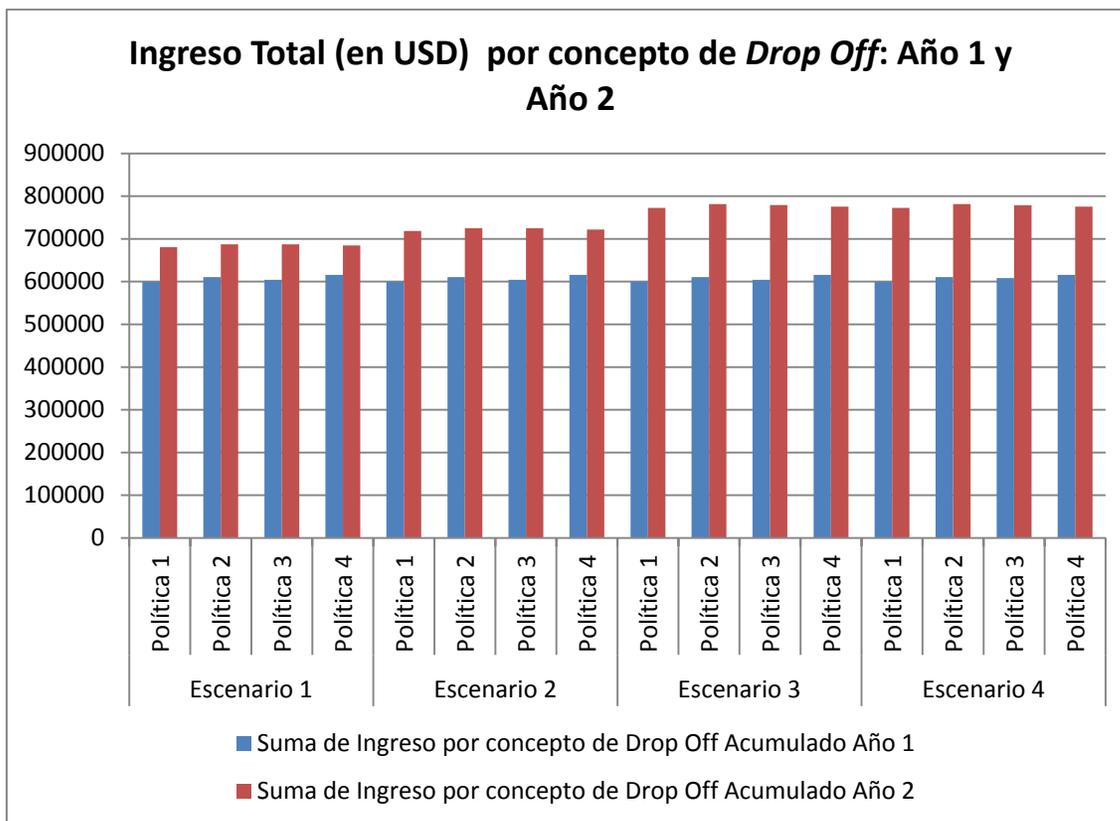
Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	121.08%	126.49%	160.91%	160.91%
2	121.83%	127.05%	161.45%	161.45%
3	119.98%	125.52%	158.74%	159.50%
4	121.58%	126.75%	159.39%	159.39%

**Tabla 12.** Incremento porcentual del costo total por Transporte de contenedores vacíos para el segundo Año.

### 5.3.5. Ingreso Total por concepto de *Drop Off*:

En la Ilustración 28 se puede apreciar que los ingresos por concepto de *Drop Off*, son prácticamente independientes a las políticas para cada uno de los escenarios, tanto para el primer como el segundo año.

Los escenarios 3 y 4 presentan ingresos más altos por concepto de *Drop Off* por tratarse de los escenarios con mayor volumen de importación por Buenaventura. Ya que normalmente los contenedores que se importan por este Terminal tienen una mayor probabilidad de ser devueltos en los Patios de Bogotá, Cali o Medellín.



**Ilustración 28.** Ingreso Total (en USD) por concepto de *Drop Off*: Año 1 y Año 2.

El incremento porcentual de ingresos por concepto de *Drop Off* para el segundo año, demuestra que este ingreso está directamente asociado a las demandas de importación y no a las políticas de días libres (ver Tabla 13).

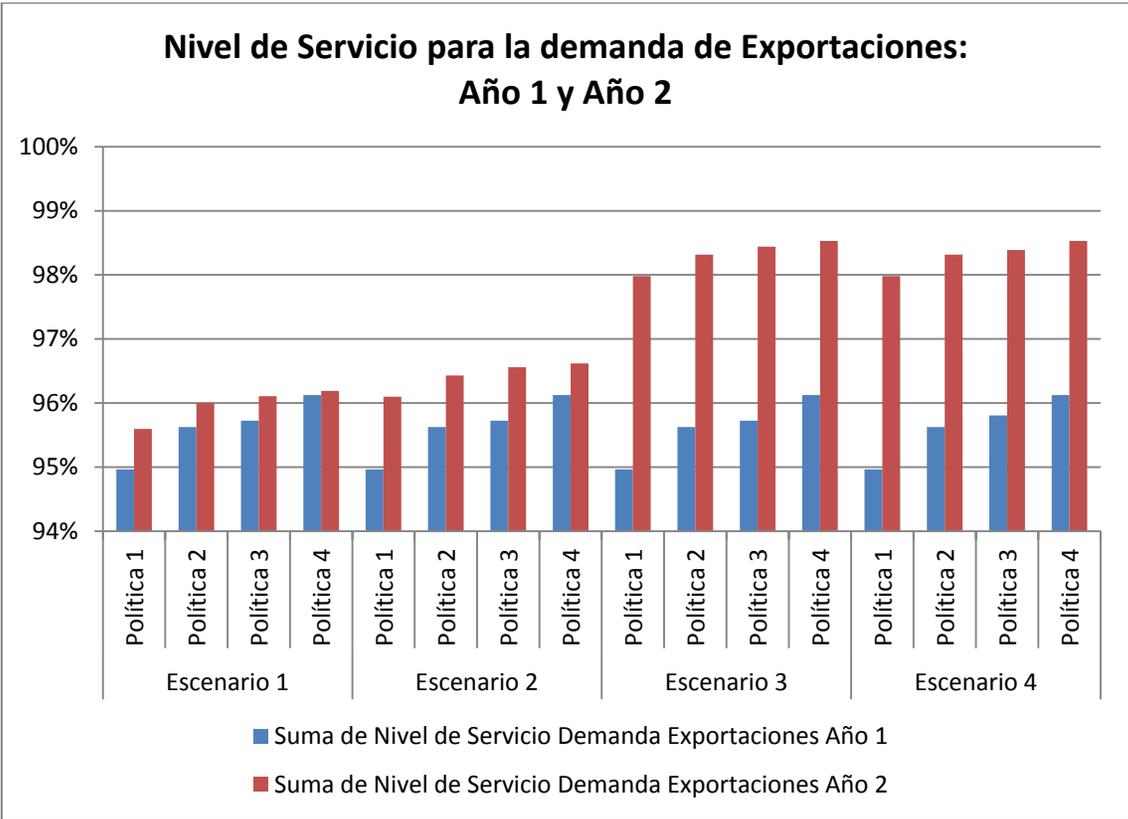
Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	113.46%	119.78%	128.83%	128.83%
2	112.61%	118.76%	128.00%	128.00%
3	113.74%	119.96%	128.97%	128.97%
4	111.20%	117.23%	125.94%	125.94%

**Tabla 13.** Incremento porcentual del ingreso total por concepto de *Drop Off* para el segundo Año.

**5.3.6. Nivel de Servicio para las demandas de exportación:**

El nivel de servicio para las demandas de exportación presenta un nivel superior al 94.5% y 95.5 % para el primer año y segundo año. Esto se debe a que los incrementos en las demandas de importación para todos los escenarios implican mayor flujo de contenedores hacia todos los patios.

Para los escenarios 1 y 2, el nivel de servicio durante el segundo año difícilmente supera el 96%, debido a que no se logra los niveles de inventario adecuados para atender las demandas de exportación en algunos de los Patios. Mientras que para los escenarios 3 y 4, se presenta mejores comportamientos frente al nivel de servicio para todas las políticas debido al incremento de las demandas de importación (ver Ilustración 29). Dicho incremento está fuertemente influenciado por los altos volúmenes de contenedores que se importan por el puerto de Buenaventura.



**Ilustración 29.** Nivel de Servicio para la demanda de Exportaciones: Año 1 y Año 2.

Aunque los incrementos de nivel de servicio están ligados fuertemente con los incrementos en las demandas de importación también se puede apreciar que las políticas influyen de manera positiva sobre el nivel de servicio en la medida que se reducen los días de demoras. La política 4 presenta el mejor desempeño en todos los escenarios.

Los incrementos porcentuales de nivel de servicio también varían de acuerdo con las políticas (ver tabla 14). El mayor incremento porcentual de nivel de servicio lo presenta la política 1, ya que su desempeño durante el primer año fue el más bajo, y con los incrementos en las demandas se beneficia para el segundo año con un crecimiento más representativo (aunque no supera el nivel de servicio de las otras políticas)

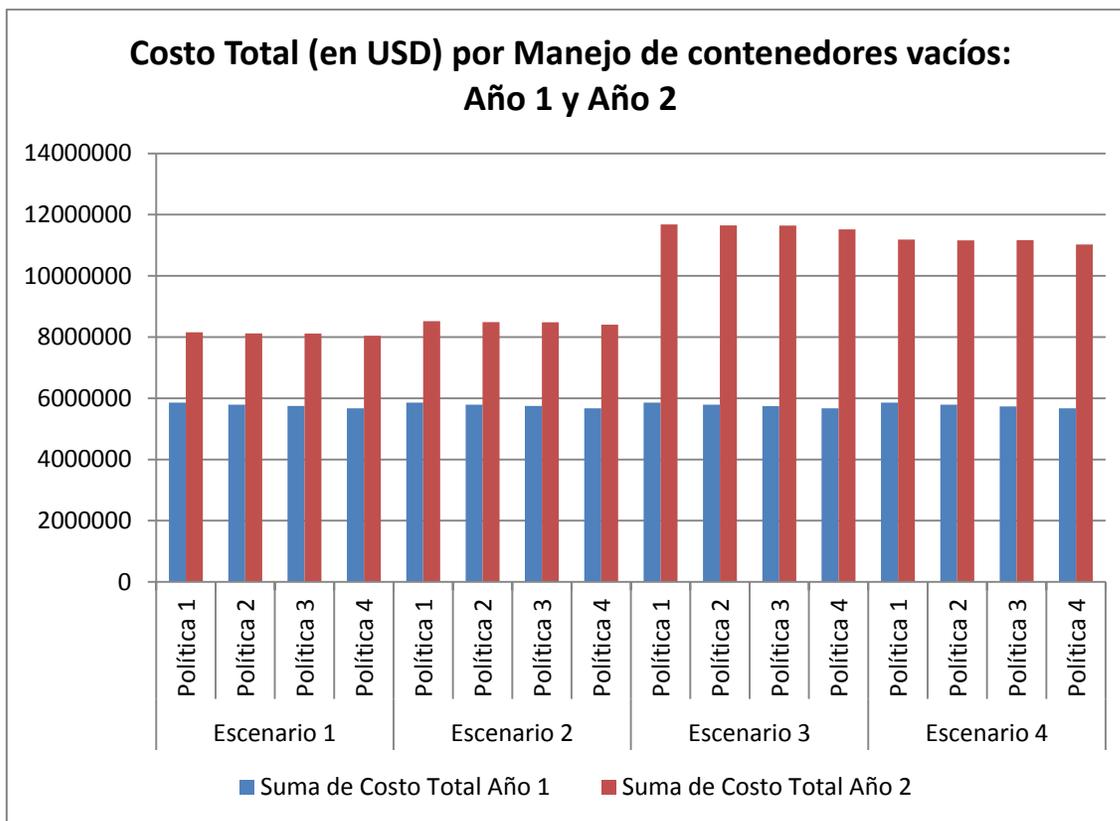
Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	0.66%	1.20%	3.18%	3.18%
2	0.39%	0.84%	2.81%	2.81%
3	0.40%	0.87%	2.83%	2.69%
4	0.07%	0.51%	2.50%	2.50%

**Tabla 14.** Incremento porcentual del Nivel de servicio para el segundo Año.

### **5.3.7. Costo Total por Manejo de contenedores vacíos:**

El costo total por manejo de contenedores presenta un comportamiento similar en cada uno de los escenarios independientemente de los escenarios y la política que se está evaluando tanto para el primer como para el segundo año. (Ver Ilustración 30).

Aunque el beneficio entre una u otra política no es ampliamente notable, es importante resaltar que el desempeño es ligeramente mejor en la medida en que se reducen los días libres de demoras.



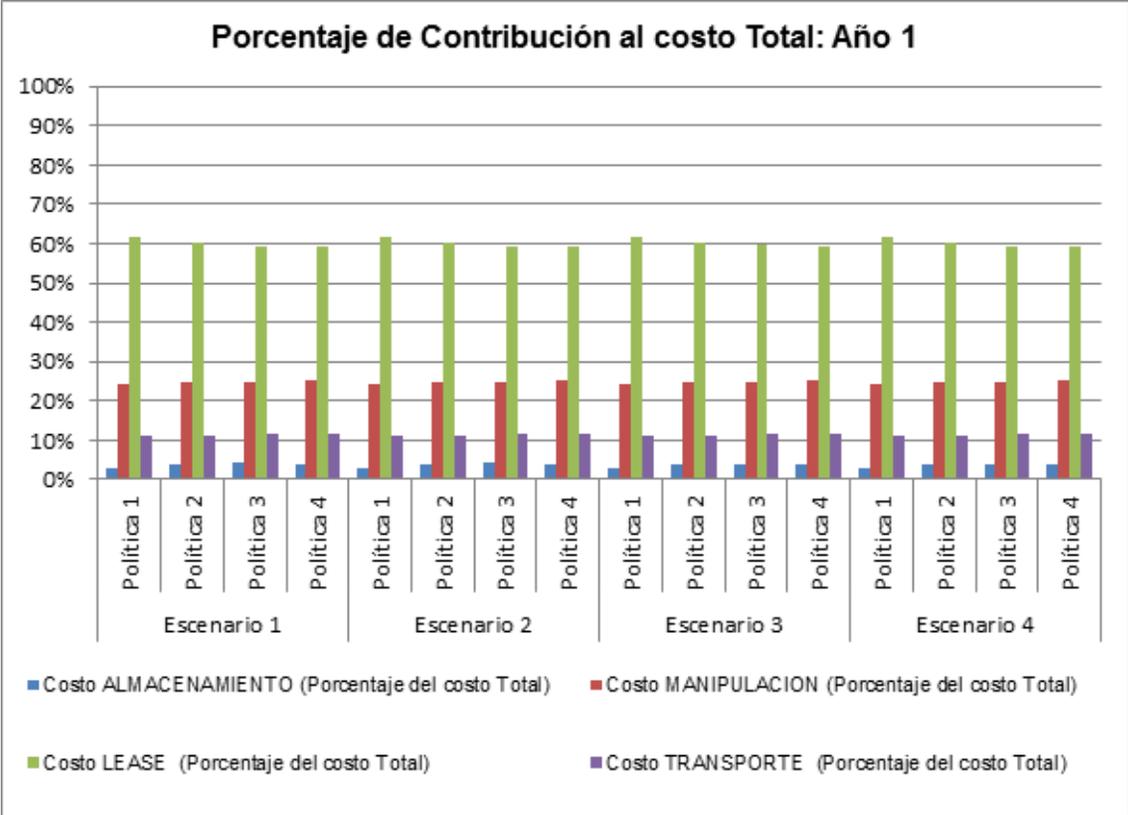
**Ilustración 30.** Costo Total (en USD) por Manejo de contenedores vacíos: Año 1 y Año 2.

Al verificar el incremento porcentual para el costo total del segundo año para cada una de las políticas, se puede afirmar que el menor incremento en los costos se presenta en la política 1 para todos los escenarios (Ver Tabla 15). Sin embargo el incremento porcentual no implica que el costo total sea menor, sino que su valor sufrió un cambio menos drástico.

Política	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1	139.20%	145.37%	199.33%	190.95%
2	140.26%	146.55%	201.18%	192.69%
3	141.11%	147.51%	202.74%	194.80%
4	141.81%	148.20%	203.11%	194.40%

**Tabla 15.** Incremento porcentual del costo total por Transporte de contenedores vacíos para el segundo Año.

El impacto de cada una de las políticas sobre los elementos que componen el costo total varía entre políticas. Sin embargo es preciso resaltar que el costo por Leasing o arrendamiento de contenedores representa casi el 55% y 65% del costo Total, el costo por Manipulación oscila entre el 18% y el 25%, el costo por Transporte es del orden del 9% a 12% mientras que el costo por Almacenamiento fluctúa entre el 3% y 18% cuando comparamos el porcentaje de contribución de cada uno de ellos al costo Total (ver Ilustración 31 y 32).

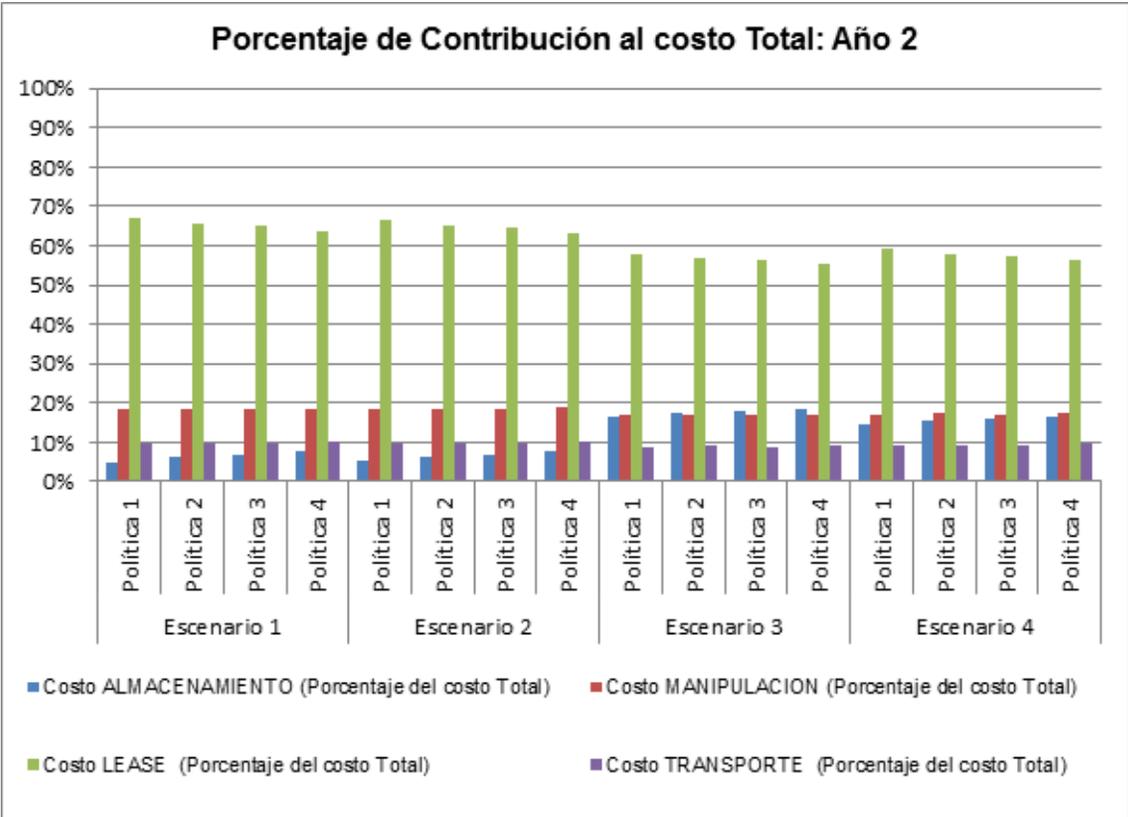


**Ilustración 31.** Porcentaje de contribución al costo Total: Año 1.

Para el primer año, tanto el costo como los diferentes elementos que lo componen, presentan un comportamiento similar independientemente de la política o del escenario, sin embargo para el segundo año podemos apreciar que en los escenarios 1 y 2, el impacto porcentual del costo por Manipulación de contenedores se reduce pero el costo por Leasing incrementa su contribución al

costo total. Aunque esta participación es menor en la medida en que se reducen los días libres de demoras.

Para los escenarios 3 y 4, el costo por leasing durante el segundo año, reduce su contribución al costo total puesto que las demandas de exportación, posicionamiento y evacuación promueven la rotación de los inventarios de contenedores.



**Ilustración 32.** Porcentaje de contribución al costo Total: Año 2

**5.3.8. Beneficios Económicos:**

Al comparar los beneficios económicos (Costo Total por manejo de contenedores vacíos menos Ingreso por concepto de *Drop Off*) durante el segundo Año para cada una de las políticas frente a la política menos estricta (Política 1), encontramos que las Políticas 2 y 3 presentan un desempeño similar independientemente del Escenario que se trabaje (Ver Tabla 16). Inclusive para el

Escenario 4, la Política 3 presenta un benéfico económico, para el modelo, menor que la Política 2.

Escenarios		Año 2	
		Beneficio (USD)	Porcentaje
<b>Escenario 1</b>	Política 1 Vs Política 1	0.00	0.00%
	Política 2 Vs Política 1	40545.95	0.54%
	Política 3 Vs Política 1	45914.08	0.61%
	Política 4 Vs Política 1	116352.83	1.56%
<b>Escenario 2</b>	Política 1 Vs Política 1	0.00	0.00%
	Política 2 Vs Política 1	37436.01	0.48%
	Política 3 Vs Política 1	38954.18	0.50%
	Política 4 Vs Política 1	114702.34	1.47%
<b>Escenario 3</b>	Política 1 Vs Política 1	0.00	0.00%
	Política 2 Vs Política 1	38067.09	0.35%
	Política 3 Vs Política 1	43077.83	0.39%
	Política 4 Vs Política 1	160776.55	1.47%
<b>Escenario 4</b>	Política 1 Vs Política 1	0.00	0.00%
	Política 2 Vs Política 1	38266.22	0.37%
	Política 3 Vs Política 1	26463.04	0.25%
	Política 4 Vs Política 1	163469.49	1.57%

**Tabla 16.** Comparación de los Beneficios Económicos de todas las Políticas frente a la Política 1 para cada uno de los escenarios

La Política 4 es la que ofrece un mejor desempeño en cuanto a beneficios económicos se refiere. Presenta ahorros, dependiendo del escenario en el cual se está trabajando, entre 115000 y 163000 USD frente a la Política 1. La Política más estricta implica ahorros entre un 1.47% y un 1.57% frente a la Política 1. Igualmente implica beneficios económicos que varían entre 70000 y 125000 USD al compararlo con las Políticas 2 y 3.

#### **5.4. Discusión de resultados.**

La gestión sobre el manejo de contenedores vacíos, representa un complejo reto para constantemente lograr un desempeño adecuado, no solo en cumplimiento de presupuestos, sino también para garantizar niveles de servicio competitivos que contribuyan a la sostenibilidad del negocio de transporte de carga en contenedores desde una óptica netamente operativa. Cuando se trabaja en una industria con altos niveles de activos, como es el caso de una Línea Naviera y sujeta a costos variables que pueden ser muy altos, es preciso efectuar un detallado control de los costos operativos, con el fin de garantizar una correcta utilización de los barcos y adaptarse constantemente al desbalance comercial existente en tan competido negocio.

Cada vez que un contenedor está dejando de ser utilizado, la línea Naviera incurre en costos que son transferidos a los clientes a través de tarifas que permitan márgenes de utilidad deseables para continuar invirtiendo en el crecimiento del negocio. Sin embargo, por cuestiones de mercado estas tarifas no pueden incrementarse de manera que compense estos extra costos, pues la competencia se encarga de determinar límites que en la mayoría de los casos, quien los sobrepase se expone a perder participación en el mercado.

Cuando sometemos el modelo de la empresa, que es caso de estudio, a una serie de escenarios y probamos el impacto de políticas, se busca entender el desempeño tanto del costo total de la operación así como cada uno de los elementos que lo componen. De esta forma se logra cuantificar el potencial impacto de decisiones atractivas para un departamento comercial, pero no muy popular para un departamento de operaciones ó el impacto de decisiones que operativamente pueden implicar ahorros en un componente del costo, pero que al largo plazo pueden deteriorar no solo el nivel de servicio sino cambiar la intención de los clientes de continuar embarcando.

Sin embargo, lo más determinante en estos casos de controversia, deberá ser verificar si los niveles de tarifas compensan ese tipo de decisiones para no entrar en dilemas o crear falsa hipótesis sobre el desempeño, pues cada departamento es medido con diferentes indicadores de gestión que en algunas circunstancias pueden no estar muy alineados.

Al reconocer que para el sistema asociado al flujo de contenedores en Colombia, el costo del *Leasing* representa el porcentaje más alto dentro del costo de la operación, se identifica a la vez que las políticas deben enfocarse a que se genere una rotación más alta de los contenedores procurando por nivel de servicio aceptables para las locaciones donde se demanda de manera frecuente contenedores con fines de exportación según el tamaño de los contenedores. Aunque en la realidad ante circunstancias de falta de equipo muy específicas se ofrece contenedores de 40 pies en sustitución de los de 20 pies con el fin.

En los resultados obtenidos a través del modelo, se aprecia que el costo total no varía drásticamente entre las políticas, pues cada una de ellas incide de manera diferente en los componentes del costo. Pero es preciso comprender en que momento una política traerá beneficios para un negocio tan complejo como es el transporte de carga en contenedores, pues el modelo solamente se enfoca a la problemática desde un nivel local y regional. Además, en algunas ocasiones es difícil lograr que las personas tengan una visión sistémica del problema.

Los resultados para los costos de Almacenamiento dan una señal frente a las negociaciones de *Free Pools*. Pues en caso que no se pueda incrementar la evacuación de contenedores vacíos, es preciso revisar los niveles de los *Free Pools*, con el fin de no impactar de manera drástica este costo. Para todos los escenarios se evidencia que independientemente de la política, el costo por almacenamiento se incrementó para el segundo año.

En cuanto al costo de Transporte de contenedores vacíos, es de gran importancia revisar las tarifas de transporte para posicionamiento terrestre durante los meses

de Junio y Julio, pues el costo de Leasing, sumado a los costos de almacenamiento puede llegar a superar el costo de posicionamiento de los contenedores. Si esto se suma a que el Patio puede llegar a superar el nivel del *Free Pool*, la decisión debe tomarse con buena anticipación y entrar a verificar si las tarifas de *Drop Off* puede ser modificadas para compensar el impacto en los sobre costos ó mejorar la oferta para transportar contenedores vacíos y hacer más atractiva su movilización.

Es por esto que la gestión, sobre el manejo de contenedores y sus flujos, al igual que la mayoría de los sistemas logísticos y de producción, requiere una importante coordinación entre las áreas operativas y comerciales. Pues es preciso determinar de manera oportuna si se justifica o no almacenar los contenedores para atender los pronósticos de demanda o si por el contrario se deben movilizar hacia locaciones con déficit de contenedores vacíos, para incrementar su utilización y reducir los costos asociados a su manejo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología de Dinámica de Sistemas, fue empleada para permitir un acercamiento diferente a un sistema tan complejo como es flujo de contenedores para una Línea Naviera en Colombia que opera sus buques en cuatro Terminales y almacena contenedores en siete patios ubicados en diferentes ciudades. Aunque anteriores trabajos se han realizado sobre la problemática frente al manejo de contenedores vacíos, ninguno ha trabajado modelos específicos, empleando Dinámica de Sistemas para los flujos de contenedores a nivel local y Regional de manera integrada.

Un modelo matemático que representará las variables de nivel, variables de flujo y variables aleatorias del sistema asociado al flujo de contenedores en Colombia fue desarrollado con el fin de replicarlo en un software de simulación dinámica. Este software, fue posteriormente empleado para validar el modelo matemático frente a valores de referencia conocidos de los niveles de inventario de contenedores en los Patios para el periodo comprendido entre las semana 22 a la 39 del año 2010. El modelo presentó un comportamiento satisfactorio frente a los registros históricos, especialmente en cuanto a la tendencia en los niveles tanto para contenedores de 20 como 40 pies.

La Dinámica de Sistemas facilita comprender e integrar el comportamiento de las entradas y salidas de contenedores, los elementos, restricciones, fronteras y subsistemas que gobiernan el sistema logístico, así como también entender como estos afectan la estructura de costos asociados al manejo de contenedores que está compuesto principalmente de cuatro elementos: Almacenamiento, Manipulación, Leasing ó arrendamiento y Transporte.

Los costos de almacenamiento, *Leasing*, Manipulación y Transporte así como los ingresos por concepto de *Drop Off* y el Nivel de Servicio de la Demanda de Exportación, fueron evaluados para cada uno de los escenarios frente a cada una de las políticas. Se pudo evidenciar que las políticas que reducen el número de días libres tanto en importación como en exportación son las que presentan un mejor desempeño en cuanto al costo total por manejo de contenedores, a pesar de que incrementan el costo por almacenamiento. Las políticas que otorgan más tiempo libre a los clientes, pueden contribuir a reducir los costos de almacenamiento, pero a la larga terminaran siendo menos eficientes desde la perspectiva de costo y nivel de servicio.

Las políticas que fomentan una mayor rotación de los contenedores a la larga traerán mejores beneficios en términos de ahorro siempre y cuando se logre dar una utilización oportuna a los contenedores. La Política de cuatro días libres presenta un beneficio económico de más de 100000 USD al compararla con la Política de siete días libres, independientemente del escenario que se evalúa.

La Dinámica de Sistemas no solo contribuye a la evaluación de los costos sino también permite comprender mejor las condiciones de negociación en términos de capacidad de almacenamiento en los patios, requerimientos de transporte terrestre ó decisiones sobre evacuación de contenedores que en un determinado momento no parecen prácticas alineados dentro de una gestión de costos coherente y válida.

Se recomienda continuar el proceso de investigación enfocando esfuerzos tanto en identificar los patrones de aleatoriedad de las demoras que contribuyan a una modelación más detallada del sistema, así como en realizar análisis de sensibilidad que permitan detectar oportunidades para llegar a mejores acuerdos con proveedores de patios sobre los *Free Pools* y reducir los costos de almacenamiento, evaluar situaciones de estacionalidad, para casos de incrementos inesperados tanto en importaciones como exportaciones ó analizar

políticas que promuevan una mejor sincronización de los flujos de entrada y salida, pero con el propósito de trabajar modelos con niveles de inventario más bajos y una rotación más alta de contenedores. Igualmente es de gran pertinencia trabajar horizontes de tiempo más largos para visualizar el impacto de posibles estrategias.

## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, Y., Alonso, M.I., “El proceso de toma de decisiones en entornos complejos: Una aplicación metodológica”. *Documentos de trabajo (Universidad de Oviedo. Facultad de Ciencias Económicas)* 194 (2000): 37 p

Bandeira, D.L., Becker, J.L., Borenstein, D., “A DSS for integrated distribution of empty and full containers”. *Decision Support Systems* 47 (2009): 383-397

Bing, W., Zhongchen, W., “Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-carriage”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology* 7, no. 3 (2007): 29-33

Choong, S.K., Cole, M.H., Kutanoglu, E., “Empty container Management for intermodal transportation networks”. *Transportation Research Part E* 38 (2002): 423-438.

Chouinar, M., D’Amours, S., Ait-Kadi, D. “Integration of reverse logistics activities within a supply chain information system”, *Computers in Industry* 56 (2004): 105-124.

deBrito, M.P., Konings, R., “Container management strategies to deal with the East-West flows imbalance”, OTB Delft university of Technology, The Netherlands. Ensayo presentado en el *Logistics and Freight meeting in the Netherlands*. Delft, 2008

deBrito, M.P., van der Laan, E.A., “Inventory Control with product returns: the impact of imperfect information”, *European Journal of Operational Research* (2007), doi: 10.1016/j.ejor.2007.11.063.

Dejax, P.J., Crainic, T.G., “A review of empty flows ad fleet management model in freight transportation”, *Transportation Science* 21 (1987): 227-247.

Elera, A. L., Morales, J.C., Savelsbergh, M., “Global intermodal tank container management for the chemical industry”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 41, no. 3 (2005): 551-566.

FOTOARTISTAS (Julio 2010). Mapa de Colombia para colorear [imagen en línea]. [citado en Mayo 21 de 2011] Disponible en el *World Wide Web*: <http://fotoartistas.blogspot.com/2010/07/mapa-de-colombia-para-colorear.html>

Guide Jr, V.D.R., Jayaraman, V., Linton, J.D., “Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery”, *Journal of Operations Management* 21, no 3 (2003): 259 – 279.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC [online]. Bogotá (Colombia): IGAC Online, 2010, actualizado Mayo 20 de 2011 [citado en Mayo 20 de 2011]. “*Mapas de Colombia*”. Disponible en el *World Wide Web*: [http://190.254.22.44/mapas\\_de\\_colombia/IGAC/Matis\\_Colombia.pdf](http://190.254.22.44/mapas_de_colombia/IGAC/Matis_Colombia.pdf).

Jifeng, W., Huapu, L., Hu, P., “System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application”, *Journal of Transportation, System Engineering and Information Technology*. 8, no. 3 (2008): 83-89

Kalos, M.H., Whitlock, P.A., *Monte Carlo Methods*. Segunda Edición. Berlin: WILEY-VCH, 2008. 7-34.

Lam, S., Lee, L., Tang, L., “An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem”. *Transportation Research Part C* 15 (2007): 265-277

Li, J, Leung, S.C.H., Wu, Y., Liu, K., “Allocation of empty containers between multi-ports”. *European Journal of operational research* 182, (2007): 400 – 412.

López, Rafael. “Cálculo de Probabilidades e inferencia Estadística con tópicos de Econometría”. Quinta Edición. Caracas: Publicaciones Universidad Católica Andrés Bello, 2009.251-259

Manataki, I., Zografos, K. "A generic system dynamics based tool for airport Terminal performance analysis", *Transportation Research part C: Emerging Technologies*. 17, no. 4 (2009):428-443

Moon, I., Ngoc, A., Hur, Y. "Positioning empty containers among multiple ports with leasing and purchasing considerations", *OR Spectrum* 32, no. 3 (2010): 765-786

Notterboom, T. E., Vernimmen, B., "The effect of high fuel costs on liner service configuration in container shipping". *Journal of transport Geography* 17, (2009): 325-337.

Oficina de Estudios Económicos, "Informe Económico No. 1", Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de la Republica de Colombia. Bogotá, 2010.

Quintero Hermanos Ltda. Estadísticas de carga 2008 y 2009. Bogotá, 2010.

Rubiano, Oscar. "Propuesta de Gestión de la Cadena de Suministro Centralizada. Comparación con la gestión de la Cadena de Suministro Totalmente Integrada". *Ingeniería y Competitividad* 5, no. 2 (2004): 40-52

Schaffernicht, Martin. Indagación de situaciones dinámicas mediante la dinámica de sistemas. Tomo 1: Fundamentos. Talca: Editorial Universidad de Talca, 2008.

Shen, W.S., Khoong, C.M., "A DSS for empty container distribution planning". *Decision Support Systems* 15. (1995): 75-82

Taleb-Ibrahimi, M., Castilho, B., Daganzo, C.F. "Storage space vs. handling work in container terminals", *Transportation Research, Part B: Methodological* 27, no. 1 (1993): 13-32.

Theofanis, S. Boile, M., "Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies". *Geo Journal* 74, (2009): 51-65

Veenstra, A.W., Mulder, H.M., Sels, R.A., "Analysing container flows in the Caribbean", *Journal of Transport Geography* 13, (2005): 295-305

## ANEXOS

Anexo 1.	Índices de las variables .....	124
Anexo 2.	Demandas .....	125
Anexo 3.	Coeficientes para los flujos .....	127
Anexo 4.	Demoras .....	128
Anexo 5.	Niveles de Inventario y Tasas.....	132
Anexo 6.	Resultados de las corridas de Simulación .....	147

## Anexo 1. Índices de las variables

*a: Terminal, a = 1,2,3,4*

<b>a</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Convención</b>
1	Barranquilla	BAQ
2	Buenaventura	BVN
3	Cartagena	CTG
4	Santa Marta	SMP

*b: Tamaño de contenedor, b = 1, 2*

<b>b</b>	<b>Tamaño de contenedor</b>
1	20
2	40

*c: Patio, c = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7*

<b>c</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Convención</b>
1	Barranquilla	BAQ
2	Buenaventura	BVN
3	Cartagena	CTG
4	Santa Marta	SMP
5	Bogotá	BQG
6	Cali	CLI
7	Medellín	MED

## Anexo 2. Demandas

$$DiT^{aFb} = f(t)$$

Ejemplo de una matriz para las demandas de importación de contenedores llenos en función del tiempo para un periodo de 2 años (730 días).

Demanda de contenedores de 20 pies descargados en el Terminal de Buenaventura:

[(0,0)-730,425].

(0,0),(1,230),(2,0),(3,0),(4,0),(5,0),(6,0),(7,0),(8,182),(9,0),(10,0),(11,0),(12,0),(13,0),(14,0),(15,176),(16,0),(17,0),(18,0),(19,0),(20,0),(21,0),(22,177),(23,0),(24,0),(25,0),(26,0),(27,0),(28,0),(29,183),(30,0),(31,0),(32,0),(33,0),(34,0),(35,0),(36,253),(37,0),(38,0),(39,0),(40,0),(41,0),(42,0),(43,158),(44,0),(45,0),(46,0),(47,0),(48,0),(49,0),(50,190),(51,0),(52,0),(53,0),(54,0),(55,0),(56,0),(57,131),(58,0),(59,0),(60,0),(61,0),(62,0),(63,0),(64,299),(65,0),(66,0),(67,0),(68,0),(69,0),(70,0),(71,257),(72,0),(73,0),(74,0),(75,0),(76,0),(77,0),(78,180),(79,0),(80,0),(81,0),(82,0),(83,0),(84,0),(85,149),(86,0),(87,0),(88,0),(89,0),(90,0),(91,0),(92,112),(93,0),(94,0),(95,0),(96,0),(97,0),(98,0),(99,118),(100,0),(101,0),(102,0),(103,0),(104,0),(105,0),(106,129),(107,0),(108,0),(109,0),(110,0),(111,0),(112,0),(113,184),(114,0),(115,0),(116,0),(117,0),(118,0),(119,0),(120,60),(121,0),(122,0),(123,0),(124,0),(125,0),(126,0),(127,51),(128,0),(129,0),(130,0),(131,0),(132,0),(133,0),(134,318),(135,0),(136,0),(137,0),(138,0),(139,0),(140,0),(141,183),(142,0),(143,0),(144,0),(145,0),(146,0),(147,0),(148,111),(149,0),(150,0),(151,0),(152,0),(153,0),(154,0),(155,151),(156,0),(157,0),(158,0),(159,0),(160,0),(161,0),(162,155),(163,0),(164,0),(165,0),(166,0),(167,0),(168,0),(169,120),(170,0),(171,0),(172,0),(173,0),(174,0),(175,0),(176,180),(177,0),(178,0),(179,0),(180,0),(181,0),(182,0),(183,353),(184,0),(185,0),(186,0),(187,0),(188,0),(189,0),(190,243),(191,0),(192,0),(193,0),(194,0),(195,0),(196,0),(197,218),(198,0),(199,0),(200,0),(201,0),(202,0),(203,0),(204,160),(205,0),(206,0),(207,0),(208,0),(209,0),(210,0),(211,199),(212,0),(213,0),(214,0),(215,0),(216,0),(217,0),(218,135),(219,0),(220,0),(221,0),(222,0),(223,0),(224,0),(225,243),(226,0),(227,0),(228,0),(229,0),(230,0),(231,0),(232,105),(233,0),(234,0),(235,0),(236,0),(237,0),(238,0),(239,129),(240,0),(241,0),(242,0),(243,0),(244,0),(245,0),(246,143),(247,0),(248,0),(249,0),(250,0),(251,0),(252,0),(253,286),(254,0),(255,0),(256,0),(257,0),(258,0),(259,0),(260,225),(261,0),(262,0),(263,0),(264,0),(265,0),(266,0),(267,215),(268,0),(269,0),(270,0),(271,0),(272,0),(273,0),(274,195),(275,0),(276,0),(277,0),(278,0),(279,0),(280,0),(281,164),(282,0),(283,0),(284,0),(285,0),(286,0),(287,0),(288,192),(289,0),(290,0),(291,0),(292,0),(293,0),(294,0),(295,186),(296,0),(297,0),(298,0),(299,0),(300,0),(301,0),(302,246),(303,0),(304,0),(305,0),(306,0),(307,0),(308,0),(309,295),(310,0),(311,0),(312,0),(313,0),(314,0),(315,0),(316,425),(317,0),(318,0),(319,0),(320,0),(321,0),(322,0),(323,321),(324,0),(325,0),(326,0),(327,0),(328,0),(329,0),(330,68),(331,0),(332,0),(333,0),(334,0),(335,0),(336,0),(337,331),(338,0),(339,0),(340,0),(341,0),(342,0),(343,0),(344,306),(345,0),(346,0),(347,0),(348,0),(349,0),(350,0),(351,214),(352,0),(353,0),(354,0),(355,0),(356,0),(357,0),(358,333),(359,0),(360,0),(361,0),(362,0),(363,0),(364,0),(365,230),(366,0),(367,0),(368,0),(369,0),(370,0),(371,0),(372,182),(373,0),(374,0),(375,0),(376,0),(377,0),(378,0),(379,176),(380,0),(381,0),(382,0),(383,0),(384,0),(385,0),(386,177),(387,0),(388,0),(389,0),(390,0),(391,0),(392,0),(393,183),(394,0),(395,0),(396,0),(397,0),(398,0),(399,0),(400,253),(401,0),(402,0),(403,0),(404,0),(405,0),(406,0),(407,158),(408,0),(409,0),(410,0),(411,0),(412,0),(413,0),(414,190),(415,0),(416,0),(417,0),(418,0),(419,0),(420,0),(421,131),(422,0),(423,0),(424,0),(425,0),(426,0),(427,0),(428,299),(429,0),(430,0),(431,0),(432,0),(433,0),(434,0),(435,257),(436,0),(437,0),(438,0),(439,0),(440,0),(441,0),(442,180),(443,0),(444,0),(445,0),(446,0),(447,0),(448,0),(449,149),(450,0),(451,0),(452,0),(453,0),(454,0),(455,0),(456,112),(457,0),(458,0),(459,0),(460,0),(461,0),(462,0),(463,118),(464,0),(465,0),(466,0),(467,0),(468,0),(469,0),(470,129),(471,0),(472,0),(473,0),(474,0),(475,0),(476,0),(477,184),(478,0),(479,0),(480,0),(481,0),(482,0),(483,0),(484,60),(485,0),(486,0),(487,0),(488,0),(489,0),(490,0),(491,51),(492,0),(493,0),(494,0),(495,0),(496,0),(497,0),(498,318),(499,0),(500,0),(501,0),(502,0),(503,0),(504,0),(505,183),(506,0),(507,0),(508,0),(509,0),(510,0),(511,0),(512,111),(513,0),(514,0),(515,0),(516,0),(517,0),(518,0),(519,151),(520,0),(521,0),(522,0),(523,0),(524,0),(525,0),(526,155),(527,0),(528,0),(529,0),(530,0),(531,0),(532,0),(533,120),(534,0),(535,0),(53

6,0),(537,0),(538,0),(539,0),(540,180),(541,0),(542,0),(543,0),(544,0),(545,0),(546,0),(547,353),(548,0),(549,0),(550,0),(551,0),(552,0),(553,0),(554,243),(555,0),(556,0),(557,0),(558,0),(559,0),(560,0),(561,218),(562,0),(563,0),(564,0),(565,0),(566,0),(567,0),(568,160),(569,0),(570,0),(571,0),(572,0),(573,0),(574,0),(575,199),(576,0),(577,0),(578,0),(579,0),(580,0),(581,0),(582,135),(583,0),(584,0),(585,0),(586,0),(587,0),(588,0),(589,243),(590,0),(591,0),(592,0),(593,0),(594,0),(595,0),(596,105),(597,0),(598,0),(599,0),(600,0),(601,0),(602,0),(603,129),(604,0),(605,0),(606,0),(607,0),(608,0),(609,0),(610,143),(611,0),(612,0),(613,0),(614,0),(615,0),(616,0),(617,286),(618,0),(619,0),(620,0),(621,0),(622,0),(623,0),(624,225),(625,0),(626,0),(627,0),(628,0),(629,0),(630,0),(631,215),(632,0),(633,0),(634,0),(635,0),(636,0),(637,0),(638,195),(639,0),(640,0),(641,0),(642,0),(643,0),(644,0),(645,164),(646,0),(647,0),(648,0),(649,0),(650,0),(651,0),(652,192),(653,0),(654,0),(655,0),(656,0),(657,0),(658,0),(659,186),(660,0),(661,0),(662,0),(663,0),(664,0),(665,0),(666,246),(667,0),(668,0),(669,0),(670,0),(671,0),(672,0),(673,295),(674,0),(675,0),(676,0),(677,0),(678,0),(679,0),(680,425),(681,0),(682,0),(683,0),(684,0),(685,0),(686,0),(687,321),(688,0),(689,0),(690,0),(691,0),(692,0),(693,0),(694,68),(695,0),(696,0),(697,0),(698,0),(699,0),(700,0),(701,331),(702,0),(703,0),(704,0),(705,0),(706,0),(707,0),(708,306),(709,0),(710,0),(711,0),(712,0),(713,0),(714,0),(715,214),(716,0),(717,0),(718,0),(719,0),(720,0),(721,0),(722,333),(723,0),(724,0),(725,0),(726,0),(727,0),(728,0),(729,230),(730,0)

### Anexo 3. Coeficientes para los flujos

$$kDs_bT^aF^b = p(x)$$

Ejemplo de una matriz para la distribución de probabilidad de frecuencia para el evento de Desembalaje de contenedores en un Terminal

Matriz de distribución de probabilidad de frecuencia para desembalaje de contenedores llenos de 20 pies en el Terminal de Barranquilla.

[(0,0)-(1,0.4)],  
(0,0.29),(0.02,0.29),(0.02,0.26),(0.039,0.26),(0.039,0.24),(0.059,0.24),(0.059,0.21),(0.078,0.21),(0.078,0.19),(0.098,0.19),(0.098,0.18),(0.118,0.18),(0.118,0.17),(0.137,0.17),(0.137,0.15),(0.157,0.15),(0.157,0.13),(0.216,0.13),(0.216,0.12),(0.275,0.12),(0.275,0.11),(0.294,0.11),(0.294,0.1),(0.353,0.1),(0.353,0.09),(0.431,0.09),(0.431,0.08),(0.451,0.08),(0.451,0.07),(0.51,0.07),(0.51,0.06),(0.549,0.06),(0.549,0.05),(0.588,0.05),(0.588,0.04),(0.667,0.04),(0.667,0.03),(0.784,0.03),(0.784,0.02),(0.804,0.02),(0.804,0.01),(0.863,0.01),(0.863,0),(1,0)

#### Anexo 4. Demoras

$DemDscDsbT^a F_{j-Dem_a}^b$	Días
Tiempo demora Descargue Desembalaje BAQ 20's	9.405
Tiempo demora Descargue Desembalaje BAQ 40's	8.05
Tiempo demora Descargue Desembalaje BVN 40's	6.58
Tiempo demora Descargue Desembalaje CTG 20's	7
Tiempo demora Descargue Desembalaje CTG 40's	10.9
Tiempo demora Descargue Desembalaje SMP 20's	7
Tiempo demora Descargue Desembalaje SMP 40's	11.41
Tiempo demora Descargue Desembalaje BVN 20's	3.17

$DemDscSalT^a F_{j-Dem_a}^b$	Días
Tiempo demora Descargue Salida BAQ 20's llenos	9.558
Tiempo demora Descargue Salida BAQ 40's llenos	8.97
Tiempo demora Descargue Salida BVN 20's llenos	5.87
Tiempo demora Descargue Salida BVN 40's llenos	4.35
Tiempo demora Descargue Salida CTG 20's llenos	8.74
Tiempo demora Descargue Salida CTG 40's llenos	8.25
Tiempo demora Descargue Salida SMP 20's llenos	9.247
Tiempo demora Descargue Salida SMP 40's llenos	4.76

$DemSalDevT^a P^c V_j^b - Dem_a$	Días
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ BAQ	1.46
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ BQG	5.25
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ BVN	0
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ CLI	6
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ CTG	6.36
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ MED	6.79
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BAQ SMP	2.71
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN BAQ	25
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN BQG	4.59
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN BVN	5.59
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN CLI	4.05
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN CTG	10.43
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN MED	4.25
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos BVN SMP	0
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG BAQ	3.71
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG BQG	5.03
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG BVN	7.05
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG CLI	3.71
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG CTG	4.97
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG MED	3.77
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos CTG SMP	1
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP BAQ	0
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP BQG	4.78
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP BVN	8.11
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP CLI	9
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP CTG	13.67
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP MED	0
Tiempo Demora Salida Devolución 20's vacíos SMP SMP	1.74
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ BAQ	1.55
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ BQG	4.83
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ BVN	0
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ CLI	5.33
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ CTG	5.39
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ MED	5.4
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BAQ SMP	1
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN BAQ	6.54
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN BQG	3.84
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN BVN	4.56

Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN CLI	3.35
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN CTG	9.63
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN MED	3.93
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos BVN SMP	4
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG BAQ	4.34
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG BQG	5.1
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG BVN	7.79
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG CLI	4.37
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG CTG	4.58
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG MED	3.31
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos CTG SMP	8.9
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP BAQ	7.88
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP BQG	5.68
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP BVN	7.05
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP CLI	5.75
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP CTG	9.15
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP MED	5.25
Tiempo Demora Salida Devolución 40's vacíos SMP SMP	7.18

$DemRetIngP^cT^aF_{j-Dem_c}^b$	Días
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BAQ retirados en BAQ	1.66
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BAQ retirados en BQG	7.61
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BAQ retirados en CTG	9.71
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BAQ retirados en MED	3.48
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BAQ retirados en SMP	3.17
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BVN retirados en BAQ	4
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BVN retirados en BQG	4.67
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BVN retirados en BVN	3.28
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BVN retirados en CLI	3.01
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto BVN retirados en MED	2.81
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en BAQ	6.83
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en BQG	4.31
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en BVN	2
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en CLI	3.66
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en CTG	4.34
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto CTG retirados en MED	2.94
Tiempo Demora Ingreso 20's llenos en Puerto SMP retirados en SMP	1.86
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en BAQ	2.26
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en BQG	6.61
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en CLI	5
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en CTG	3.5
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en MED	4.45
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BAQ retirados en SMP	2
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BVN retirados en BQG	3.22
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BVN retirados en BVN	3.2
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BVN retirados en CLI	3.19
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto BVN retirados en MED	2.69
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en BAQ	4.03
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en BQG	3.98
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en BVN	4.17
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en CLI	3.86
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en CTG	2.17
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto CTG retirados en MED	3.12
Tiempo Demora Ingreso 40's llenos en Puerto SMP retirados en SMP	2.8

## **Anexo 5. Niveles de Inventario y Tasas**

Ejemplo de niveles de inventario y tasas en los 7 patios para cada una de las 4 Políticas.

Gráficos extraídos de Vensim®

Escenario 3, Semilla 11 (6500).

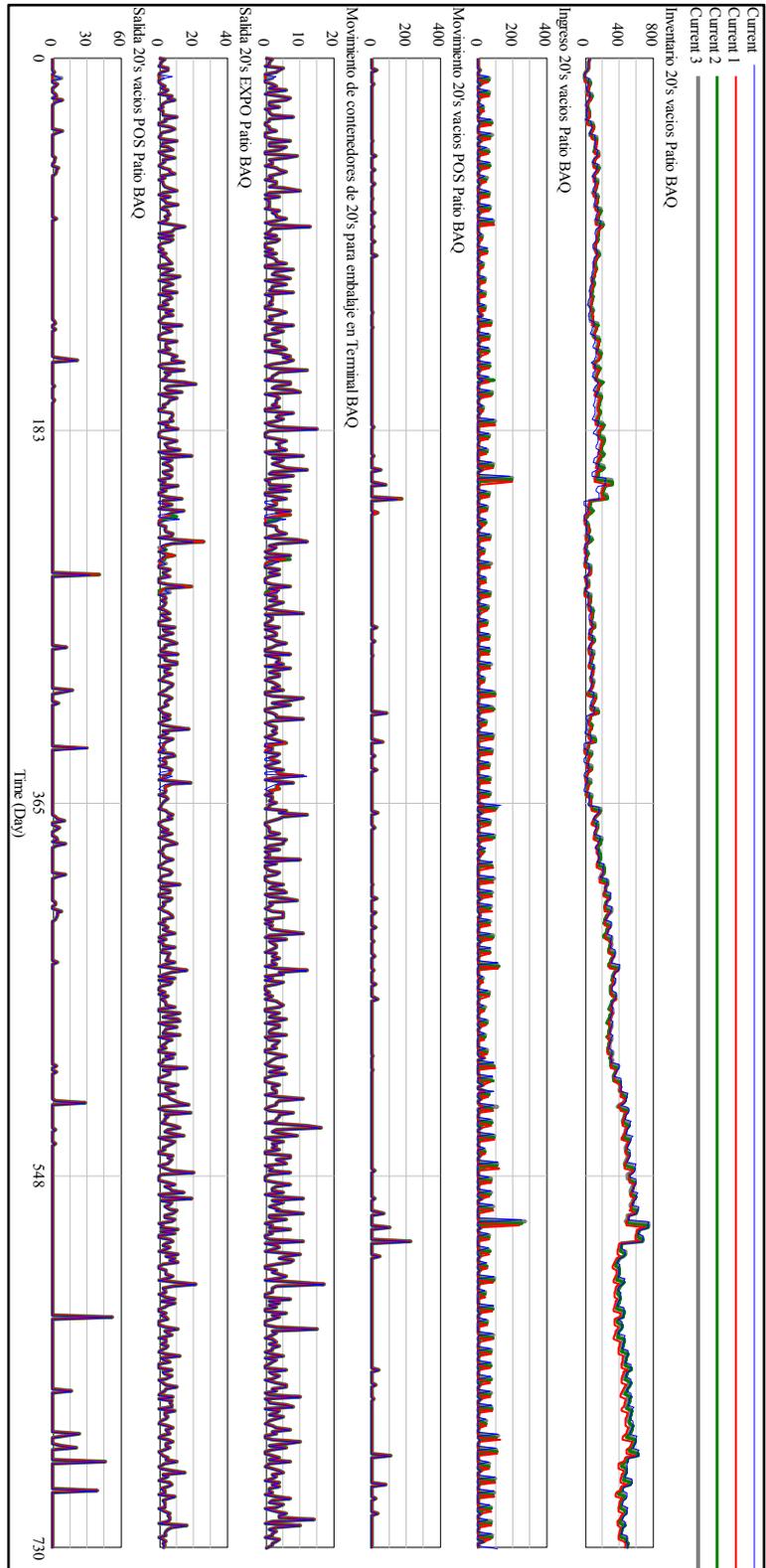
Política 1: Color Rojo

Política 2: Color Verde

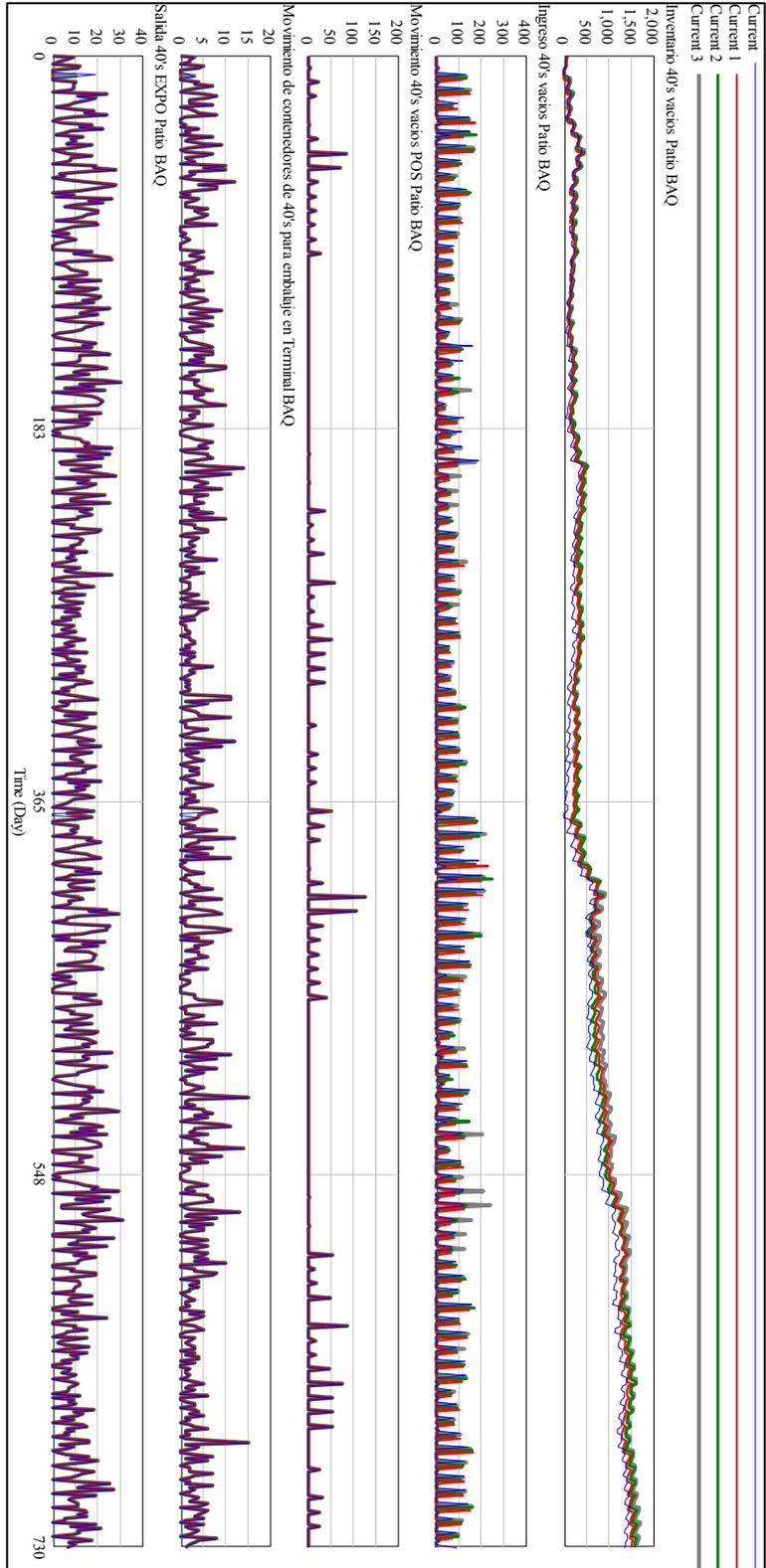
Política 3: Color Gris

Política 4: Color Azul

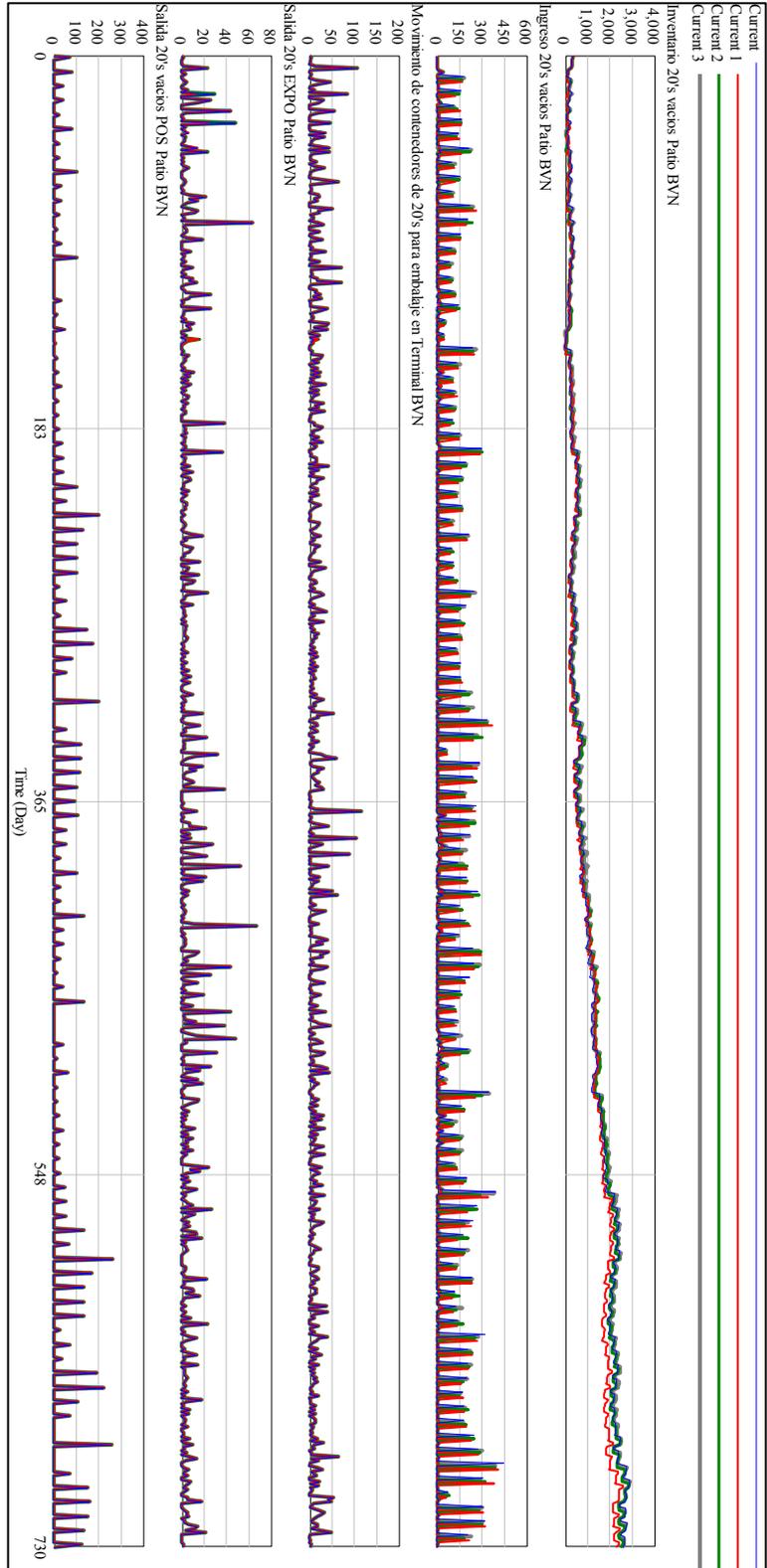
## Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Barranquilla: Contenedores de 20 pies



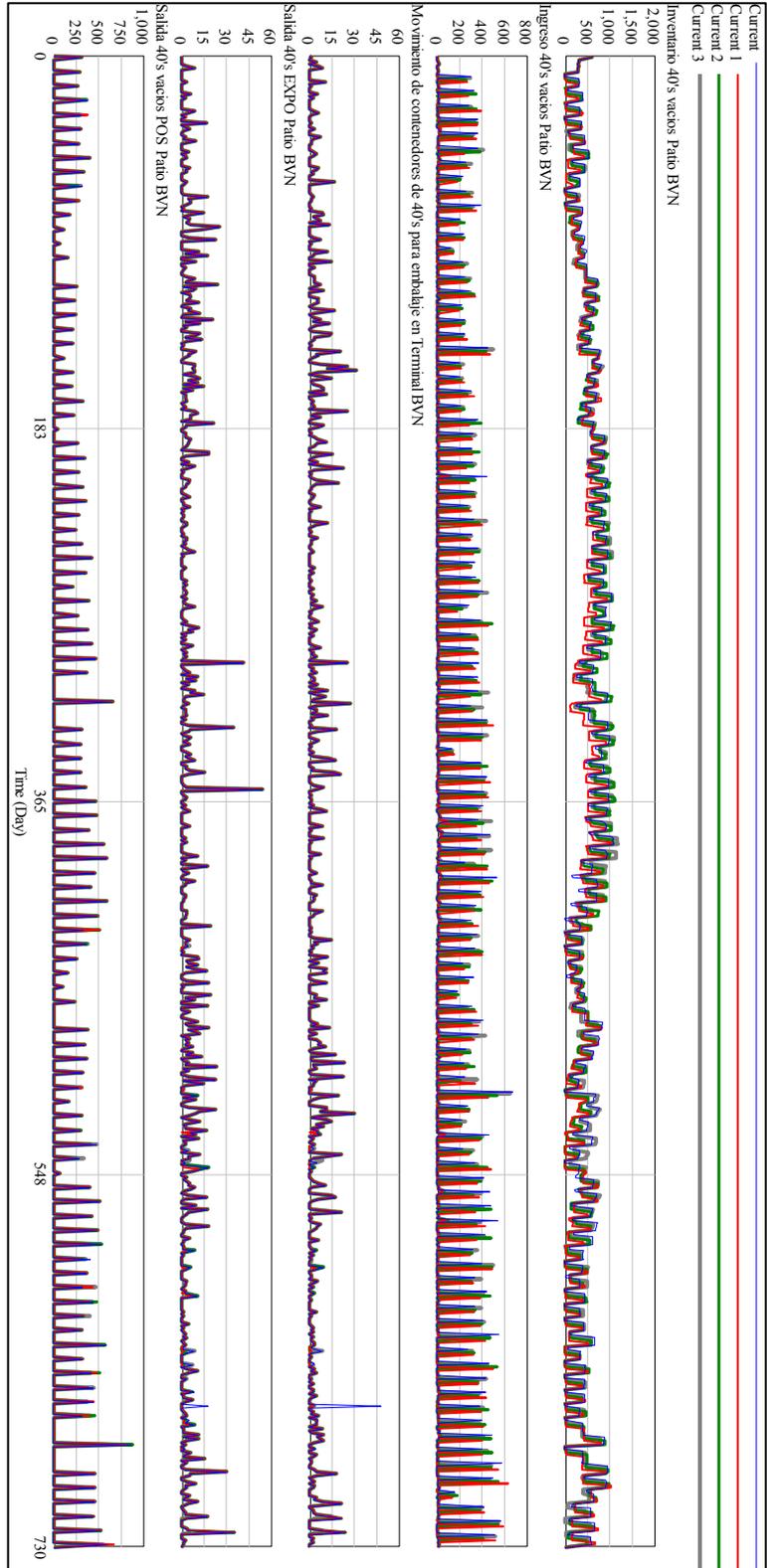
## Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Barranquilla: Contenedores de 40 pies



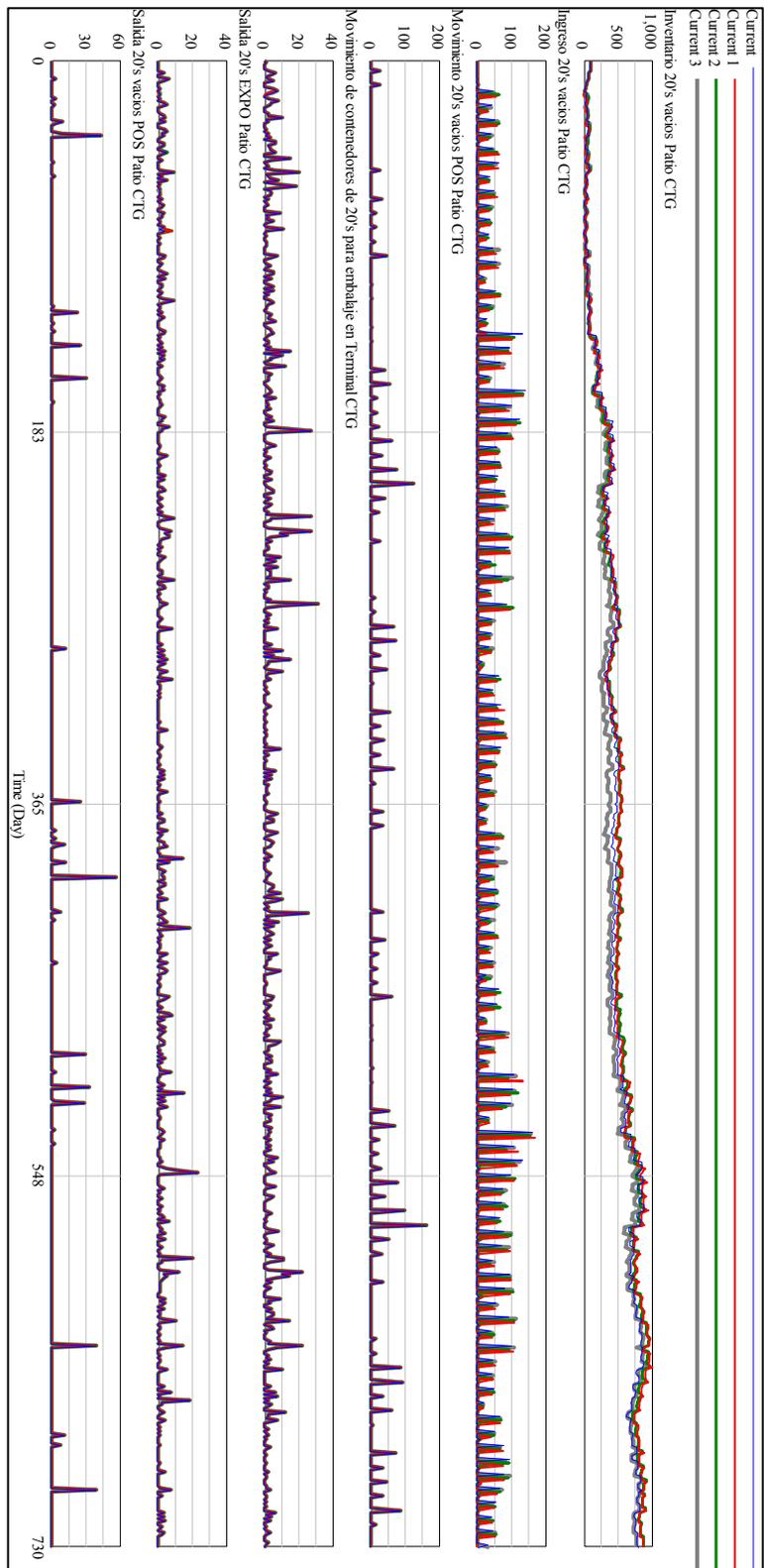
## Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Buenaventura: Contenedores de 20 pies



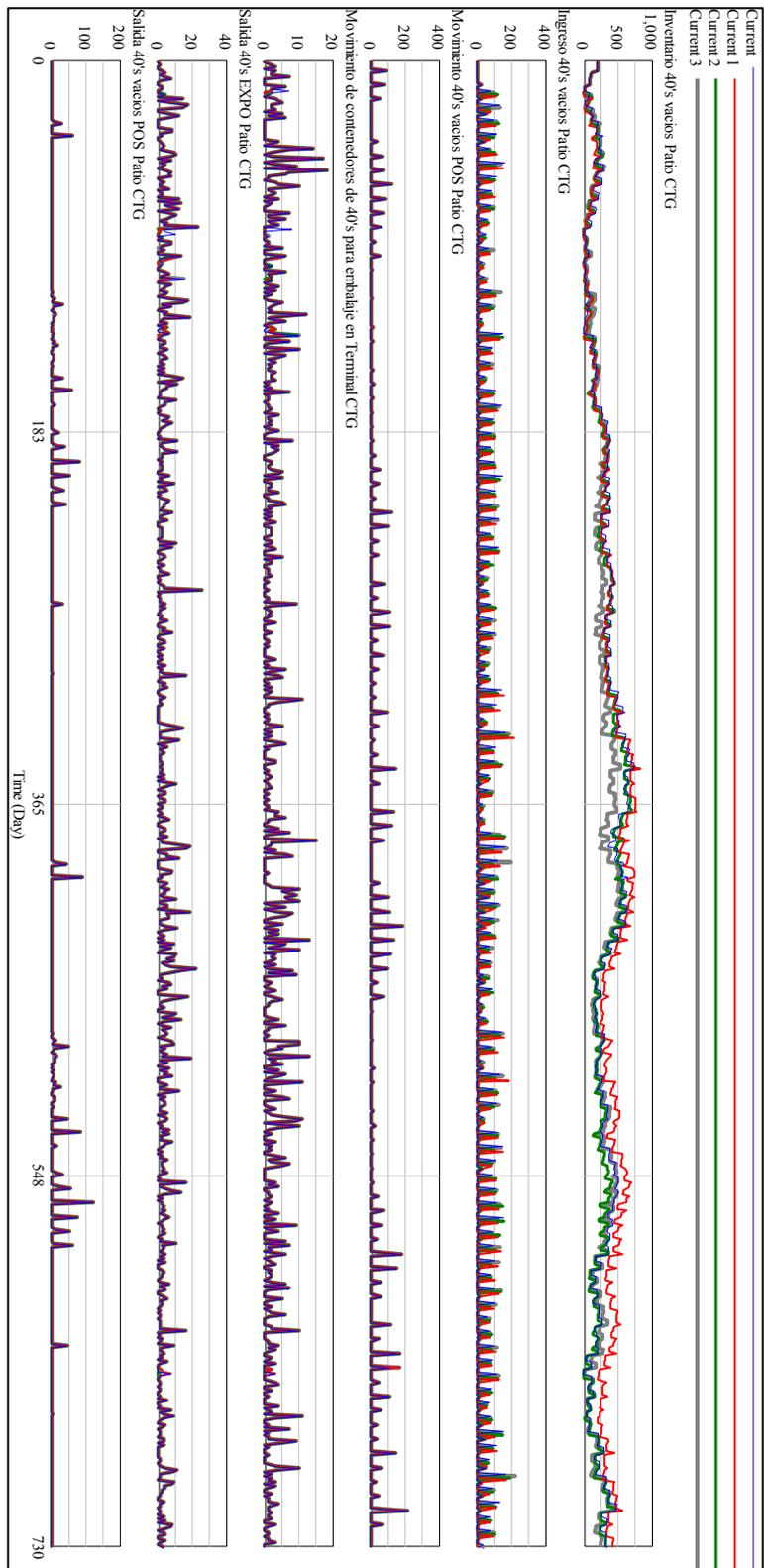
## Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Buenaventura: Contenedores de 40 pies



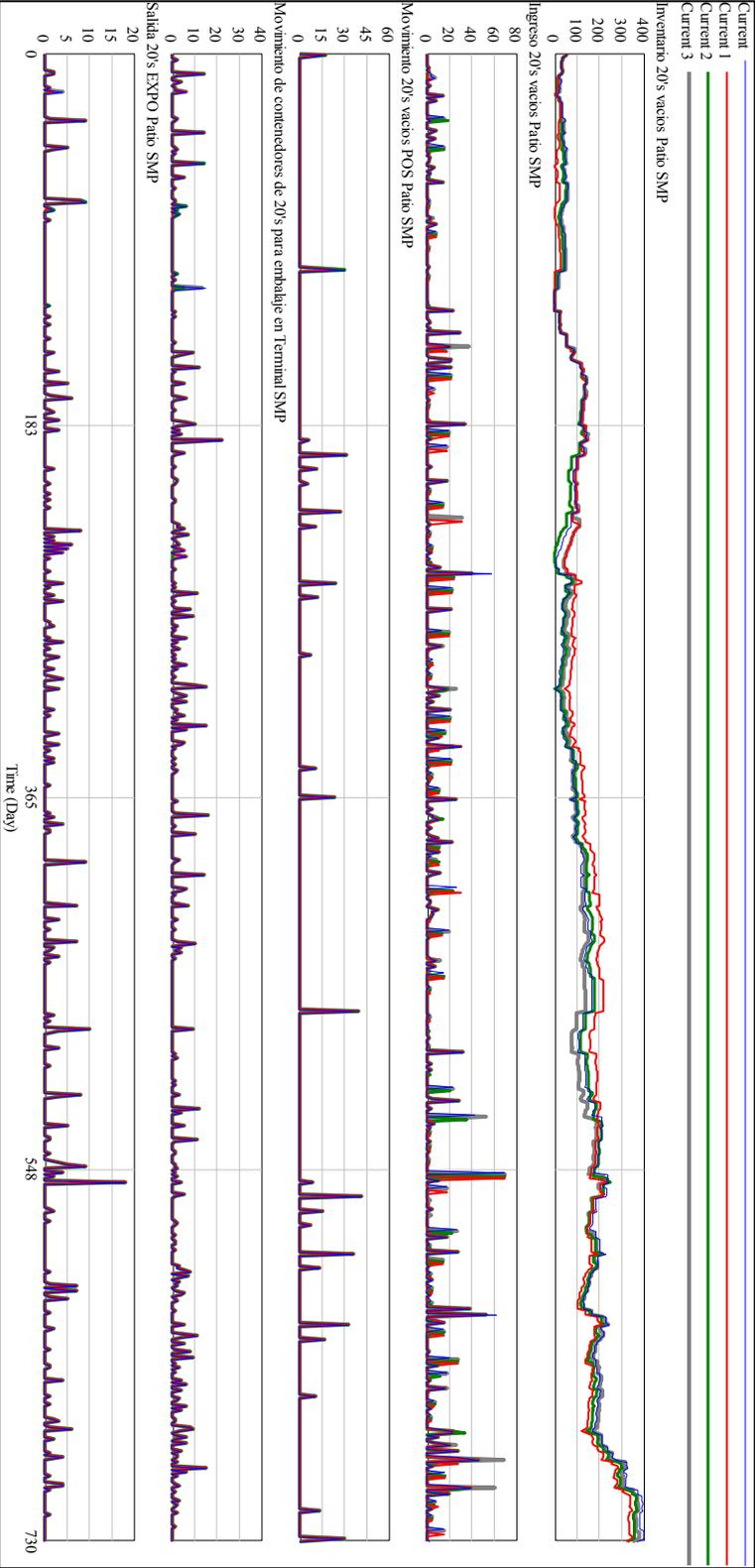
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Cartagena: Contenedores de 20 pies



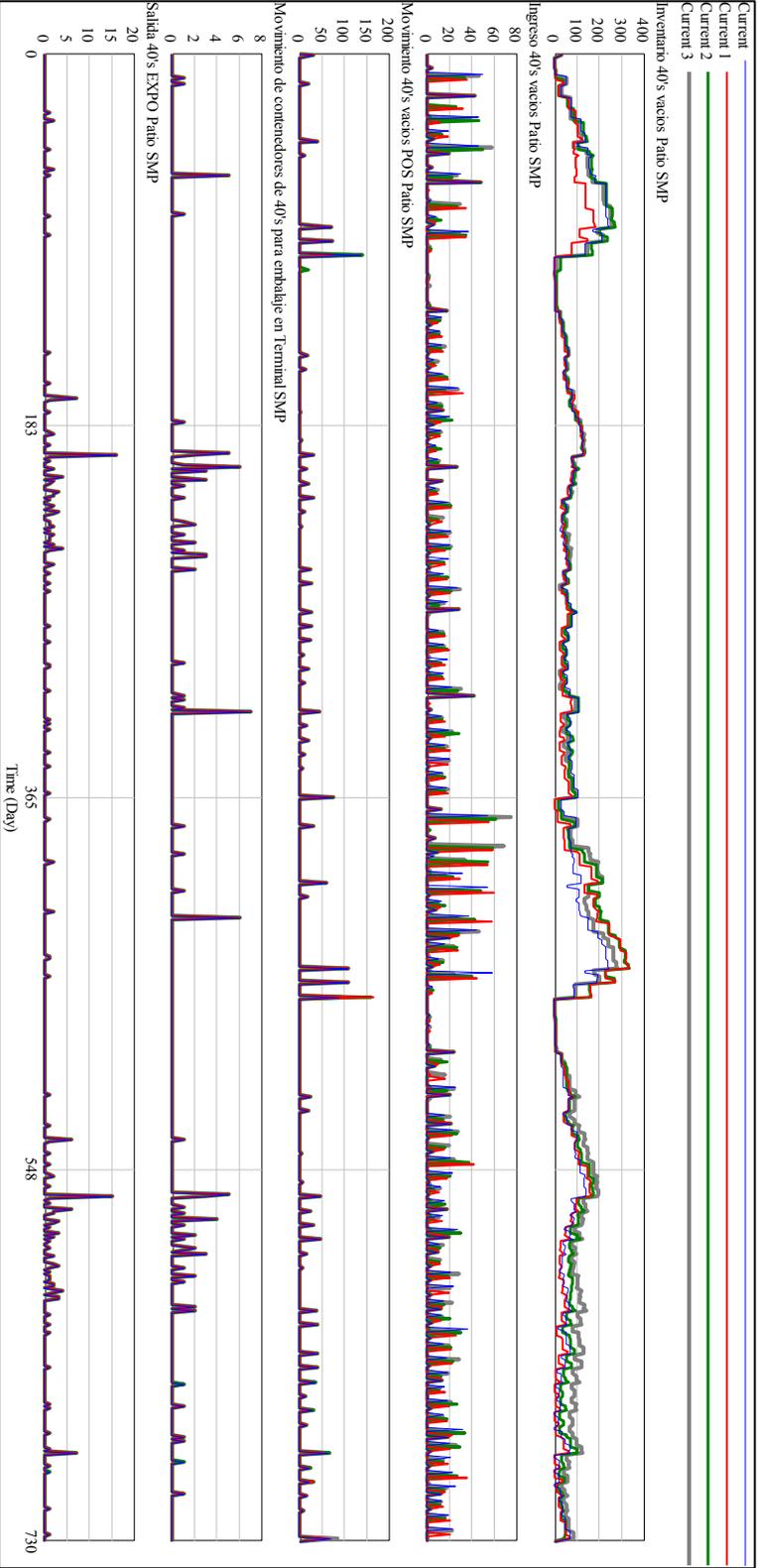
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Cartagena: Contenedores de 40 pies



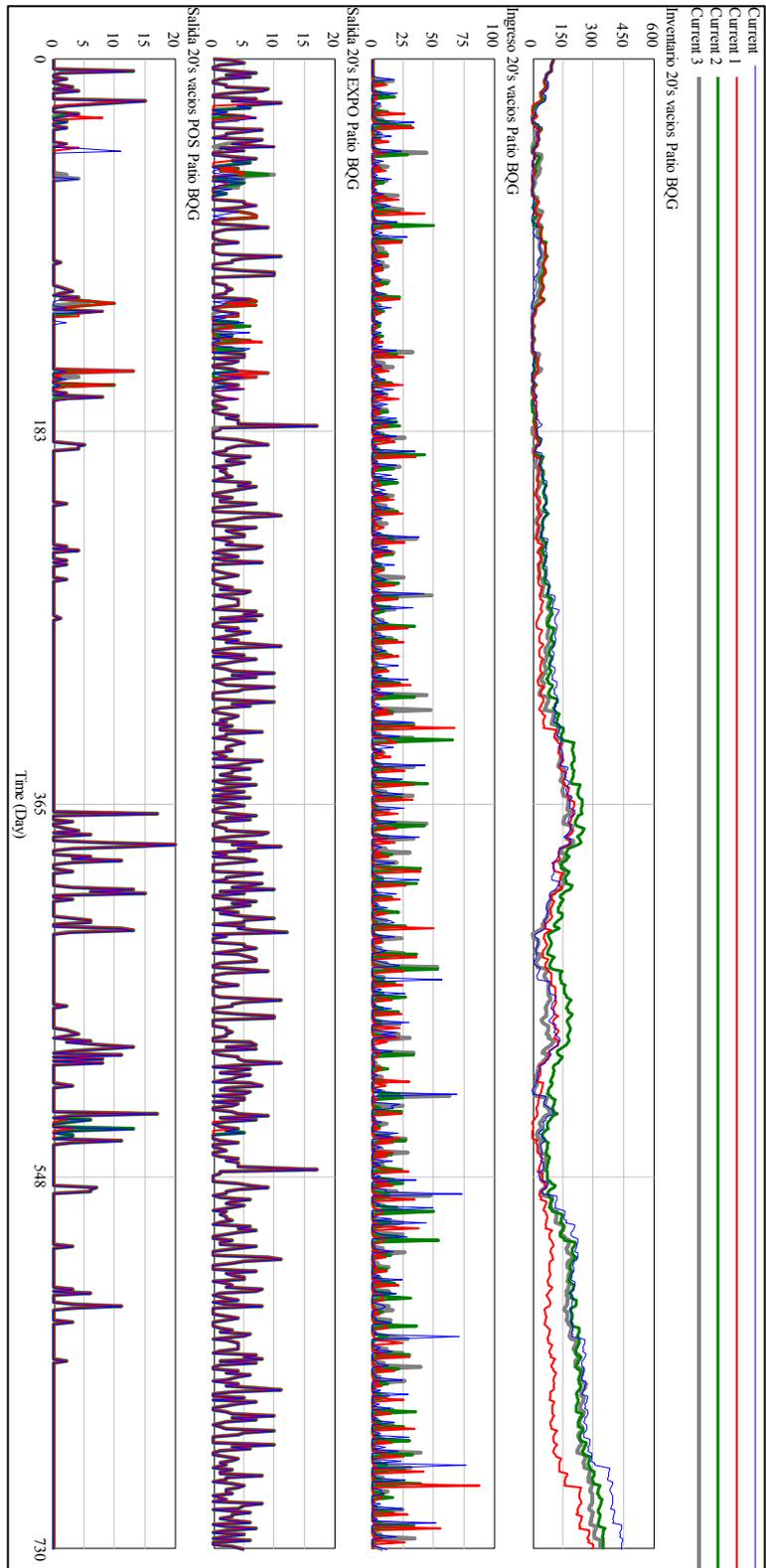
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Santa Marta: Contenedores de 20 pies



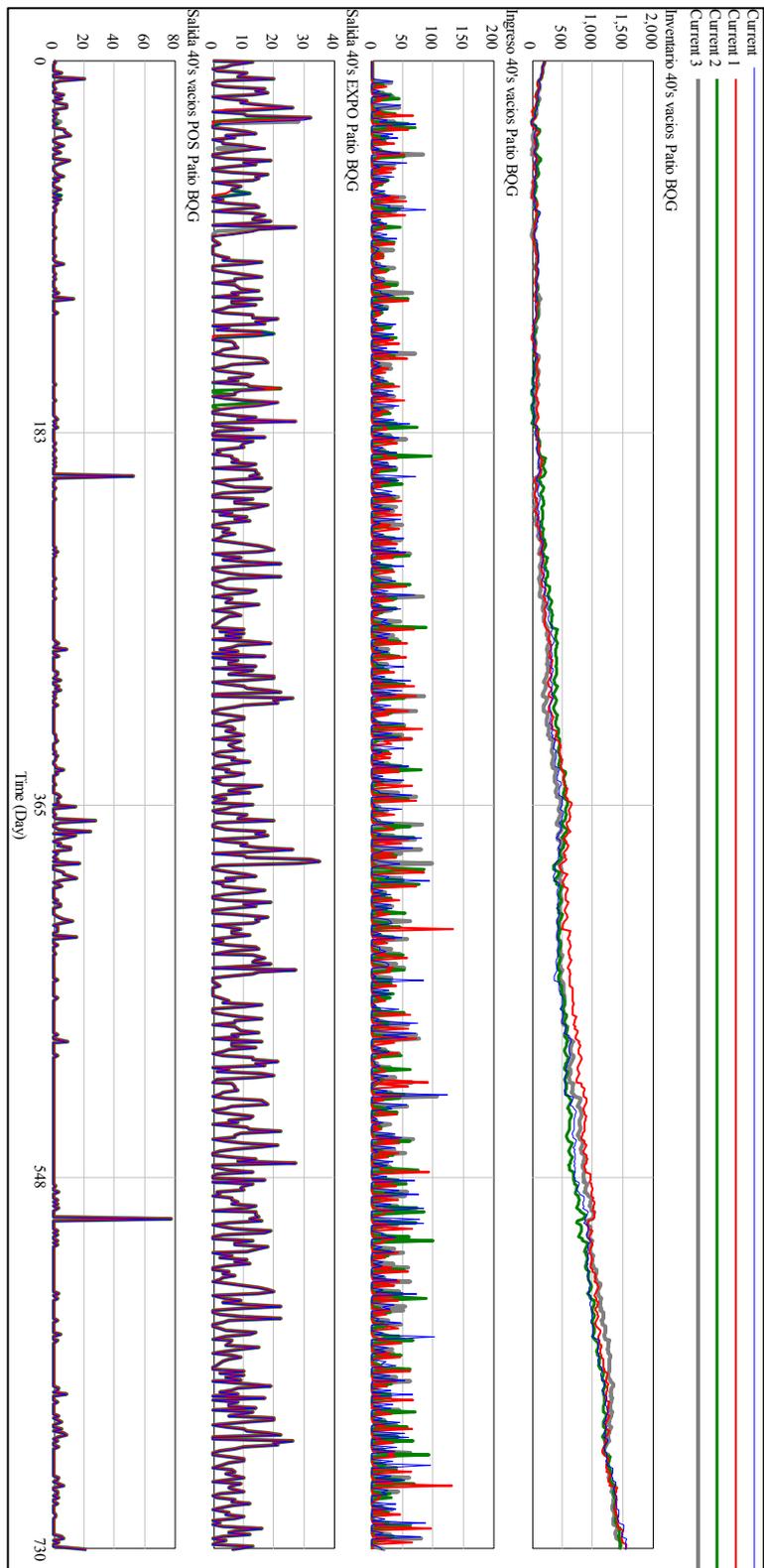
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Santa Marta: Contenedores de 40 pies



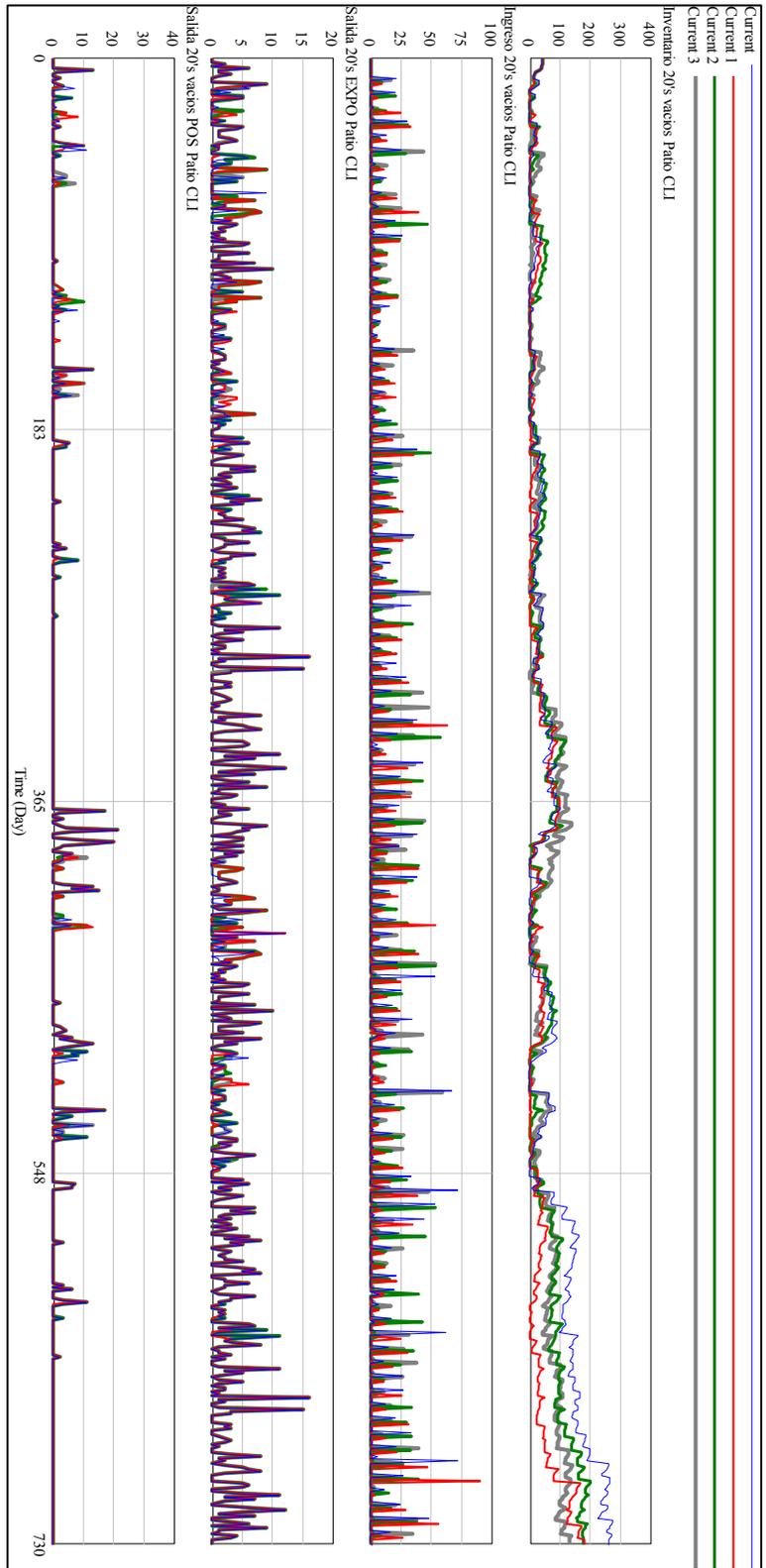
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Bogotá: Contenedores de 20 pies



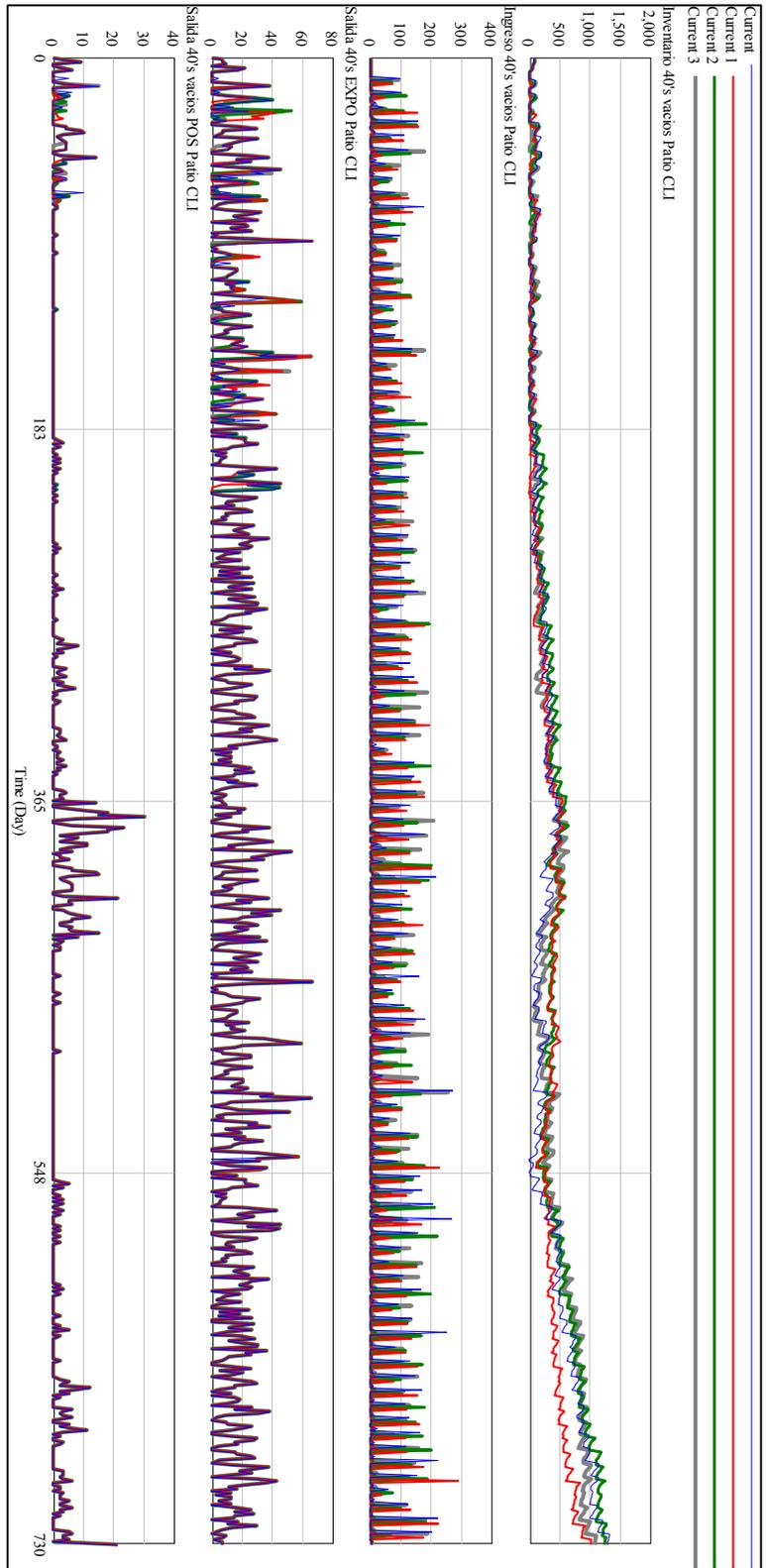
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Bogotá: Contenedores de 40 pies



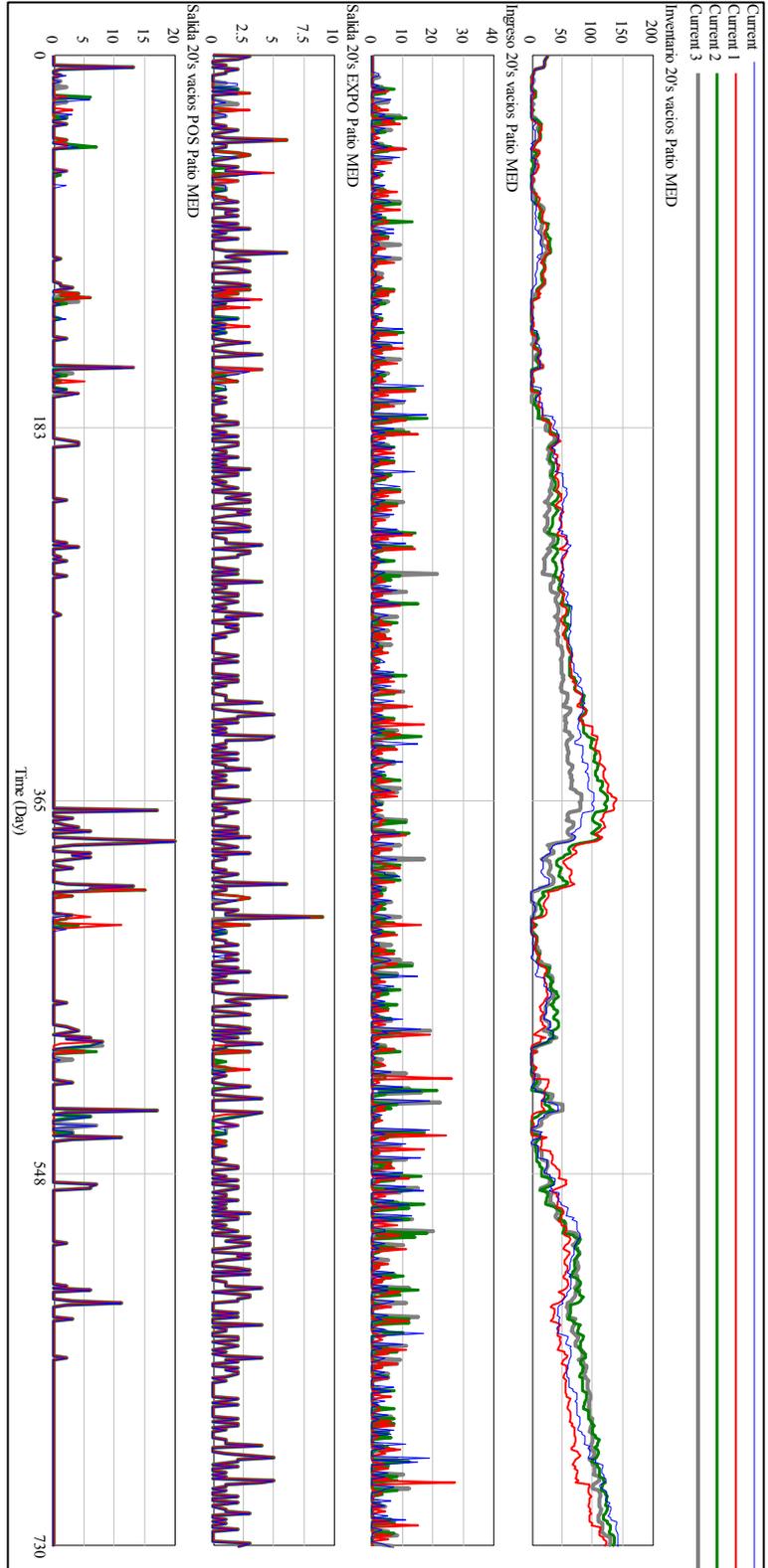
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Cali: Contenedores de 20 pies



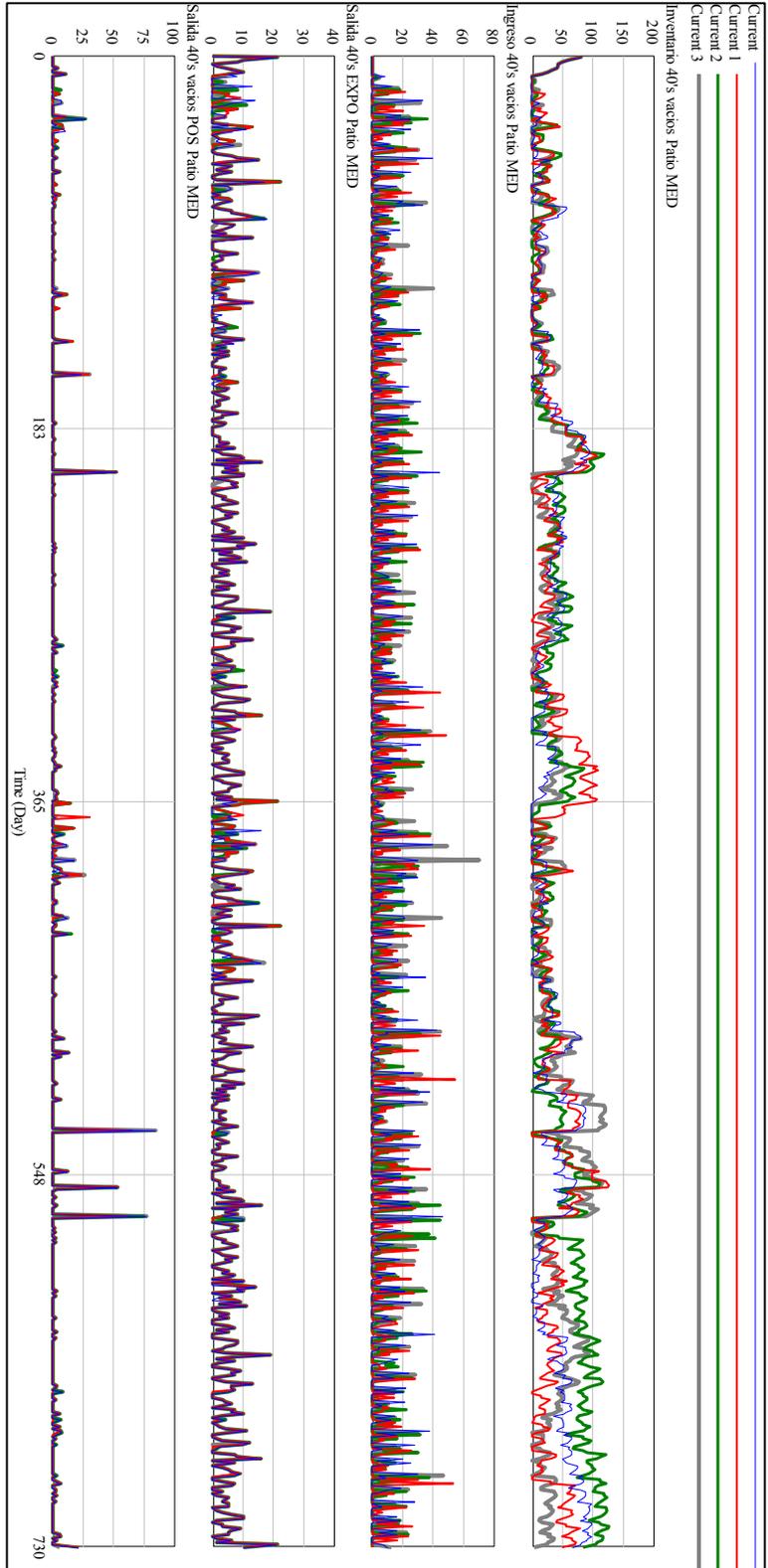
# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Cali: Contenedores de 40 pies



# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Medellín: Contenedores de 20 pies



# Niveles de Inventario y Tasas para el Patio de Medellín: Contenedores de 40 pies



## Anexo 6. Resultados de las corridas de Simulación

### Escenario 1 – Política 1

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	219605.77	394284.11	3528230	5468356	1434908	1492252.5	676900	787272	584420	669900	95.21%	95.12%
2100	2	133382.17	280468.52	3357265	5314537	1441336	1488233.5	648929	758987	601860	675940	95.49%	95.56%
2500	3	92609.1	189469.24	3877403	5989800	1416899	1489709.5	624426	786147	554680	682240	93.94%	95.18%
3100	4	74280.72	209588.06	3959299	6325561	1415139	1489723.5	620746	762362	574960	624680	93.94%	93.80%
3400	5	140486.41	391023.78	3767439	5611255	1423161	1491286.5	634961	769137	609660	686100	94.46%	96.44%
4500	6	157233.95	475212.17	3477763	5127898	1434093.5	1490331.5	651097	788197	602880	714100	94.95%	96.55%
5100	7	216610.7	598558.17	3505799	5038170	1430299.5	1491897.5	643983	834372	611660	718780	95.17%	96.66%
5300	8	217272.3	605800.64	3568563	5207716	1427545.5	1490584.5	681883	812052	617940	676360	95.24%	96.22%
5800	9	241159.66	330784.22	3687968	5744178	1420815.5	1488456.5	664162	747782	596060	653460	95.20%	95.41%
6100	10	217575.52	716229.8	3691941	5251398	1428729	1494378.5	658940	814107	633340	689160	95.04%	96.63%
6500	11	167266.94	504241.44	3572139	5140239	1424738.5	1489278	648281	801367	625580	664600	95.24%	95.29%
6900	12	212011.23	459381.95	3591410	5508063	1426505	1489155.5	659551	792727	581880	664660	95.02%	94.49%
7400	13	169969.86	370941.33	3598582	5667224	1427740	1492016.5	646885	758637	600280	679540	95.43%	95.20%
8900	14	162557.02	265671.73	3523273	5265026	1430976.5	1492038.5	632731	763197	598600	693340	95.04%	95.74%
9400	15	205574.31	304056.88	3386232	5423440	1439540.5	1490969.5	652973	824322	602720	714560	95.11%	95.66%
Promedio		175173.044	406380.803	3606220.4	5472190.7	1428161.77	1490687.467	649763.2	786711	599768	680494.667	94.97%	95.60%

### Escenario 1 – Política 2

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	274285.31	588853.06	3388229	5080222	1437076	1492751.5	679585	791712	618920	665840	95.82%	96.34%
2100	2	168824.34	380704.53	3534399	5811961	1417955.5	1490454.5	630389	766142	568160	709940	94.79%	95.44%
2500	3	231886.48	448824.33	3802534	5660915	1420031	1492817.5	635099	801717	617500	679220	95.28%	95.64%
3100	4	90074.62	315416.51	3722537	5923609	1423770	1489717.5	626834	781652	590600	676420	94.70%	95.87%
3400	5	281907.34	539383.97	3563818	5412678	1428657.5	1491175.5	646005	782827	621500	701120	95.87%	96.31%
4500	6	194555.52	579866.92	3551748	5573989	1425884	1490040.5	642723	788477	602540	662660	95.25%	95.38%
5100	7	221507.58	687192.42	3290467	4918353	1434730	1493235.5	654099	828987	628660	696440	96.57%	96.26%
5300	8	281992.66	500989.03	3392125	5250236	1440883.5	1487133.5	661104	804042	616000	705040	95.68%	96.16%
5800	9	272447.28	320577.34	3427335	5524408	1442041.5	1484480.5	683931	737592	615680	631000	95.52%	94.87%
6100	10	227237.64	593844.67	3552890	5183851	1434482.5	1489469.5	662845	819067	609520	686000	95.68%	96.33%
6500	11	247872.69	560785.69	3407838	4787797	1436298.5	1497584.5	652794	811537	626900	669000	95.99%	96.66%
6900	12	275759.59	680316.09	3466911	5062566	1431465.5	1489573.5	652648	812557	630540	688100	96.22%	96.10%
7400	13	249063.16	570773.28	3417347	5367628	1434416.5	1491944.5	656202	782777	592040	729260	95.57%	96.40%
8900	14	124026.35	475031.27	3473540	5121983	1435563.5	1494454.5	639471	800127	614160	718040	95.51%	96.68%
9400	15	214332.95	348149.23	3248573	5276784	1440226	1491049.5	661830	812997	604680	693760	95.95%	95.57%
Promedio		223718.234	506047.223	3482686.1	5330465.3	1432232.1	1491058.833	652370.6	794814	610493.33	687456	95.63%	96.00%

### Escenario 1 – Política 3

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	285663.69	426622.25	3487544	5590320	1422003	1489972.5	657930	765472	547020	701320	94.75%	96.05%
2100	2	175375.34	252905.59	3488301	5785773	1427571	1482788.5	643393	742092	579020	673380	95.32%	95.52%
2500	3	209135.56	428644.69	3577942	5567732	1431837.5	1488311.5	642859	787907	604600	652860	95.81%	95.24%
3100	4	240387.42	623409.14	3736588	5494759	1423049.5	1492722.5	635992	792247	620920	667260	95.35%	96.68%
3400	5	235562.92	568807.27	3384668	5166151	1446833.5	1489061.5	668934	763277	613080	693100	95.93%	96.56%
4500	6	142583.47	595162.78	3483642	5385074	1426493	1491375.5	648561	783997	590920	734420	94.99%	97.13%
5100	7	268374.84	667298.59	3325740	5060934	1421906	1495084.5	638152	841622	586720	747120	95.88%	96.96%
5300	8	251901.56	563590.75	3263915	5108500	1440136	1489420.5	680396	808342	634360	679720	96.03%	95.45%
5800	9	186379.11	245864.39	3385867	5672272	1433743.5	1483396.5	684633	723142	585120	639400	95.83%	94.71%
6100	10	317840.88	816398	3424211	5017257	1437745.5	1491238.5	667242	824692	617560	704880	95.66%	97.07%
6500	11	223766.14	708730.92	3349783	4853649	1432723	1489438	645538	833097	610620	694680	96.10%	96.68%
6900	12	333372.34	602439.22	3371419	5122242	1442260	1489652.5	684762	803232	626880	634280	96.05%	95.33%
7400	13	190922.39	482007.11	3359561	5283948	1433906	1493222.5	662321	772277	598820	712720	96.23%	96.11%
8900	14	232127.09	669608.41	3510352	5144373	1427057	1492170.5	640108	786222	634220	684100	95.78%	96.21%
9400	15	292752	485877.69	3237704	5172614	1439822.5	1488008.5	671494	817412	614920	691200	96.18%	95.92%
Promedio		239076.317	542491.12	3422482.5	5295039.9	1432472.47	1489724.267	658154.3	789669	604318.67	687362.667	95.73%	96.11%

### Escenario 1 – Política 4

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	175509.45	704287.98	3305136	5184189	1435057.5	1490021.5	682852	801292	599880	696200	95.86%	96.01%
2100	2	197764.13	492137	3386901	5352600	1427695.5	1481227.5	646642	782297	626940	673100	96.29%	95.42%
2500	3	160822.69	756161.5	3519365	5122221	1432525	1495909.5	651780	819567	636540	697460	96.13%	96.76%
3100	4	190512.5	497764.88	3528112	5335128	1430044	1489391.5	645562	788372	617860	654260	96.37%	95.99%
3400	5	200899.17	506949.95	3381622	5070801	1434365	1490936.5	651052	774852	595600	681020	96.37%	96.17%
4500	6	321841.97	894261.16	3678291	5326453	1407329	1490546.5	653111	795367	618620	676300	95.94%	96.31%
5100	7	222452.28	707116.34	3128768	4845694	1434961.5	1491093.5	669765	857877	594560	718920	96.53%	96.34%
5300	8	232610.13	515167.94	3112213	4854789	1446851.5	1488489.5	697265	796187	606140	683640	96.65%	96.20%
5800	9	253106.66	400220.97	3371535	5561818	1438228.5	1475742.5	707962	747272	629120	631900	95.98%	94.99%
6100	10	149183.3	635233.14	3463629	5165255	1438727	1489737.5	670013	829672	616400	684400	95.35%	96.36%
6500	11	112113.73	457336.33	3332379	4871309	1434810.5	1487610	649887	850822	615900	707660	96.45%	96.25%
6900	12	301808.81	867653.69	3413044	4968206	1437714	1487446.5	691816	828222	635260	687340	95.92%	96.49%
7400	13	149503.72	440847.78	3417959	5314950	1422880.5	1492448.5	654775	802022	613060	675500	96.00%	96.33%
8900	14	159960.7	524390.48	3283655	5160268	1425012	1493817.5	633139	801057	598100	709600	95.44%	96.74%
9400	15	277509	737038.38	3184441	4911529	1442384	1491541.5	680049	865602	632520	694080	96.59%	96.46%
Promedio		207039.883	609104.501	3367136.7	5136347.3	1432572.37	1489064	665711.3	809365	615766.67	684758.667	96.12%	96.19%

## Escenario 2 – Política 1

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	219605.77	441367.92	3528230	5653226	1434908	1577781	676900	822184	584420	707360	95.21%	95.76%
2100	2	133382.17	319190.95	3357265	5518994	1441336	1574181	648929	793899	601860	711580	95.49%	95.98%
2500	3	92609.1	236110.74	3877403	6195705	1416899	1574881	624426	820769	554680	720580	93.94%	95.64%
3100	4	74280.72	239207.94	3959299	6528171	1415139	1575010	620746	797789	574960	658540	93.94%	94.43%
3400	5	140486.41	425360.84	3767439	5821687	1423161	1575583	634961	801324	609660	724840	94.46%	96.85%
4500	6	157233.95	522387.3	3477763	5329740	1434093.5	1574995	651097	831359	602880	753320	94.95%	96.85%
5100	7	216610.7	657931.17	3505799	5227708	1430299.5	1577381	643983	870589	611660	757660	95.17%	97.25%
5300	8	217272.3	644755.64	3568563	5379149	1427545.5	1575107	681883	843014	617940	718120	95.24%	96.89%
5800	9	241159.66	366416.91	3687968	5948282	1420815.5	1574246	664162	778544	596060	690020	95.20%	95.96%
6100	10	217575.52	767786.42	3691941	5452276	1428729	1580714	658940	847544	633340	729840	95.04%	97.06%
6500	11	167266.94	545760.75	3572139	5330702	1424738.5	1573686.5	648281	835764	625580	701020	95.24%	95.83%
6900	12	212011.23	498128.02	3591410	5692310	1426505	1574972	659551	831594	581880	701040	95.02%	95.06%
7400	13	169969.86	425235.52	3598582	5878396	1427740	1576555	646885	798309	600280	717500	95.43%	95.67%
8900	14	162557.02	308789.27	3523273	5458595	1430976.5	1576713	632731	797759	598600	732300	95.04%	96.27%
9400	15	205574.31	347009.94	3386232	5636515	1439540.5	1576864	652973	858159	602720	752200	95.11%	96.01%
Promedio		175173.044	449695.955	3606220.4	5670097.1	1428161.77	1575911.3	649763.2	821907	599768	718394.667	94.97%	96.10%

## Escenario 2 – Política 2

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	274285.31	645480.44	3388229	5272907	1437076	1578020	679585	824879	618920	703080	95.82%	96.79%
2100	2	168824.34	429322.41	3534399	6019511	1417955.5	1576170	630389	798089	568160	747640	94.79%	95.78%
2500	3	231886.48	489643.14	3802534	5838399	1420031	1577606	635099	837929	617500	719420	95.28%	96.14%
3100	4	90074.62	351834.95	3722537	6120705	1423770	1575313	626834	817489	590600	714480	94.70%	96.38%
3400	5	281907.34	578012.59	3563818	5607137	1428657.5	1575387	646005	814654	621500	740100	95.87%	96.73%
4500	6	194555.52	623912.36	3551748	5771171	1425884	1574564	642723	819149	602540	698560	95.25%	95.95%
5100	7	221507.58	736058.42	3290467	5111759	1434730	1578275	654099	864624	628660	731100	96.57%	96.69%
5300	8	281992.66	559606.91	3392125	5452466	1440883.5	1571652	661104	836534	616000	742620	95.68%	96.56%
5800	9	272447.28	355268.09	3427335	5737923	1442041.5	1569952	683931	771584	615680	666240	95.52%	95.29%
6100	10	227237.64	651311.73	3552890	5383568	1434482.5	1575572	662845	853959	609520	721040	95.68%	96.70%
6500	11	247872.69	590607.31	3407838	4994126	1436298.5	1581926	652794	839014	626900	707760	95.99%	97.00%
6900	12	275759.59	718997.78	3466911	5254751	1431465.5	1574216	652648	844004	630540	725720	96.22%	96.56%
7400	13	249063.16	625735.47	3417347	5585211	1434416.5	1576335	656202	821669	592040	767700	95.56%	96.73%
8900	14	124026.35	527867.59	3473540	5309767	1435563.5	1579761	639471	835009	614160	757960	95.51%	97.08%
9400	15	214332.95	411560.55	3248573	5473900	1440226	1575470	661830	854279	604680	731480	95.95%	96.05%
Promedio		223718.234	553014.649	3482686.1	5528886.7	1432232.1	1576014.6	652370.6	828858	610493.33	724993.333	95.63%	96.43%

### Escenario 2 – Política 3

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	285663.69	469902.06	3487544	5790195	1422003	1574835	657930	803934	547020	739940	94.75%	96.47%
2100	2	175375.34	296487.53	3438301	5994429	1427571	1568902	643393	775979	579020	710440	95.32%	95.89%
2500	3	209135.56	488474.5	3577942	5777203	1431837.5	1572251	642859	829824	604600	688580	95.81%	95.69%
3100	4	240387.42	661194.58	3736588	5688893	1423049.5	1577602	635992	823714	620920	704580	95.35%	97.13%
3400	5	235562.92	622921.08	3384668	5356472	1446833.5	1574350	668934	800649	613080	731360	95.93%	97.08%
4500	6	142583.47	648066.34	3483642	5585218	1426493	1576489	648561	825344	590920	772540	94.99%	97.45%
5100	7	268374.84	733878.66	3325740	5260791	1421906	1580210	638152	877499	586720	781740	95.88%	97.25%
5300	8	251901.56	609064.25	3263915	5283232	1440136	1574619	680396	837744	634360	718380	96.03%	95.96%
5800	9	186379.11	287257.45	3385867	5874628	1433743.5	1568906	684633	757344	585120	677100	95.83%	95.31%
6100	10	317840.88	877432.63	3424211	5196547	1437745.5	1577016	667242	860289	617560	747040	95.66%	97.61%
6500	11	223766.14	763851.36	3349783	5052494	1432723	1573742.5	645538	871159	610620	728560	96.10%	97.17%
6900	12	333372.34	637495.28	3371419	5325570	1442260	1574894	684762	839089	626880	668180	96.05%	95.77%
7400	13	190922.39	535856.73	3359561	5486129	1433906	1577754	662321	807744	598820	752540	96.23%	96.50%
8900	14	232127.09	724346.97	3510352	5334955	1427057	1577112	640108	824639	634220	722680	95.78%	96.70%
9400	15	292752	546816.19	3237704	5353713	1439822.5	1574210	671494	856974	614920	730740	96.18%	96.41%
Promedio		239076.317	593536.374	3422482.5	5490697.9	1432472.47	1574859.5	658154.3	826128	604318.67	724960	95.73%	96.56%

### Escenario 2 – Política 4

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	175509.45	754403.23	3305136	5374166	1435057.5	1575149	682852	836329	599880	733420	95.86%	96.43%
2100	2	197764.13	537933.94	3386901	5536113	1427695.5	1567487	646642	814904	626940	711860	96.29%	96.02%
2500	3	160822.69	816760.13	3519365	5308143	1432525	1580348	651780	864234	636540	736700	96.13%	97.14%
3100	4	190512.5	548130.63	3528112	5537024	1430044	1574551	645562	824009	617860	689840	96.37%	96.48%
3400	5	200899.17	562987.89	3381622	5245716	1434365	1575218	651052	809444	595600	719420	96.37%	96.74%
4500	6	321841.97	947491.91	3678291	5517914	1407329	1576254	653111	832069	618620	711580	95.94%	96.73%
5100	7	222452.28	764778.78	3128768	5034877	1434961.5	1577306	669765	892674	594560	756880	96.53%	96.71%
5300	8	232610.13	572030.25	3112213	5046209	1446851.5	1574093	697265	832399	606140	719340	96.65%	96.64%
5800	9	253106.66	425520.66	3371535	5786842	1438228.5	1559922	707962	778964	629120	665700	95.98%	95.41%
6100	10	149183.3	674131.33	3463629	5355267	1438727	1576072	670013	862324	616400	720000	95.35%	96.70%
6500	11	112113.73	502239.89	3332379	5072292	1434810.5	1572301.5	649887	876334	615900	745860	96.45%	96.60%
6900	12	301808.81	927851.19	3413044	5141015	1437714	1573319	691816	859314	635260	724680	95.92%	96.88%
7400	13	149503.72	486988.41	3417959	5506240	1422880.5	1577289	654775	841724	613060	713780	96.00%	96.81%
8900	14	159960.7	587417.05	3283655	5336819	1425012	1579313	633139	834479	598100	748520	95.44%	97.27%
9400	15	277509	794570.88	3184441	5120764	1442384	1577495	680049	897294	632520	729960	96.59%	96.72%
Promedio		207039.883	660215.745	3367136.7	5327960.1	1432572.37	1574407.833	665711.3	843766	615766.67	721836	96.12%	96.62%

### Escenario 3 – Política 1

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	219605.77	1940981.48	3528230	6679557	1434908	1953811.5	676900	1040370	584420	762900	95.21%	98.12%
2100	2	133382.17	1717564.45	3357265	6558284	1441336	1960764	648929	1007659	601860	763140	95.49%	97.86%
2500	3	92609.1	1815819.4	3877403	7382821	1416899	1955464.5	624426	1035210	554680	778140	93.94%	96.88%
3100	4	74280.72	1761479.66	3959299	7675879	1415139	1925108.5	620746	1017260	574960	710020	93.94%	96.90%
3400	5	140486.41	1854504.84	3767439	6899497	1423161	1963747	634961	1003441	609660	780420	94.46%	98.34%
4500	6	157233.95	1996080.05	3477763	6432610	1434093.5	1953726.5	651097	1062084	602880	808320	94.95%	98.67%
5100	7	216610.7	2131658.55	3505799	6325097	1430299.5	1988360	643983	1134799	611660	811920	95.17%	98.66%
5300	8	217272.3	1992035.45	3568563	6392027	1427545.5	1977501.5	681883	1057385	617940	767880	95.24%	98.75%
5800	9	241159.66	1795287.59	3687968	6989130	1420815.5	1959874	664162	985185	596060	741860	95.20%	97.87%
6100	10	217575.52	2255563.23	3691941	6531728	1428729	1981523	658940	1073946	633340	783120	95.04%	98.41%
6500	11	167266.94	1967507.81	3572139	6370648	1424738.5	1956332.5	648281	1070430	625580	755120	95.24%	98.12%
6900	12	212011.23	2004220.02	3591410	6707071	1426505	1958062	659551	1057495	581880	758340	95.02%	97.74%
7400	13	169969.86	1975685.14	3598582	6963302	1427740	1945711	646885	1018034	600280	771260	95.43%	97.78%
8900	14	162557.02	1816276.73	3523273	6558689	1430976.5	1960127.5	632731	1030337	598600	789400	95.04%	97.81%
9400	15	205574.31	1862592.94	3386232	6744642	1439540.5	1972447	652973	1089193	602720	808260	95.11%	97.82%
Promedio		175173.044	1925817.16	3606220.4	6747398.8	1428161.77	1960837.367	649763.2	1045522	599768	772673.333	94.97%	97.98%

### Escenario 3 – Política 2

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	274285.31	2101369.19	3388229	6299864	1437076	1980033	679585	1052967	618920	760680	95.82%	98.59%
2100	2	168824.34	1877825.66	3534399	7079299	1417955.5	1957367	630389	1017802	568160	806280	94.79%	97.97%
2500	3	231886.48	1948525.27	3802534	6928246	1420031	1959681	635099	1070817	617500	775280	95.28%	98.19%
3100	4	90074.62	1873244.01	3722537	7176774	1423770	1960843.5	626834	1050398	590600	771060	94.70%	98.24%
3400	5	281907.34	2099363.41	3563818	6790826	1428657.5	1951640.5	646005	1020641	621500	797180	95.87%	98.57%
4500	6	194555.52	2174637.98	3551748	6906980	1425884	1941769.5	642723	1039786	602540	752040	95.25%	97.74%
5100	7	221507.58	2161771.67	3290467	6080703	1434730	1982029.5	654099	1100398	628660	787420	96.57%	98.30%
5300	8	281992.66	2041278.59	3392125	6586717	1440883.5	1957668.5	661104	1034943	616000	800100	95.68%	98.27%
5800	9	272447.28	1781057.84	3427335	6792477	1442041.5	1929747	683931	976209	615680	718180	95.52%	97.89%
6100	10	227237.64	2065754.86	3552890	6445377	1434482.5	1966666.5	662845	1073090	609520	778940	95.68%	98.53%
6500	11	247872.69	2057931.31	3407838	6019325	1436298.5	1983391	652794	1071171	626900	766420	95.99%	98.64%
6900	12	275759.59	2049650.91	3466911	6277467	1431465.5	1979013	652648	1069806	630540	782480	96.22%	98.67%
7400	13	249063.16	2196273.09	3417347	6625999	1434416.5	1970244.5	656202	1052135	592040	824220	95.57%	98.43%
8900	14	124026.35	2072989.65	3473540	6432430	1435563.5	1962986.5	639471	1064162	614160	813560	95.51%	99.00%
9400	15	214332.95	1997688.05	3248573	6574660	1440226	1955837	661830	1104253	604680	787640	95.95%	97.73%
Promedio		223718.234	2033290.77	3482686.1	6601142.9	1432232.1	1962594.533	652370.6	1053239	610493.33	781432	95.63%	98.32%

### Escenario 3 – Política 3

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	157233.95	1996080.05	3477763	6432610	1422003	1940841	657930	1022986	547020	794800	94.75%	98.51%
2100	2	175375.34	1789874.03	3438301	7155325	1427571	1932181	643393	984725	579020	766380	95.32%	97.82%
2500	3	209135.56	2112754.19	3577942	7035080	1431837.5	1927037	642859	1047257	604600	739720	95.81%	97.64%
3100	4	240387.42	2145442.83	3736588	6801066	1423049.5	1962081.5	635992	1054510	620920	756480	95.35%	99.01%
3400	5	235562.92	2170163.33	3384668	6567987	1446833.5	1944129	668934	1000579	613080	786400	95.93%	98.85%
4500	6	142583.47	2103721.28	3483642	6599439	1426493	1985623.5	648561	1049989	590920	826780	94.99%	98.84%
5100	7	268374.84	2176508.16	3325740	6162752	1421906	1996611.5	638152	1124982	586720	840960	95.88%	98.87%
5300	8	251901.56	2086904.69	3263915	6342876	1440136	1953344.5	680396	1042665	634360	774540	96.03%	98.13%
5800	9	186379.11	1705626.39	3385867	7007138	1433743.5	1924687	684633	963972	585120	729020	95.83%	97.81%
6100	10	317840.88	2369037.63	3424211	6360949	1437745.5	1970711	667242	1074108	617560	801920	95.66%	98.80%
6500	11	223766.14	2189500.61	3349783	6057596	1432723	1973256	645538	1086645	610620	776900	96.10%	99.01%
6900	12	333372.34	2070514.41	3371419	6443961	1442260	1935609.5	684762	1053447	626880	718020	96.05%	98.25%
7400	13	190922.39	2143818.11	3359561	6562224	1433906	1971226	662321	1033158	598820	812540	96.23%	97.91%
8900	14	232127.09	2193320.91	3510352	6407327	1427057	1971907.5	640108	1045366	634220	778120	95.78%	98.45%
9400	15	292752	2052884.25	3237704	6399890	1439822.5	1945400.5	671494	1086874	614920	788340	96.18%	98.69%
Promedio		230514.334	2087076.72	3421830.4	6555748	1432472.47	1955643.1	658154.3	1044751	604318.67	779394.667	95.73%	98.44%

### Escenario 3 – Política 4

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	175509.45	2271362.55	3305136	6396135	1435057.5	1952850	682852	1059946	599880	789440	95.86%	98.39%
2100	2	197764.13	1885749.63	3386901	6601137	1427695.5	1941129	646642	1013592	626940	765540	96.29%	98.36%
2500	3	160822.69	2335330.56	3519365	6412463	1432525	1970615.5	651780	1083660	636540	790500	96.13%	98.80%
3100	4	190512.5	2079292.5	3528112	6709242	1430044	1941472	645562	1044966	617860	741200	96.37%	98.64%
3400	5	200899.17	2079663.58	3381622	6350077	1434365	1943033	651052	1012492	595600	776400	96.37%	98.60%
4500	6	321841.97	2363944.03	3678291	6453602	1407329	1969487.5	653111	1058716	618620	763140	95.94%	98.83%
5100	7	222452.28	2197831.72	3128768	5896201	1434961.5	1993654.5	669765	1136082	594560	811380	96.53%	98.52%
5300	8	232610.13	2030780.63	3112213	6028548	1446851.5	1967242.5	697265	1043595	606140	772700	96.65%	98.18%
5800	9	253106.66	1824414.47	3371535	6869771	1438228.5	1922339	707962	980310	629120	717920	95.98%	97.82%
6100	10	149183.3	2166828.2	3463629	6418891	1438727	1957153	670013	1075168	616400	772340	95.35%	98.26%
6500	11	112113.73	1935021.27	3332379	6051593	1434810.5	1963333.5	649887	1080841	615900	799800	96.45%	98.59%
6900	12	301808.81	2381807.44	3413044	6249539	1437714	1966982.5	691816	1079317	635260	775220	95.92%	99.08%
7400	13	149503.72	1995197.53	3417959	6566262	1422880.5	1967153	654775	1064275	613060	765880	96.00%	98.31%
8900	14	159960.7	2135885.3	3283655	6330772	1425012	1965263	633139	1056576	598100	805500	95.44%	98.98%
9400	15	277509	2343013.25	3184441	6158239	1442384	1967131	680049	1126950	632520	785080	96.59%	98.57%
Promedio		207039.883	2135074.84	3367136.7	6366164.8	1432572.37	1959255.933	665711.3	1061099	615766.67	775469.333	96.12%	98.53%

### Escenario 4 – Política 1

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	219605.77	1618041.61	3528230	6540270	1434908	1919656.5	676900	1040370	584420	762900	95.21%	98.12%
2100	2	133382.17	1393052.95	3357265	6418978	1441336	1926609	648929	1007659	601860	763140	95.49%	97.86%
2500	3	92609.1	1500403.4	3877403	7246525	1416899	1921309.5	624426	1035210	554680	778140	93.94%	96.88%
3100	4	74280.72	1441083.91	3959299	7539595	1415139	1890953.5	620746	1017260	574960	710020	93.94%	96.90%
3400	5	140486.41	1540785.09	3767439	6764656	1423161	1929592	634961	1003441	609660	780420	94.46%	98.34%
4500	6	157233.95	1674588.17	3477763	6295417	1434093.5	1919571.5	651097	1062084	602880	808320	94.95%	98.67%
5100	7	216610.7	1812405.92	3505799	6188010	1430299.5	1954205	643983	1134799	611660	811920	95.17%	98.66%
5300	8	217272.3	1673191.58	3568563	6254834	1427545.5	1943346.5	681883	1057385	617940	767880	95.24%	98.75%
5800	9	241159.66	1474764.09	3687968	6852489	1420815.5	1925719	664162	985185	596060	741860	95.20%	97.87%
6100	10	217575.52	1938511.48	3691941	6393776	1428729	1947368	658940	1073946	633340	783120	95.04%	98.41%
6500	11	167266.94	1646211.69	3572139	6235859	1424738.5	1922177.5	648281	1070430	625580	755120	95.24%	98.12%
6900	12	212011.23	1675752.02	3591410	6564072	1426505	1923907	659551	1057495	581880	758340	95.02%	97.74%
7400	13	169969.86	1658305.14	3598582	6828333	1427740	1911556	646885	1018034	600280	771260	95.43%	97.78%
8900	14	162557.02	1495004.61	3523273	6420314	1430976.5	1925972.5	632731	1030337	598600	789400	95.04%	97.81%
9400	15	205574.31	1544353.31	3386232	6608885	1439540.5	1938292	652973	1089193	602720	808260	95.11%	97.82%
Promedio		175173.044	1605763.66	3606220.4	6610134.2	1428161.77	1926682.367	649763.2	1045522	599768	772673.333	94.97%	97.98%

### Escenario 4 – Política 2

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	274285.31	1778440.81	3388229	6161285	1437076	1945878	679585	1052967	618920	760680	95.82%	98.59%
2100	2	168824.34	1553205.41	3534399	6941122	1417955.5	1923212	630389	1017802	568160	806280	94.79%	97.97%
2500	3	231886.48	1633129.64	3802534	6790772	1420031	1925526	635099	1070817	617500	775280	95.28%	98.19%
3100	4	90074.62	1552796.63	3722537	7039801	1423770	1926688.5	626834	1050398	590600	771060	94.70%	98.24%
3400	5	281907.34	1785575.03	3563818	6657725	1428657.5	1917485.5	646005	1020641	621500	797180	95.87%	98.57%
4500	6	194555.52	1853081.48	3551748	6767928	1425884	1907614.5	642723	1039786	602540	752040	95.25%	97.74%
5100	7	221507.58	1842555.42	3290467	5941156	1434730	1947874.5	654099	1100398	628660	787420	96.57%	98.30%
5300	8	281992.66	1722430.72	3392125	6446655	1440883.5	1923513.5	661104	1034943	616000	800100	95.68%	98.27%
5800	9	272447.28	1460485.72	3427335	6655225	1442041.5	1895592	683931	976209	615680	718180	95.52%	97.89%
6100	10	227237.64	1748662.86	3552890	6309406	1434482.5	1932511.5	662845	1073090	609520	778940	95.68%	98.53%
6500	11	247872.69	1736527.56	3407838	5879988	1436298.5	1949236	652794	1071171	626900	766420	95.99%	98.64%
6900	12	275759.59	1721186.66	3466911	6136592	1431465.5	1944858	652648	1069806	630540	782480	96.22%	98.67%
7400	13	249063.16	1878980.09	3417347	6491582	1434416.5	1936089.5	656202	1052135	592040	824220	95.57%	98.43%
8900	14	124026.35	1751642.02	3473540	6295037	1435563.5	1928831.5	639471	1064162	614160	813560	95.51%	99.00%
9400	15	214332.95	1679452.17	3248573	6441321	1440226	1921682	661830	1104253	604680	787640	95.95%	97.73%
Promedio		223718.234	1713210.15	3482686.1	6463706.3	1432232.1	1928439.533	652370.6	1053239	610493.33	781432	95.63%	98.32%

### Escenario 4 – Política 3

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	214332.95	1679452.17	3248573	6441321	1440226	1921682	661830	1104253	604680	787640	95.95%	97.73%
2100	2	175375.34	1465177.66	3438301	7015912	1427571	1898026	643393	984725	579020	766380	95.32%	97.82%
2500	3	209135.56	1797434.19	3577942	6898135	1431837.5	1892882	642859	1047257	604600	739720	95.81%	97.64%
3100	4	240387.42	1824919.83	3736588	6662602	1423049.5	1927926.5	635992	1054510	620920	756480	95.35%	99.01%
3400	5	235562.92	1856312.33	3384668	6430362	1446833.5	1909974	668934	1000579	613080	786400	95.93%	98.85%
4500	6	142583.47	1782145.53	3483642	6462274	1426493	1951468.5	648561	1049989	590920	826780	94.99%	98.84%
5100	7	268374.84	1857235.91	3325740	6022929	1421906	1962456.5	638152	1124982	586720	840960	95.88%	98.87%
5300	8	251901.56	1768064.44	3263915	6206132	1440136	1919189.5	680396	1042665	634360	774540	96.03%	98.13%
5800	9	186379.11	1385078.27	3385867	6872901	1433743.5	1890532	684633	963972	585120	729020	95.83%	97.81%
6100	10	317840.88	2051893.63	3424211	6223163	1437745.5	1936556	667242	1074108	617560	801920	95.66%	98.80%
6500	11	223766.14	1868140.86	3349783	5918805	1432723	1939101	645538	1086645	610620	776900	96.10%	99.01%
6900	12	333372.34	1742049.78	3371419	6302647	1442260	1901454.5	684762	1053447	626880	718020	96.05%	98.25%
7400	13	190922.39	1826465.73	3359561	6425127	1433906	1937071	662321	1033158	598820	812540	96.23%	97.91%
8900	14	232127.09	1872032.66	3510352	6271095	1427057	1937752.5	640108	1045366	634220	778120	95.78%	98.45%
9400	15	292752	1734616.38	3237704	6263974	1439822.5	1911245.5	671494	1086874	614920	788340	96.18%	98.69%
Promedio		234320.934	1767401.29	3406551.1	6427825.3	1433687.33	1922487.833	658414.3	1050169	608162.67	778917.333	95.81%	98.39%

### Escenario 4 – Política 4

Semilla	Corrida	Costo Almacenamiento		Costo LEASE		Costo MANIPULACION		Costo Transporte terrestre		Ingreso por concepto de Drop Off		Nivel de Servicio Demanda Expo.	
		Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
1700	1	175509.45	1948414.55	3305136	6256096	1435057.5	1918695	682852	1059946	599880	789440	95.86%	98.39%
2100	2	197764.13	1561017.75	3386901	6458737	1427695.5	1906974	646642	1013592	626940	765540	96.29%	98.36%
2500	3	160822.69	2019829.81	3519365	6271963	1432525	1936460.5	651780	1083660	636540	790500	96.13%	98.80%
3100	4	190512.5	1758821	3528112	6570311	1430044	1907317	645562	1044966	617860	741200	96.37%	98.64%
3400	5	200899.17	1765711.45	3381622	6211149	1434365	1908878	651052	1012492	595600	776400	96.37%	98.60%
4500	6	321841.97	2042343.28	3678291	6315080	1407329	1935332.5	653111	1058716	618620	763140	95.94%	98.83%
5100	7	222452.28	1878479.22	3128768	5757195	1434961.5	1959499.5	669765	1136082	594560	811380	96.53%	98.52%
5300	8	232610.13	1711932.38	3112213	5888742	1446851.5	1933087.5	697265	1043595	606140	772700	96.65%	98.18%
5800	9	253106.66	1503802.34	3371535	6732420	1438228.5	1888184	707962	980310	629120	717920	95.98%	97.82%
6100	10	149183.3	1849755.7	3463629	6283805	1438727	1922998	670013	1075168	616400	772340	95.35%	98.26%
6500	11	112113.73	1607793.14	3332379	5906660	1434810.5	1929618.5	649887	1080841	615900	799800	96.45%	98.59%
6900	12	301808.81	2053343.94	3413044	6104860	1437714	1932827.5	691816	1079317	635260	775220	95.92%	99.08%
7400	13	149503.72	1677869.28	3417959	6430329	1422880.5	1932998	654775	1064275	613060	765880	96.00%	98.31%
8900	14	159960.7	1814425.8	3283655	6191761	1425012	1931108	633139	1056576	598100	805500	95.44%	98.98%
9400	15	277509	2024720.5	3184441	6020621	1442384	1932976	680049	1126950	632520	785080	96.59%	98.57%
Promedio		207039.883	1814550.68	3367136.7	6226648.6	1432572.37	1925130.267	665711.3	1061099	615766.67	775469.333	96.12%	98.53%