



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA
ASISTIR DECISIONES EN LA OPERACIÓN DE CONTENEDORES VACÍOS EN
UNA EMPRESA NAVIERA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE
OPERACIONES

CRISTIÁN ALBERTO BERNER BENSAN.

PROFESOR GUIA:
SR. RAFAEL EPSTEIN NUMHAUSER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
SR. ANDRES WEINTRAUB POHORILLE
SR. PABLO ANDRES REY
SR. MAXIMO BOSCH PASALACQUA

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE, 2007



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA
ASISTIR DECISIONES EN LA OPERACIÓN DE CONTENEDORES VACÍOS EN
UNA EMPRESA NAVIERA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE
OPERACIONES**

CRISTIÁN ALBERTO BERNER BENSAN.

**PROFESOR GUIA:
SR. RAFAEL EPSTEIN NUMHAUSER**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN
SR. ANDRES WEINTRAUB POHORILLE
SR. PABLO ANDRES REY
SR. MAXIMO BOSCH PASALACQUA**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE, 2007**

Resumen

La Compañía Sudamericana de Vapores ofrece servicios de movimiento de carga intermodal, principalmente mediante contenedores, usando para su transporte distintos medios como barcos, camiones, barcazas y trenes.

El servicio típico que ofrece la empresa, se inicia prestando un contenedor vacío a un cliente para que éste lo cargue. Posteriormente, recibe la carga y la transporta hacia el destino pactado usando los distintos medios disponibles. Una vez en destino, la carga es retirada del contenedor, quedando éste vacío, libre para satisfacer un nuevo ciclo de demanda.

La diferencia entre demanda y devolución de contenedores vacíos por parte de los clientes que se enfrentan a cada localidad, se traduce en un desbalance comercial. Para corregirlo, la empresa debe reposicionar contenedores vacíos desde las localidades superavitarias hacia las que presentan déficit usando los mismos medios que para el transporte de carga, compartiendo su capacidad o bien incorporando contenedores a la flota en localidades con necesidad y devolviéndolos en localidades con superávit.

Programar las operaciones resulta difícil, por el alto número de variables involucradas, la incertidumbre en la demanda, la devolución, las rutas y las capacidades para el transporte de contenedores. Una vez pronosticadas las variables anteriores, se determina la forma más económica de satisfacer las necesidades proyectadas, decidiendo el número de contenedores a mantener en la flota y la cantidad de equipos vacíos a reposicionar. Encontrar las mejores decisiones para este problema en forma manual es muy difícil dado el alto número de variables y posibles escenarios.

En este trabajo, se expone la creación e implementación de un sistema de gestión computacional basado en un modelo de optimización que permite asistir el proceso de toma de decisiones respecto de la cantidad de contenedores a utilizar en flota y del reposicionamiento de contenedores vacíos a futuro.

El modelo analiza 500.000 variables respetando 120.000 restricciones y demora cerca de 30 minutos en encontrar una solución óptima para cada instancia. Tiene como función objetivo minimizar el costo de operación de la compañía a un horizonte de seis meses.

La dimensión del problema se debe a que el modelo resuelve la operación futura de los 325.000 contenedores que la empresa utiliza para su operación diaria en un total de 600 puertos de comercialización que se comunican entre sí a través de 30 rutas marítimas preestablecidas para el transporte de equipos tanto llenos como vacíos.

Para estimar los beneficios que esta herramienta entregaría a la empresa, se utilizó el sistema de optimización para planificar un período conocido. El beneficio en este caso fue del 20% de ahorro en los costos de operación. Este número es una cota superior de lo que se obtendrá en la práctica, debido a que se utilizó un escenario determinístico para la optimización.

Agradecimientos

En esta instancia que cierra una de las etapas más importantes de mi vida, encuentro oportuno agradecer a quienes me apoyaron durante el largo camino que recorrí.

Primero quiero agradecer a mis padres y hermanos por su cariño y enseñanza. Gracias mamá por siempre haberme mostrado que el mundo puede llegar a ser lo que yo construya de él.

Muchas gracias también a los profesores Andrés Weintraub, Rafael Epstein, Pablo Rey, Denis Sauré y otros tantos que contribuyeron en mi educación aún más allá de lo académico, junto con entregarme la confianza para participar en parte de su trabajo diario.

A Andrés Neely, Jaime Catalán, por hacer que el día a día fuera arduo y lleno de aprendizaje, pero siempre divertido.

A la Compañía Sudamericana de Vapores por el fabuloso proyecto del que me dejaron formar parte. En particular a Mauricio Naveas, por facilitar y acompañar nuestro trabajo diario.

Deseo agradecer también a mis amigos de la universidad, por mostrarme la belleza de la ciencia, la plenitud al traspasar las metas, las recompensas del esfuerzo y la magia de la diversidad. Nunca olvidaré nuestras largas sesiones de estudio, aprendizaje y discusión. Tampoco las de relajo.

A María Paz. Sin duda el apoyo, cariño y comprensión fundamentales.

Por último deseo agradecer a todos aquellos compañeros, académicos, auxiliares y administrativos que contribuyeron a lo largo de esta historia sólo por el placer de hacerlo.

Índice General

1. Introducción	10
1.1. Empresa.....	10
1.2. Objetivos del Trabajo.....	13
1.3. Metodología a Utilizar	17
1.4. Contexto del Trabajo Realizado.....	21
2. Antecedentes de Operación	22
2.1. Contenedores.....	22
2.2. Contratos de Contenedores	25
2.3. Localidades y Zonas.....	27
2.4. Medios de Transporte.....	30
2.4.1. Barcos de Carga o Vessels.....	30
2.4.2. Feeders.....	32
2.4.3. Camionajes y Trenes.....	32
2.5. Servicios Ofrecidos a Clientes	33
2.6. Actividades en Localidades.....	36
3. Descripción del Problema.....	40
4. Fuentes de Datos para el Modelo.....	45
4.1. Contenedores y Flota	45
4.2. Rutas y Naves operadas	50
4.3. Contratos	52
4.4. Demanda Futura.....	53
4.5. Contenedores en Clientes.....	54
5. Reconstrucción del año 2006.....	55
5.1. Método Utilizado	55
5.2. Modelo de Reconstrucción.....	58
5.3. Consideraciones al Modelo de Reconstrucción	60
5.4. Dimensionamiento del Modelo Propuesto	61
5.5. Resultados de la Reconstrucción.....	64
6. Modelo Determinístico y Aplicación al año 2006	66
6.1. Objetivos del Modelo Determinístico	66
6.2. Modelo Utilizado	68
6.3. Observaciones al Modelo Determinístico Propuesto	72
6.4. Resultados	74
7. Comparación Reconstrucción y Modelo Determinístico	77
7.1. Resultados Generales	77
7.2. Observaciones a los resultados Obtenidos	80

8. Incertidumbre del Sistema.....	81
8.1. Demanda y Devolución de Contenedores	82
8.2. Retrasos en los medios de Transporte.....	83
8.2.1. <i>Embarcaciones Primarias</i>	83
8.2.2. <i>Embarcaciones Secundarias</i>	84
8.3. Capacidad de los medios de transporte.....	85
9. Modelo con Incorporación de Incertidumbre	86
9.1. Modelo Utilizado	86
9.2. Consideraciones al Modelo con Incertidumbre.....	94
10. Sistema de Procesamiento de Datos	98
10.1. Módulo Starting Point.....	103
10.2. Módulo Demand and Return Forecast	106
10.3. Módulo Empty Schedule.....	111
10.4. Módulo Contract Matrix	115
10.5. Módulos Cost y On Option	116
10.6. Consideraciones sobre los Módulos de Generación de Datos.	117
11. Resultados Modelo con Incertidumbre	119
12. Alcance del Sistema Creado	125
13. Conclusiones	129
14. Bibliografía Consultada.....	132
15. Anexos	134
15.1. Otros Servicios de Línea	134
15.2. Definición Detallada de Registro de Actividades	135
15.3. Código en GAMS Reconstrucción 2006.....	138
15.4. Código en GAMS Modelo Determinístico	140
15.5. Código en GAMS Modelo con Incertidumbre.....	142
15.6. Interfase Creada para Módulos de Generación	144

Índice de Tablas

Tabla 1: Composición de Flota de Contenedores CSAV al XX-XX-2007.....	23
Tabla 2: Ranking de las 10 localidades más importantes en demanda de contenedores del año 2006.	27
Tabla 3: Descripción de las 13 zonas de operación de la compañía.	28
Tabla 4: Actividades registradas en la tabla activity equip.....	45
Tabla 5: Descripción de un subconjunto de campos de la tabla activity equip.	46
Tabla 6: Número de localidades que explican distintos porcentajes de cobertura para las diferentes actividades registradas.....	61
Tabla 7: Ejemplo de resultados modelo de simulación.....	64
Tabla 8: Propuesta Instancia 1 para los 10 primeros días de operación en Localidad 1 equipo Tipo 1.	75
Tabla 9: Propuesta Instancia 2 para los 10 primeros días de operación en Localidad 1 equipo Tipo 1.	75
Tabla 10: Demandas y devoluciones por tipo de contenedor enfrentadas por la compañía en 2006.	77
Tabla 11: Volúmenes corregidos de las decisiones tomadas por la empresa en 2006... ..	77
Tabla 12: Comparación entre reconstrucción y modelo determinístico.	78
Tabla 13: Ejemplo de pronósticos y error asociado para una localidad ficticia.	108
Tabla 14: Resultados Modelo con Incertidumbre para Localidad 1 equipo Tipo 1.....	119
Tabla 15: Resultados Modelo con Incertidumbre para nave Buque 1.	121
Tabla 16: Comparación de resultados del modelo frente a período similar año 2006.	122

Índice de Figuras

Figura 1: Descripción geográfica de las 13 zonas de operación.....	29
Figura 2: Descripción del Servicio de Línea Andex.....	31
Figura 3: Componentes de una secuencia de demanda contenedor.....	33
Figura 4: Representación gráfica de la interacción entre localidades.....	38
Figura 5: Secuencia disponible usando información en tabla activity equip.....	47
Figura 6: Ejemplo visual de agrupación de localidades secundarias.....	63
Figura 7: Estructura del sistema creado.....	98
Figura 8: Estructura de la aplicación de datos para generación de parámetros.....	100
Figura 9: Ejemplo de distribución para error de pronóstico.....	101
Figura 10: Rutas y localidades visitadas por servicio Mediterráneo.....	134
Figura 11: Rutas y localidades visitadas por servicio Golfo Express.....	134
Figura 12: Vista de interfase creada para actualización de estadísticas históricas.....	144
Figura 13: Vista de interfase creada para creación de parámetros.....	145
Figura 14: Vista de interfase creada para escritura de parámetros.....	145

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Desbalance comercial de contenedores Tipo 1 en Zona 1.....	40
Gráfico 2: Desbalance comercial de contenedores Tipo 2 en Zona 2.....	41
Gráfico 3: Inventario de contenedores Tipo 1 usado en Localidad 1 en 2006.....	65
Gráfico 4: Comparación de nivel de inventario propuesto por simulación y modelo determinístico.....	79
Gráfico 5: Ejemplo de inventario mínimo exigido para localidad ficticia.....	109
Gráfico 6: TEUS_M transportadas por CSAV XX entre Septiembre y Diciembre de 2006.....	111
Gráfico 7: Inventario mínimo propuesto por el modelo al liberar restricciones de <i>Off Hire</i>	123

1. Introducción

1.1. Empresa

La Compañía Sudamericana de Vapores (CSAV), creada en Valparaíso el 9 de octubre de 1872, es una empresa chilena perteneciente al rubro de transporte. El principal servicio que ofrece a sus clientes, junto a sus más importantes subsidiarias Montemar, Libra y Norasia, es el transporte intermodal de carga usando contenedores. Adicionalmente, también presta servicios de movimientos de autos, cementos, petróleo y transportes de carga a granel.

La empresa mantiene operación en los cinco continentes, a través de 5 oficinas regionales ubicadas en Chile, Brazil, Alemania, China y Estados Unidos. Ofrece servicios de transporte de carga y distribución en cerca de 600 localidades en el orbe, de las cuales 400 poseen puerto. Las localidades restantes no tienen acceso directo al mar.

Las localidades en que la empresa realiza actividades se agrupan en trece zonas de operación, determinadas principalmente por su ubicación geográfica. A su vez, cada una de estas zonas funciona bajo la tutela de una oficina regional.

Durante el año 2005 las ventas consolidadas de la compañía fueron de \$USD 3.895 Millones con un costo asociado de \$USD 3.367 Millones. El ingreso neto de la empresa en dicho período fue de \$USD 132 Millones.

Dentro de la industria, la empresa es líder en Latinoamérica y una de las quince compañías más importantes en términos de ingresos por operación a nivel mundial.

Para transporte de carga de contenedores, actualmente la empresa dispone de una flota cercana a los 325.000 contenedores agrupados en 17 tipos diferenciados entre sí por capacidad, tamaño y posibilidad de refrigeración. De la flota total la gran mayoría son contenedores arrendados a compañías de *leasing*, sin embargo, también existen contenedores propios y prestados por otras empresas navieras. Los contenedores arrendados o prestados deben ser devueltos a sus dueños a medida que van expirando los contratos establecidos.

El transporte de carga de contenedores es realizado a través de distintos medios como lo son naves de carga, camiones, trenes y barcazas, lo que le da a la empresa un carácter intermodal. El principal medio utilizado son las naves de carga (*cargo vessels*) de propiedad de la empresa o terceros en rutas preestablecidas y relativamente constantes en el tiempo. Los medios restantes son subarrendados en su totalidad.

El típico servicio de contenedores de carga consiste en que la compañía entrega un contenedor a un cliente, para que éste lo llene de la carga que desea transportar. Una vez lleno, la empresa se encarga de transportarlo hasta destino, típicamente usando más de un medio de transporte. Una vez arribado a destino, el cliente debe descargarlo y devolver el equipo utilizado a la empresa.

La demanda de contenedores que enfrenta la compañía varía en términos de volumen y tipo de equipo requerido dependiendo de la localidad del mundo de la cual se trate. La gran mayoría se demanda en Asia, siendo los principales puertos de destino de carga aquellos que se encuentran en el norte de Europa y la costa este de Sudamérica. El desbalance comercial que esto significa se traduce en que la empresa periódicamente deba transportar contenedores vacíos desde localidades de superávit hacia localidades con déficit ejecutando lo que se denomina el reposicionamiento de contenedores vacíos. Los medios y rutas utilizados para esta última actividad son los mismos que para el movimiento de carga, por lo que las capacidades de transporte deben ser compartidas entre contenedores llenos y vacíos. Debido a que tras un contenedor cargado existe un cliente que está esperando, éste tiene prioridad en términos de uso de capacidad frente a un contenedor vacío que debe ser transportado para suplir desbalance.

El reposicionamiento de contenedores vacíos dentro de las trece zonas depende principalmente de las oficinas regionales a cargo. Sin embargo, para el reposicionamiento entre zonas, las decisiones son tomadas por la división CENCO (Central de Contenedores) ubicada en los *headquarters* de la compañía en Valparaíso. De esta división depende también los niveles de flota, es decir, la cantidad de contenedores con que opera la compañía.

El costo de reposicionamiento y flota para el año 2005 fue cercano a los \$USD 400 Millones, lo que muestra que la logística empleada en el movimiento de contenedores

vacíos y la cantidad de unidades con que se opera es de gran impacto e importancia para la empresa.

En este trabajo se discuten las operaciones de la compañía que tienen relación al transporte de carga mediante el uso de contenedores y se presenta un modelo de programación lineal que permite asistir las decisiones relacionadas al reposicionamiento de contenedores vacíos y el nivel de flota con el fin de reducir los costos de operación del servicio prestado a clientes, respetando el marco de funcionamiento actual de la compañía, su nivel de servicio y relación con clientes.

1.2. Objetivos del Trabajo

El proceso de toma de decisiones para el reposicionamiento de contenedores vacíos y la definición del nivel de la flota de contenedores requerida es una materia central para la compañía. Éste reposicionamiento es el encargado de suplir el desbalance comercial generado por la demanda de los clientes en el mundo y representó para el año 2005, cerca de un octavo de los costos totales de operación. Encontrar las decisiones adecuadas en términos de costos y calidad de servicio es una tarea compleja considerando el alto número de variables involucradas.

Actualmente la empresa funciona en 600 localidades en el mundo con cerca de 325.000 contenedores de que satisfacen un promedio de 5 demandas por año, lo que se traduce en cerca de 1.650.000 decisiones al año (cada vez que un contenedor queda libre). Además, si se agrega que en cada vuelta un contenedor pasa por 6-8 etapas distintas (vacío en puerto, viajando cargado, descarga, limpieza-reparación, etc.) se tiene del orden de 10 millones de posiciones al año. En un esquema de toma de decisiones semanales, se tendrá por semana del orden de 28.000 decisiones y 150.000 posiciones.

Al alto número de decisiones que los operadores deben enfrentar, se agrega que para cada decisión particular de reposicionamiento existen varias modalidades de transporte disponibles y diferentes rutas de comunicación que se pueden utilizar. De esta forma, para definir cual es la mejor estructura de reposición se deben considerar las distintas capacidades de transporte, tiempos de operación y costo asociado, entre otros factores. Además, debido a la complejidad del análisis que se debe realizar para la toma de decisiones, existe dificultad para evaluar distintos escenarios, o bien, determinar el impacto que tendría en el costo total de operación el variar algunos parámetros, como por ejemplo, la capacidad contratada en una ruta de transporte.

Como se puede apreciar, el problema que enfrentan los operadores es complejo. Ellos deben determinar la cantidad de contenedores en la flota, la distribución de los contenedores vacíos en tierra según localidad, el volumen y destino de las decisiones de reposicionamiento y las localidades y fechas en que se incorporan o devuelven contenedores a la flota. La toma de decisiones manual hace difícil realizar acciones que

sean al mismo tiempo eficientes económicamente y que respeten todas las restricciones de demanda, tiempos de viaje, capacidades de transporte considerando, también, los efectos de posibles imprevistos en la operación.

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar un sistema computarizado basado en un modelo matemático que permita apoyar las decisiones de la compañía en términos de la determinación de la flota de contenedores y el manejo de la misma, entregando soluciones factibles y eficientes en costo para las operaciones proyectadas de la compañía, junto con permitir el análisis de las variaciones a los recursos utilizados actualmente.

Lo anterior conlleva los siguientes objetivos específicos:

1. Construir un modelo matemático rápido y robusto que para un horizonte de tiempo futuro, y respetando las restricciones proyectadas de operación de la compañía, permita:
 - Optimizar los viajes de reposicionamiento de contenedores vacíos en términos de costos.
 - Determinar los niveles de flota con los que debe operar la compañía con el fin de evitar subutilización de la flota.
 - Apoyar la toma y reentrega de contenedores con el fin de evitar sobrecostos de transporte o devolución tardía.
2. Construir una herramienta computacional que a partir de los datos que hoy posee la empresa pueda generar los parámetros que alimentan al modelo matemático de manera automatizada al menos con una frecuencia semanal.
3. Determinar cómo la herramienta propuesta podría ayudar a generar distintos análisis de sensibilidad que permitan:
 - Determinar potenciales agrupaciones de localidades para operación.
 - Nuevas alternativas de clusters y fechas para toma y reentrega.

- Determinar impacto en las variaciones de las capacidades de transporte y cambio o incorporación de rutas de transporte.

El primer objetivo específico tiene relación con la operación actual de la compañía, las decisiones que son ejecutadas día a día y los costos en que incurre la compañía para poder ofrecer sus servicios. La idea de crear un modelo que optimice los costos de operación, es decir, crear la posibilidad de ejecutar una herramienta que considerando las localidades actuales de operación, las capacidades y rutas de transporte establecidas hacia futuro, junto a la flota actual de contenedores, asista la toma de decisiones futuras respecto de cuántos contenedores deberán ser transportados entre las distintas localidades con el fin de satisfacer el desbalance comercial que se proyecta enfrentará la compañía en dicho período. Junto a lo anterior, se busca obtener el nivel de flota que será necesario para llevar a cabo dicha operación, con el fin de saber si es ésta actualmente está sobredimensionada, o bien si el análisis de un mayor número de escenarios permitiría reducirla. Un último punto, es apoyar la toma y reentrega de contenedores indicando qué fechas y localidades son las “mejores” a la hora de incorporar o devolver contenedores a la flota para contratos ya establecidos.

El segundo objetivo tiene relación con los datos actuales de la compañía. Si se genera una herramienta que permite apoyar las decisiones de la empresa, ésta debe incorporar datos que realmente se encuentran a disposición de los operadores. Además, un modelo de estas características requiere ser reejecutado cada vez que la información usada en la toma de decisiones sufra cambios significativos, ya sea porque se corrige información antigua o bien se incorporan nuevos datos. Por lo mismo, crear una herramienta computacional que permita generar e incorporar estas variaciones al modelo de manera rápida y automatizada, cobra real importancia, más aún si la información cambia con frecuencia menor a la diaria, como es en el caso de la empresa.

El tercer objetivo se enmarca en las decisiones tácticas y/o estratégicas de la compañía. En este sentido, determinar qué rutas sería positivo incorporar al actual conjunto de posibilidades, o bien dónde sería satisfactorio aumentar la capacidad de transporte pudiendo determinar el impacto monetario de dichas decisiones en la totalidad de las operaciones, representa un excelente apoyo a la toma de de decisiones de mediano

plazo, al igual que poder determinar en qué localidades se convendría dejar de operar o bien cuáles pueden ser agrupadas¹ en términos operacionales.

Un último análisis de relevancia es determinar dónde conviene generar contratos a futuro para la toma y reentrega de contenedores con el fin de determinar si conviene disminuir el número actual de puntos y los volúmenes en la incorporación de flota, aprovechando las economías de escala de un menor número e proveedores.

¹ Que dos o más localidades cercanas en distancia fuesen agrupadas se puede traducir en trabajar dicho grupo en un sólo conjunto, determinando pronósticos, stocks de seguridad, etc.

1.3. Metodología a Utilizar

La creación de un asistente computacional basado en un modelo matemático de estas características presenta en el papel, una excelente oportunidad para mejorar las operaciones actuales de CSAV. Sin embargo, el impacto en la mejora dependerá entre otros factores, de la situación actual en la que opera la compañía, junto a las distintas políticas en las que se enmarca, como por ejemplo calidad de servicio, número de proveedores y cantidad de servicios prestados entre otros.

Junto a lo anterior, será necesario demostrar si un modelo matemático podría eventualmente generar ahorros significativos en cuanto a costos de manejo de flota y reposicionamiento de contenedores vacíos se refiere. Además será necesario determinar como la información con la que cuenta actualmente la empresa podría alimentar de manera sustentable un sistema de apoyo a las decisiones que se toman hoy en día.

A continuación se explica la metodología a desarrollar a lo largo de este trabajo de tesis:

a) Descripción en Detalle de las Operaciones de la Empresa.

Como primer punto, se desarrolla una descripción en detalle de la operación de la compañía en términos de flota, medios de transporte, rutas establecidas, capacidades y otros con el fin de dar a conocer las principales entidades que forman parte del proceso de toma de decisiones de la empresa, en términos de lo que a viajes de reposicionamiento de vacíos y nivel de flota se refiere.

b) Descripción del Problema.

En una segunda instancia, se define cual es el problema real que enfrenta la empresa en términos de operación y cómo éste se traduce en un proceso de toma de decisiones difícil de manejar manualmente.

c) Fuentes de Datos para el Modelo.

En esta etapa, se realiza una breve reseña del volumen, estructura, calidad y naturaleza de la información que la compañía utiliza en su proceso de toma de decisiones. La idea principal es ver qué tipo de información relevante se puede incluir en el modelo y cómo ésta puede ser obtenida.

d) Reconstrucción año 2006.

Se reconstruirá la operación de la compañía para el año 2006, con el fin de poder descomponer y determinar las principales decisiones tomadas en dicho período. El objetivo principal es dar a conocer las decisiones que son tomadas por la compañía en cuanto a reposicionamiento de contenedores vacíos y nivel de flota se refiere. Un segundo objetivo es mostrar los volúmenes de operación en relación a las localidades operadas, demandas satisfechas, medios de transporte utilizados y contratos establecidos entre otros.

e) Modelo Determinístico y Aplicación al año 2006.

En esta etapa se aplica un modelo de optimización determinístico a la operación del 2006 incorporando la información real respecto de la demanda y devolución enfrentadas en el período y dejando variables algunas de las decisiones tomadas en el mismo, como por ejemplo el reposicionamiento de contenedores vacíos. El objetivo es determinar el tamaño del modelo asociado, la factibilidad de resolución, los parámetros involucrados y las principales restricciones a utilizar.

f) Comparación Reconstrucción del año 2006 versus Modelo Determinístico.

Posterior a la aplicación de un modelo de optimización determinístico a las operaciones de 2006 se realiza una comparación de los resultados obtenidos para ambos escenarios. El objetivo principal de este análisis es poder validar la implementación de un modelo de estas características, junto con determinar las potenciales áreas de mejora en la compañía, encontrando cotas teóricas que podrían entregar un nivel máximo de reducción para cada área.

g) Descripción de la Incertidumbre Asociada al Sistema.

En este punto se darán a conocer las principales fuentes de incertidumbre con las que cuenta el sistema y se discutirán distintos enfoques para enfrentarla.

h) Modelo con Incorporación de Incertidumbre.

Considerando los datos actuales y la incertidumbre del sistema se generará un modelo matemático que incorpore fuentes de incertidumbre y que tenga como *input* parámetros factibles de construir con la información actual de CSAV.

i) Sistema de Procesamiento de Datos y Generación de Parámetros.

En este capítulo se dará a conocer el sistema creado para el tratamiento de los datos con que cuenta la compañía y el enfoque utilizado para la creación automatizada de los parámetros *input* del modelo con incorporación de incertidumbre.

j) Alcance del Sistema

En este punto se discuten algunas herramientas que incluye el sistema y que podrían ser utilizadas para mejorar el desempeño de la empresa hacia el futuro.

j) Conclusiones Generales.

Como último punto se entregan algunas conclusiones generales de cómo funciona actualmente el sistema creado y cómo se cree debiese seguir operando a futuro. Además se incluyen algunas recomendaciones frente al sistema creado para el tratamiento de información.

En esta tesis se muestra el modelo matemático propuesto para asistir las decisiones de la compañía. Este modelo tiene la capacidad de entregar soluciones que permanecen factibles ante variados escenarios que pueda entregar la realidad debido a que satisface restricciones elaboradas sobre conjuntos de datos que incluyen distintos pronósticos y

potenciales variaciones de los mismos. En este sentido, se muestran resultados del modelo y las potenciales reducciones de costos que permitiría lograr.

Además se da a conocer el sistema que apoya la creación de estos conjuntos de forma automatizada y potenciales estudios que pueden ser realizados con ayuda del mismo con el fin de mejorar el desempeño de la compañía en el futuro.

1.4. Contexto del Trabajo Realizado

El trabajo a exponer se enmarca en un proyecto de optimización que la compañía Sudamericana de Vapores realiza y para el cual solicitó la ayuda de un equipo consultor del departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile. Actualmente el proyecto se encuentra en su fase de marcha blanca y con seguridad dará espacio para variados trabajos de tesis e investigación.

En este trabajo se discute parte del proyecto en general, explicando la plataforma de datos creada, los módulos que generan los parámetros *input* del modelo matemático y la validación de la necesidad de la herramienta, además de y haciendo gran hincapié, en el modelo en sí y los reportes e información que pueden ser recopiladas a partir de los resultados que éste entrega.

El sistema creado y particularmente, los módulos de generación de parámetros que alimentan al modelo incluyen metodologías de alto contenido técnico como son por ejemplo los pronósticos de demanda y devolución de contenedores utilizados y los niveles de inventario mínimo de equipos vacíos en tierra que la compañía debe mantener como stock de seguridad con el fin combatir la incertidumbre del sistema. Si bien gran parte de los desarrollos computacionales y las metodologías utilizadas para éstos son presentadas en este informe, lo anterior se realiza de manera breve ya que la explicación teórica detallada se encuentra fuera de los alcances de este trabajo.

2. Antecedentes de Operación

La Compañía Sudamericana de Vapores es una empresa que mueve carga por medio de contenedores en todo el mundo usando barcos propios y de terceros, además de camiones, *feeders*² y trenes. El servicio que ofrece consiste típicamente en que un cliente recibe un contenedor de propiedad de la empresa y consolida³ su carga. Luego, el contenedor es transportado a su destino, en el cual el destinatario lo desocupa y lo devuelve a control de la empresa. Dicho proceso puede tardar varios días o semanas.

Para llevar a cabo su operación la compañía trabaja en una serie de puertos y localidades donde se entregan los contenedores a clientes; se reciben desde destinatarios; se incorporan nuevos contenedores por medio de contratos *leasing*, compras o préstamos de otras navieras; se devuelven los contenedores al finalizar el contrato o préstamo; y se realizan operaciones de mantenimiento, limpieza y carga a medios de transporte entre otros.

A continuación se detallan las principales características y definiciones de cada componente que forma parte de la operación de la compañía.

2.1. Contenedores

Para su operación, actualmente CSAV utiliza gran variedad de contenedores para transporte de carga, especialmente diferenciados por tamaño, y característica de ser refrigerados o no (en este caso se les denomina secos). Los formatos de contenedor se diferencian principalmente en el largo del mismo, donde se encuentran principalmente dos tipos: de 20 y 40 pies, con capacidad nominal asociada de una y dos TEU⁴. La gran mayoría de los contenedores utilizados por la compañía tiene una altura de 2,59 [mts], salvo los de tipo *High Cube* que conservan propiedades de largo y ancho, pero poseen una altura de 2,9 [mts].

² Embarcaciones de tamaño menor que transportan carga por el agua entre localidades cercanas. Usualmente no mantienen un recorrido estándar y se negocian a corto plazo.

³ La consolidación consiste en llenar el contenedor con la carga que el cliente desea transportar.

⁴ Twenty-foot Equivalent Unit.

Además de los de carga, la empresa utiliza los llamados contenedores especiales en su operación diaria. Éstos sólo asisten el movimiento de contenedores de carga, pero son transportados de la misma manera y ocupan el mismo espacio nominal dependiendo si su tamaño es de veinte o cuarenta pies. Un ejemplo de este tipo de contenedor es el *Power Pack*, que en términos físicos es similar a uno de carga, pero que tiene como función el alimentar de corriente hasta un máximo de 20 contenedores que necesiten electricidad para mantener su carga refrigerada mientras viajan desde una localidad hacia otra. Usualmente es utilizado cuando los *plugs* o enchufes proporcionadores de corriente presentes en los barcos de carga no son suficientes para el total de contenedores refrigerados que desean ser transportados.

Se presentan a continuación los distintos tipos de contenedor con los que trabaja la compañía. Para cada tipo se muestra además información específica y el porcentaje que representaba respecto al total de la flota de contenedores⁵ en 2007:

N°	Identificador	Nombre	Tipo	N° Contenedores**	% Sobre Total	% Acumulado
1	DV20	Dry van 20 feet	Dry	83.716	43,28%	43,28%
2	HC40	Dry van 40 feet high cube	Dry	57.735	29,85%	73,13%
3	DV40	Dry van 40 feet	Dry	31.754	16,42%	89,54%
4	RH40	Reefer 40 feet high cube	Reefer	17.321	8,95%	98,50%
5	RE20	Reefer 20 feet std	Reefer	866	0,45%	98,94%
6	GS00	Genset	Especial	577	0,30%	99,24%
7	OT40	Kit repairs	Especial	289	0,15%	99,39%
8	FR40	Flat rack 40 feet	Especial	289	0,15%	99,54%
9	KR00	Open top 40 feet	Especial	289	0,15%	99,69%
10	OT20	Open top 20 feet	Especial	231	0,12%	99,81%
11	HC20	Dry van 40 feet high cube	Dry	115	0,06%	99,87%
12	CH40	Chassis 40 feet	Especial	115	0,06%	99,93%
13	FR20	Flat rack 40 feet	Especial	58	0,03%	99,96%
14	CH20	Chassis 20 feet	Especial	29	0,01%	99,97%
15	PP20	Power pack 20 feet	Especial	29	0,01%	99,99%
16	TA20	Tank 20 feet	Especial	17	0,01%	100,00%
17	RE40	Reefer 40 feet std	Reefer	6	0,00%	100,00%

Tabla 1: Composición de Flota de Contenedores CSAV al XX-XX-2007.

⁵ Con el fin de mantener la confidencialidad en los datos de la compañía el número de contenedores es ajustado por un factor interno haciendo alusión a aquello con el símbolo **. Del mismo modo algunas fechas serán omitidas siendo representadas por el valor XX.

El identificador detallado en la tabla es la forma abreviada de referirse a algún tipo de contenedor particular. El nombre por otro lado, representa las componentes específicas de cada tipo.

Como se puede apreciar, el 99% de la flota se encuentra conformada de sólo cinco tipos de contenedor, de los cuales cuatro son de tipo seco o no refrigerado.

Un antecedente de relevancia es que en este análisis el contenedor de mayor presencia es el DV20, ya que posee un mayor número de unidades. Sin embargo, si las cifras son analizadas en TEUS equivalentes el contenedor más relevante pasa a ser el HC40, que representa cerca del 40% del total de las TEUS en flota.

Cada contenedor posee un número identificador particular. Este número es normado internacionalmente asegurando que haya uno sólo por contenedor y viceversa.

2.2. Contratos de Contenedores

La flota de contenedores utilizada por la compañía se compone principalmente de equipos arrendados a empresas de *leasing*, pero cuenta también con algunos de su propiedad. El proceso de incorporación o “toma” de contenedores a la flota, ya sea por conceptos de compra o arriendo se denomina *On Hire*. De manera equivalente, cuando expiran los contratos de arriendo se realiza la actividad de devolución o reentrega de contenedores al arrendatario. Este proceso se denomina *Off Hire*. Cada contenedor de la flota está asociado a un contrato. Éste detalla la fecha de expiración, el costo y el real dueño del equipo.

Existen distintas modalidades de contratos para realizar toma y reentrega de contenedores. Las principales son las siguientes:

- Contrato de Largo plazo (*Master Lease* o *Long Term*): En este caso los contenedores son incorporados a la flota en su mayoría mediante *leasing* por períodos de entre 5 y 8 años, siendo posible arrendar por períodos menores a un mayor precio diario. Dentro del proceso de toma de contenedores hay un período denominado *build up*, en el cual la empresa de *leasing* va entregando contenedores en forma parcial en distintos puertos hasta completar la cantidad previamente contratada. El puerto y fecha de toma del contenedor puede ser en algunos casos determinado por CSAV, dependiendo de sus necesidades. En este marco, existen costos operacionales asociados al lugar y fecha en que se entregan los contenedores tomados en arriendo. De la misma forma, se producen entregas (*Off Hires*) de contenedores vacíos según contrato. En forma análoga a la toma de contenedores, la reentrega de éstos también posee un periodo de devolución asociado denominado *build down* durante el cual se espera se produzca la devolución en las localidades especificadas. En los contratos de este tipo no sólo se detalla la cantidad de contenedores, su tipo y el largo de los períodos de *build up* y *build down* a partir de las fechas de inicio y término de contrato, sino que además se especifica el estado en el que deberá ser devuelto el contenedor.

- Contrato de Corto Plazo: Esta modalidad es similar a la anterior, sin embargo, los períodos de arriendo son cercanos a un año. En este caso los contratos pueden realizarse con empresas de *leasing* o bien con otras navieras a un precio relativo mayor que en el caso de los contratos de largo plazo.
- Intercambios con otras navieras: Esta modalidad consiste en intercambiar contenedores con otras navieras recibiendo y entregando contenedores en localidades que le acomodan a la compañía. También existe la posibilidad de que CSAV sólo preste contenedores a terceros pagando estos últimos un costo asociado o bien con el fin de que los contenedores sean devueltos en localidades estratégicas y esto ahorre en costos de reposicionamiento a la compañía. De manera similar existe la posibilidad que sólo se reciban contenedores.
- Compra de contenedores: Esta cuarta modalidad consiste en adquirir contenedores desde empresas de *leasing* u otras navieras.

Los contenedores incorporados a préstamos por intercambios con otras navieras no son considerados como parte de la flota propia de CSAV. En ésta se incluyen los arrendados a empresas de *leasing* ya sea por corto o largo plazo y los contenedores comprados.

En caso que un contenedor sea vendido a un tercero también se denomina *Off Hire*. Es importante destacar que dependiendo del contrato, se detalla el estado en que debe presentarse el contenedor una vez devuelto o vendido. En caso que el contenedor no esté a la altura de las exigencias deberá ser reparado previo a la reentrega.

Es importante destacar que los *Off Hire* de contenedores son realizados a nivel de identificador de contenedor, lo que se traduce en que si un contrato de *leasing* de un contenedor particular expira, entonces sólo ese contenedor particular debe ser devuelto.

2.3. Localidades y Zonas

La Compañía Sudamericana de Vapores mantiene operaciones en los cinco continentes. Para lo anterior, actualmente opera en cerca de 600 localidades.

Una localidad se define como un sector geográfico que posee al menos una de las siguientes características:

- Puerto Marítimo.
- Uno o varios *depots* o bodegas de almacenaje.
- Línea Ferroviaria para transporte de contenedores.

En términos generales cada una de las distintas propiedades simboliza un *citypoint*. Por ejemplo, si una localidad posee una estación de trenes, dos depósitos de contenedores y dos puertos marítimos, entonces tendrá un total de cinco *citypoints*.

Ejemplos de localidades, son San Antonio (CLSAI⁶) y Santiago (CLSCL). Si bien ambas cuentan con varios *depots*, sólo la primera posee puerto marítimo.

A continuación se presentan las 10 localidades más importantes de 2006 en términos de demanda por contenedores para la compañía:

N°	Localidad	Nombre	País
1	CNSHA	Shanghai	China
2	BRSSZ	Santos	Brazil
3	CNNGB	Ningbo	China
4	CNCWN	Chiwan	China
5	ARBUE	Buenos Aires	Argentina
6	DEHAM	Hamburg	Germany
7	CNTAO	Qingdao	China
8	BRITJ	Itajai	Brazil
9	BRPNG	Paranagua	Brazil
10	BEANR	Antwerp	Belgium

Tabla 2: Ranking de las 10 localidades más importantes en demanda de contenedores del año 2006.

⁶ Denominación ISO (International Organization for Standardization) para localidades.

El porcentaje de demanda de cada localidad por separado fue omitido con el fin de mantener la confidencialidad en la información. Sin embargo, estas 10 localidades en conjunto explican más del 30% de la demanda total de la compañía.

Una localidad representa un punto de operación, es decir, en ella el cliente puede demandar y/o devolver contenedores. Por su parte, la compañía puede repararlos, almacenarlos, o bien transportarlos hacia otras localidades.

Las localidades en las que opera la empresa son actualmente agrupadas en 13 zonas a lo largo de los cinco continentes. Las zonas representan la máxima unidad de agrupación de localidades en términos geográficos y pueden llegar a contener localidades de un gran número de países. Un ejemplo de lo anterior es la zona WCSA (*West Coast South America*), que corresponde a la agrupación de todas las localidades de la costa oeste de Sudamérica como Valparaíso (CLVAP), Callao (PECLL), Guayaquil (ECGYE) y Manzanillo (MXMZO) entre otras. A su vez, cada zona es controlada por una de las cinco oficinas regionales con que cuenta la compañía en el mundo.

A continuación se presentan las 13 zonas de operación, junto con la oficina regional a la que pertenecen y el país donde ésta última está ubicada.

Zona	Nombre Zona	Of. Regional	Ubicación Of. Regional
CARB	Caribbean	ROCL	Chile
WCSA	West Coast South America		
NE	North Europe	RODE	Alemania
WMED	West Mediterranean		
EMED	East Mediterranean		
MEXI	Mexican Gulf	RONA	Estados Unidos
WCNA	West Coast North America		
ECNA	East Coast North America		
GULF	Gulf		
PACI	Pacific Asia	ROHK	China
PGUL	Persian Gulf		
INDI	India		
ECSA	West Coast South America	ROBR	Brazil

Tabla 3: Descripción de las 13 zonas de operación de la compañía.

Es importante destacar que la oficina regional RONA tiene subdivisiones a cargo de la operación de México y Estados Unidos por separado.

Las trece zonas descritas en la tabla anterior se dividen geográficamente como sigue:

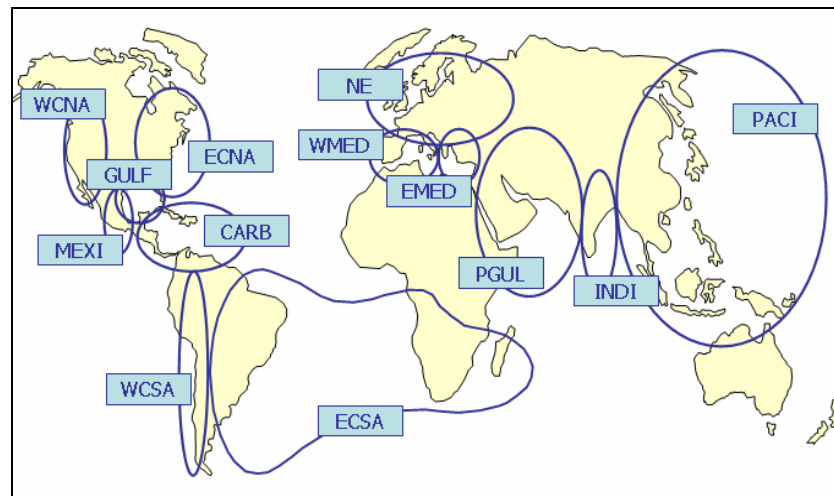


Figura 1: Descripción geográfica de las 13 zonas de operación.

Se define como movimiento de contenedores vacíos intrarregional aquel que ocurre entre dos localidades pertenecientes a una misma zona. Los movimientos de contenedores entre pares de localidades pertenecientes a distintas zonas se denomina interregional.

2.4. Medios de Transporte

La empresa mueve carga intermodalmente, es decir, ocupa cuatro tipos de transporte en su operación. Éstos son los *vessels* o barcos de carga, trenes, camiones y *feeders* o barcazas.

En un movimiento de carga entre dos localidades puede usarse una o más modalidades de transporte. Por ejemplo, si se desea transportar carga desde Shangai (CNSHA) hasta Santiago (CLSCL), primero debe cargarse el contenedor en un barco que viaje hasta Valparaíso o San Antonio y posteriormente llevarlo a su destino usando un camión.

2.4.1. Barcos de Carga o *Vessels*

Este es el medio de transporte más utilizado por la empresa. Los barcos pueden ser de propiedad de la misma o bien arrendados a terceros en su totalidad o de manera parcial por períodos previamente establecidos, dependiendo del tipo de contrato. Actualmente en el mercado existen barcos de variados tipos de tamaño con capacidad de hasta 7.000 TEUS.

Para el transporte de carga, los barcos poseen capacidad de volumen y peso. Para determinar la capacidad real de carga se realiza una homologación de los contenedores a cargar. Esto consiste en que se determina el peso promedio de los contenedores llenos de carga. Con esto, dependiendo de la capacidad por peso se sabe cuántos contenedores se podrá cargar. Si el número anterior es mayor que la capacidad por volumen, entonces sólo se podrá cargar el máximo establecido por dicha variable. En caso que aún sobre espacio, se procede a la carga de contenedores vacíos hasta completarla o bien colmar la capacidad de peso o volumen.

Cada barco en operación posee una ruta o servicio. Lo anterior quiere decir que por un período de tiempo un barco sigue una ruta particular recalando en un alto número de puertos establecidos. Cada ruta recibe el nombre de Servicio de Línea. En la Figura 2 se muestra a modo de ejemplo, la ruta preestablecida que tenía el servicio Andex hasta febrero 2007.

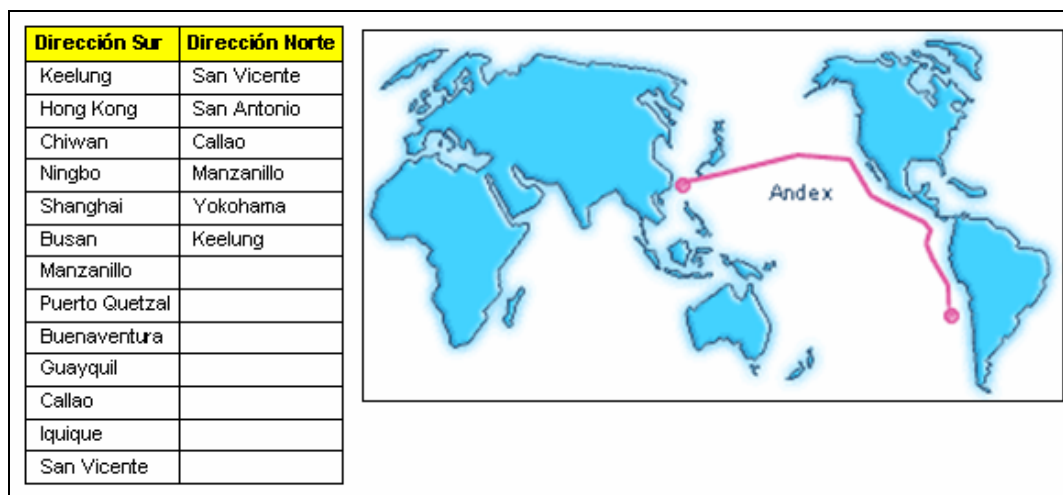


Figura 2: Descripción del Servicio de Línea Anexas.

Como se aprecia en la tabla de recorridos, los puertos de recalada varían dependiendo de la dirección en que viaje el barco. En este caso particular, el servicio Anexas se detiene en diez puertos cuando viaja desde Asia hasta Sudamérica, comparado con las cinco que efectúa cuando viaja en dirección contraria.

El operador o controlador⁷ del barco de carga es quien decide la ruta que éste seguirá en el futuro. En particular cada barco de carga en el mar es controlado por alguna empresa de transporte. CSAV opera barcos propios y de terceros, éstos últimos a veces arrendados en conjunto con otras empresas y por ende establece rutas de su conveniencia. En otros casos arrienda espacio en servicios de otras compañías con el fin de suplir la falta de capacidad de transporte. Vale destacar, que al arrendar capacidad en un barco controlado por un tercero, se tiene total dominio sobre ésta, siendo posible subarrendar espacios sobrantes en viajes particulares.

Actualmente, la Compañía Sudamericana de Vapores opera con un total de 32 Servicios⁸ de Línea a lo largo del mundo.

⁷ El operador es quien tiene al barco bajo su custodia. Para esto, no precisa ser el dueño de la nave.

⁸ Para ver otros servicios de línea en detalle consultar sección Anexos en “Otros Servicios de Línea”

2.4.2. Feeders

Los *feeders* son pequeñas barcazas que comunican localidades por medio de ríos o mar. Debido a su reducida capacidad y vasta disposición en ciertos puntos, este medio de transporte suele no presentar itinerarios debido a que usualmente se trasladan entre un par fijo de localidades iniciando sus viajes al completar su capacidad. Junto a lo anterior, la cantidad de contenedores a trasladar y los precios asociados son negociados de manera *spot*.

2.4.3. Camionajes y Trenes

Esta es una tercera modalidad de transporte para contenedores. Dadas sus características, ésta sólo se efectúa de manera terrestre. Usualmente son utilizados para transportar carga entre localidades cercanas.

La capacidad de camionaje de una localidad cualquiera puede considerarse infinita ya que en la práctica, siempre se puede conseguir un camión de transporte.

Los trenes por su parte son el medio de transporte menos utilizado por la compañía debido a la poca oferta de éste a lo largo del orbe.

Gracias a las características principales de cada tipo de transporte, éstos pueden ser agrupados entre primarios y secundarios. Los primarios corresponden a los barcos de carga o *vessels* y los secundarios corresponden al conjunto compuesto por los camiones, *feeders* y trenes. Como se mencionó anteriormente, la diferencia radica principalmente en que el medio primario mueve la mayor cantidad de carga y presenta itinerarios compuestos por un conjunto de localidades, así como capacidades de transporte preestablecidas por contrato. En el caso de los secundarios, estos medios no presentan itinerarios preestablecidos a futuro y usualmente operan entre pares de localidades sin tener una capacidad negociada de antemano con CSAV.

2.5. Servicios Ofrecidos a Clientes

Si bien el negocio de la compañía es claro en términos que presta servicios de transporte de carga facilitando un contenedor vacío en una localidad de origen, posteriormente trasladándolo lleno hacia una localidad de destino de manera intermodal y finalmente recibéndolo vacío, culminando así un ciclo de demanda, la cantidad de servicios prestados en dicho ciclo varía respecto de las necesidades de cada cliente. La siguiente figura presenta un resumen de las actividades que puede prestar la compañía hacia sus clientes:

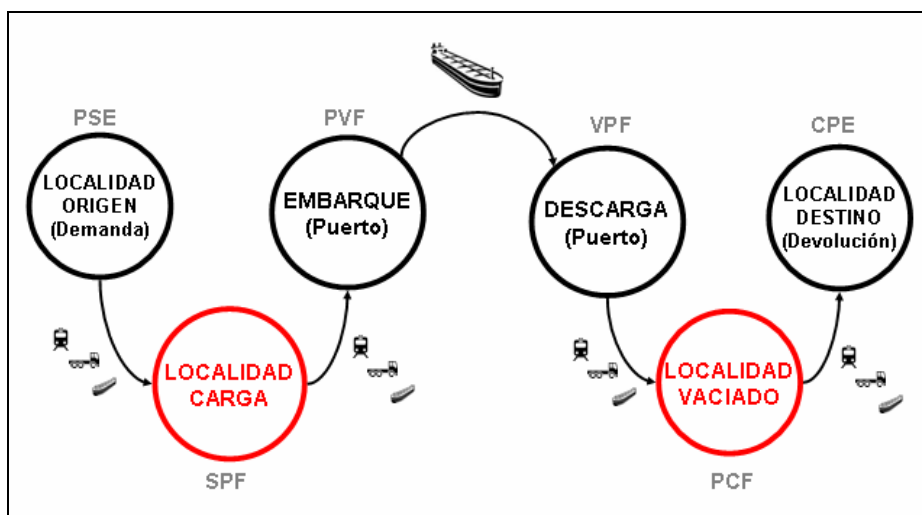


Figura 3: Componentes de una secuencia de demanda contenedor.

Como se aprecia en la figura, un ciclo de demanda de contenedor consta principalmente de 6 etapas. Cada una de éstas tiene un nombre asociado. La primera se denomina PSE (*Pier to Shipper Empty*) y se considera el inicio de un ciclo demanda, debido a que es en esta localidad donde se le presta un contenedor vacío a un cliente. Posteriormente dicho contenedor es transportado vía tren, camión o *feeder* hacia una localidad de carga, que puede ser la misma en donde se efectuó la demanda, siendo este transporte responsabilidad de la empresa en caso que el cliente así lo estime necesario.

Una vez que el contenedor llega a la localidad de carga se encuentra en poder del cliente (o bien desde antes en caso que el cliente haya sido el encargado del transporte previo) y

éste procede a cargarlo. Una vez concluido lo anterior el cliente devuelve el contenedor lleno a la empresa para que éste sea transportado a una localidad de destino generando la actividad SPF (*Shipper to Pier Full*). Como es de esperar este último transporte puede ser efectuado por el mismo cliente.

La tercera etapa se desarrolla en la localidad de embarque, donde el contenedor se sube a un barco asociado a un Servicio de Línea particular gatillando una actividad denominada PVF (*Pier to Vessel Full*), habiendo realizado previamente los procesos aduaneros. Durante el viaje marítimo el contenedor podrá viajar en varios barcos pertenecientes a distintos Servicios de Línea realizando lo que se denomina cabotajes. Lo anterior ocurre principalmente cuando los contenedores deben recorrer distancias muy largas o poco regulares que no son cubiertas por un único Servicio de Línea.

Al desembarcar un contenedor en el puerto de descarga se ejecuta la actividad VPF (*Vessel to Pier Full*). Vale destacar, que en caso que haya cabotajes los pares PVF-VPF se repetirán tantas veces como número de cabotajes exista.

Al ser descargado el contenedor lleno se traslada a la localidad donde será vaciado por un consignatario⁹, siendo CSAV el encargado de este transporte si el cliente lo considera necesario. Lo anterior se conoce como la actividad PCF (*Pier to Consignee Full*).

Una vez que el consignatario obtiene su carga o bien la desconsolida, se genera la actividad CPE (*Consignee to Pier Empty*), que consiste en que el cliente devuelve el contenedor utilizado en todo el ciclo de demanda totalmente vacío a manos de CSAV. Ocurrido lo anterior, la compañía limpia y repara el contenedor en caso que sea necesario. Posteriormente el contenedor se encuentra listo para satisfacer una nueva demanda.

Vale destacar que si bien el ciclo descrito anteriormente representa un ciclo de demanda contenedor típico, existen clientes que sólo ocupan los servicios de CSAV para

⁹ El consignatario es el cliente receptor de la carga transportada, siendo el encargado de la desconsolidación de la misma.

satisfacer parte de éste. En este sentido podemos encontrar los siguientes tipos de subciclos:

1. Transporte Marítimo: Tiene relación con clientes que sólo solicitan el transporte marítimo por parte de CSAV, encargándose ellos mismos del resto de la logística. Para lo anterior demandan un contenedor en una localidad particular y se responsabilizan de llevarlo hacia la localidad de embarque para que CSAV se encargue del traslado marítimo. Una vez en destino de desembarque, el cliente retoma el control de operación y posteriormente retorna el contenedor vacío en alguna localidad preestablecida (usualmente la de desembarque).
2. *Shipper/Consignee*: Este tipo de servicio está asociado a clientes que al descargar un contenedor lleno (desconsolidar carga) cumpliendo un rol de *consignee* aprovechan que el contenedor está vacío para cargarlo nuevamente y transportarlo a un nuevo destino transformándose a su vez en *shippers*.
3. Partes del Ciclo: Si bien en un ciclo de demanda contenedor existen en un principio cuatro camionajes asociados, algunos clientes desean que la empresa sólo se haga cargo de una parte de éstos.
4. Otras Navieras: Este servicio tiene relación con otras navieras que transportan carga. En algunos casos, copan la capacidad de sus naves para el transporte marítimo y piden a la empresa que ésta transporte los contenedores restantes.
5. *Shipper Own*: Tiene relación con clientes que poseen sus propios contenedores y desean que la empresa se encargue de la logística de transporte o bien de una parte de ella.

Si bien existen variados tipos de servicio que pueden ser prestados a clientes, todos tienen relación con el transporte de carga desde una localidad hacia otra. La diferencia radica en el dueño del contenedor y la cantidad de tramos del ciclo de demanda que se asignan a CSAV.

2.6. Actividades en Localidades

Al llegar contenedores llenos a una localidad, los clientes los retienen un tiempo para descargar la carga o bien usarlos como bodega temporal. Este plazo, en promedio, dura dos semanas y es pagado por el cliente. Una vez devuelto el contenedor, se considera que éste está vacío en el sistema. En ese momento se somete al contenedor vacío a un proceso de limpieza y reparación, en caso que sea necesario y que en la localidad haya oferta de mencionados servicios. Posteriormente, el contenedor se traslada lleno o vacío o bien, se almacena en una bodega como inventario.

El inventario de contenedores vacíos en tierra juega un papel muy importante en el proceso de la compañía, ya que es el encargado de satisfacer demandas futuras. Las principales acciones que generan que éste incremente su volumen en una localidad particular son:

- Devolución de contenedores que han sido desconsolidados por los clientes al finalizar un ciclo de demanda contenedor.
- Llegada de contenedores vacíos por conceptos de reposicionamiento.
- *Leasing* de contenedores a largo y corto plazo (*On Hire*).
- Compras y arriendos a terceras navieras.

En forma equivalente existen acciones que disminuyen el inventario de contenedores vacíos en una localidad particular:

- Demanda de contenedores vacíos para transporte de carga.
- Salida de contenedores vacíos por conceptos de reposicionamiento.
- Devolución de contenedores por expiración de contratos (*Off Hire*).
- Préstamos y venta de contenedores a terceros.
- Contenedores que presentan fallas irreparables y pérdidas.

El balance (desbalance) comercial de una localidad indica la diferencia entre el número de contenedores demandados y retornados por clientes en un período de tiempo dado. El

desbalance físico indica la diferencia de contenedores vacíos incluyendo aquellos equipos vacíos ingresados a la localidad por conceptos de reposicionamiento.

Aquellas localidades que presentan un desbalance comercial positivo (demanda que enfrentan en un período de tiempo es mayor que la devolución) se denominan localidades superavitarias. Cuando la devolución resulta ser mayor que la demanda, son denominadas deficitarias.

Si en un mes particular, una localidad recibe diez contenedores vacíos DV20 por conceptos de desconsolidación de carga, pero le demandan veinte de éstos en el período, se dice que esa localidad presenta un desbalance comercial de diez contenedores. Sin embargo, si durante ese mes fueron reposicionados diez contenedores vacíos desde una localidad cercana, se dice que el desbalance físico de contenedores DV20 para esa localidad es cero.

En cada localidad debe mantenerse una estrategia de nivel de inventario según cada tipo de equipo hacia futuro con el fin de poder satisfacer las demandas de contenedores vacíos que se generen en ésta, sin olvidar potenciales eventualidades que pueden ocurrir como por ejemplo, crecimientos inesperados en la demanda o bien dificultad al reposicionar cierto tipo de equipo.

Para mantener la estrategia de inventario por tipo de equipo respecto a cada localidad deben tomarse las siguientes decisiones:

- Nivel de inventario: Tiene relación con el volumen de cajas a mantener vacías en tierra. Una parte de ellas se diseña para satisfacer la demanda pronosticada considerando las devoluciones por parte de clientes que habrá en el futuro. La segunda parte cumple la función del stock de seguridad que es suplir eventualidades en lo programado o bien errores en los pronósticos utilizados.
- Reposicionamiento: Tiene relación al volumen de contenedores a reposicionar desde o hacia una localidad particular debido a desbalances comerciales pronosticados. Como se menciona anteriormente, para esta tarea se utilizan distintos medios de transporte.

- Toma y Devolución de Contenedores: En algunos casos el reposicionamiento no es suficiente como para suplir el desbalance comercial de una localidad, debido a que la capacidad del mismo o la oferta de contenedores vacíos en otras localidades no es suficiente. En estos casos es necesario realizar *On Hire* de contenedores o bien conseguirlos a préstamo. De manera equivalente, en algunas localidades sobran contenedores vacíos. En estos casos se puede decidir realizar *Off Hire* o bien devoluciones y préstamos a terceros.

Si bien las decisiones descritas anteriormente son determinadas a nivel de localidad y tipo de equipo, el impacto que generan tiene alcance global. Cuando se incorporan o eliminan contenedores es la flota total la que se ve afectada. Así mismo, cuando se decide reposicionar un cierto número de contenedores a una localidad particular, éstos dejan de estar disponibles para otros reposicionamientos, al igual que la capacidad de transporte utilizada para llevara cabo dicha tarea.

La interacción de distintas localidades, su nivel de inventario y el de contenedores vacíos del sistema puede ser explicado mediante el uso de una red de flujos a base de nodos y arcos como la que se presenta a continuación:

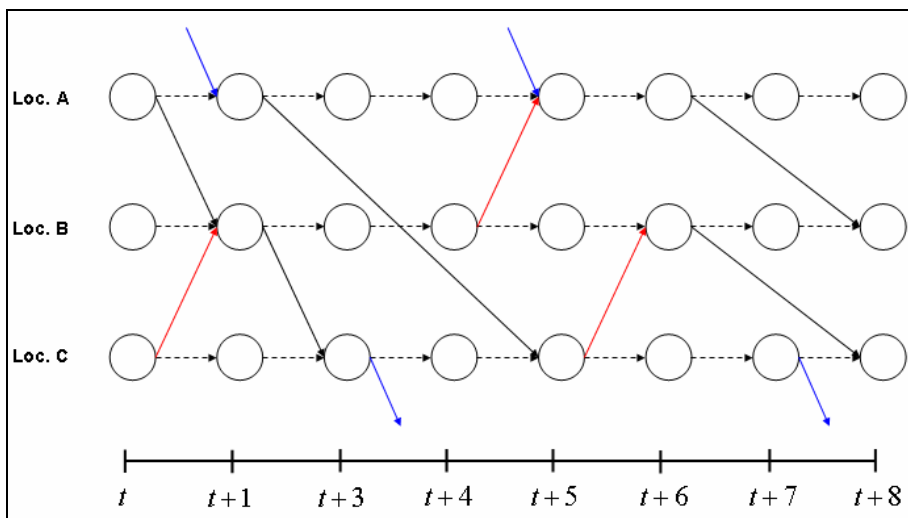


Figura 4: Representación gráfica de la interacción entre localidades.

Como se aprecia en la figura, cada localidad y su inventario de contenedores vacíos en el tiempo puede ser representada como una serie de nodos que interactúa con otras

localidades traspasándose flujos de contenedores vacíos, generando en conjunto el sistema completo en el tiempo. Cada localidad puede traspasar parte o totalidad de su inventario de contenedores vacíos desde un período hacia otro (arcos punteados). Además las localidades están expuestas a salidas de contenedores vacíos para satisfacer demanda, los cuales se reinsertan al sistema después de haber satisfecho un ciclo, igualmente vacíos y en una localidad distinta a aquella en que iniciaron su ciclo. Este flujo está representado por arcos de color negro entre distintas localidades.

Para satisfacer el desbalance comercial generado por la demanda y devolución, se realiza reposicionamiento de contenedores vacíos, los cuales salen desde localidades particulares hacia otras, como lo representan los arcos dibujados en rojo. Junto a lo anterior el sistema interactúa con un tercer tipo de nodo no explicitado en la figura que es el sistema externo, desde donde las localidades incorporan o eliminan contenedores a la flota mediante los procesos *On Hire* y *Off Hire*. Este último flujo se encuentra denotado con los arcos de color azul.

Si bien la red de flujos presenta un mayor número arcos de comunicación de flujo de contenedores vacíos y los nodos deben presentar en el tiempo cada par localidad y tipo de equipo, el ejemplo es capaz de ilustrar de manera simple las interacciones involucradas en el sistema.

3. Descripción del Problema

Los procesos de demanda y devolución de contenedores a través de la totalidad de localidades en el mundo con que trabaja la compañía, generan desbalances comerciales y éstos deben ser suplidos mediante el reposicionamiento de contenedores vacíos y el aumento o disminución del nivel de la flota operada.

El nivel desbalance comercial es distinto dependiendo de la localidad y estación que se hable. Debido a que las zonas de operación son un conjunto de localidades el desbalance comercial también puede generarse a ese nivel. A continuación se presentan algunos ejemplos. Es importante destacar que en ellos no se destaca el año de operación al igual que las zonas y tipo de equipo por conceptos de confidencialidad:

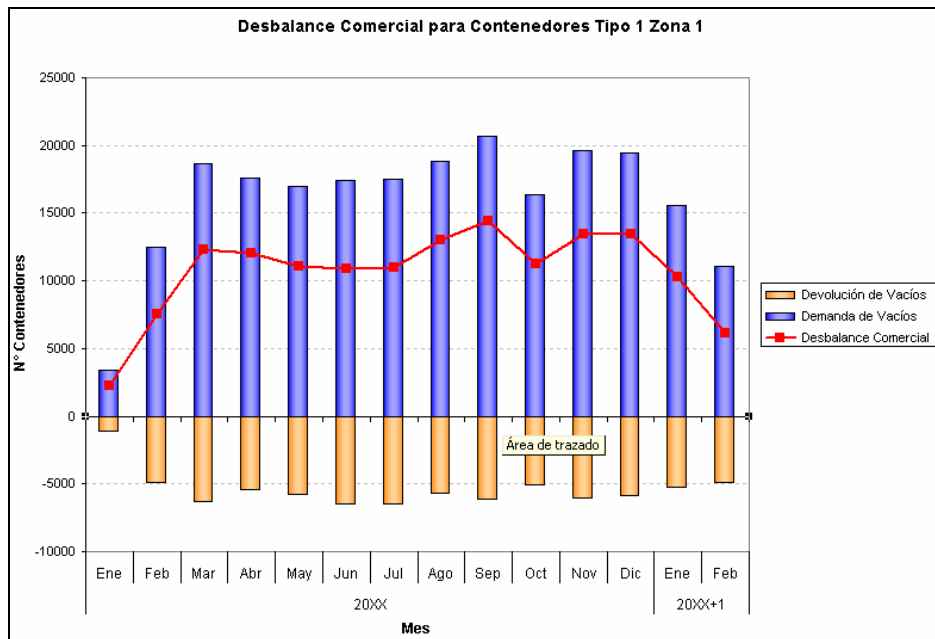


Gráfico 1: Desbalance comercial de contenedores Tipo 1 en Zona 1.

Como se aprecia en la figura, la Zona 1 presenta un gran desbalance comercial en contenedores tipo 1, con una demanda promedio mensual cercana a las 16.000 unidades y una devolución de 5.500 unidades, lo que hace que sea una zona deficitaria con un desbalance promedio de 10.500 contenedores.

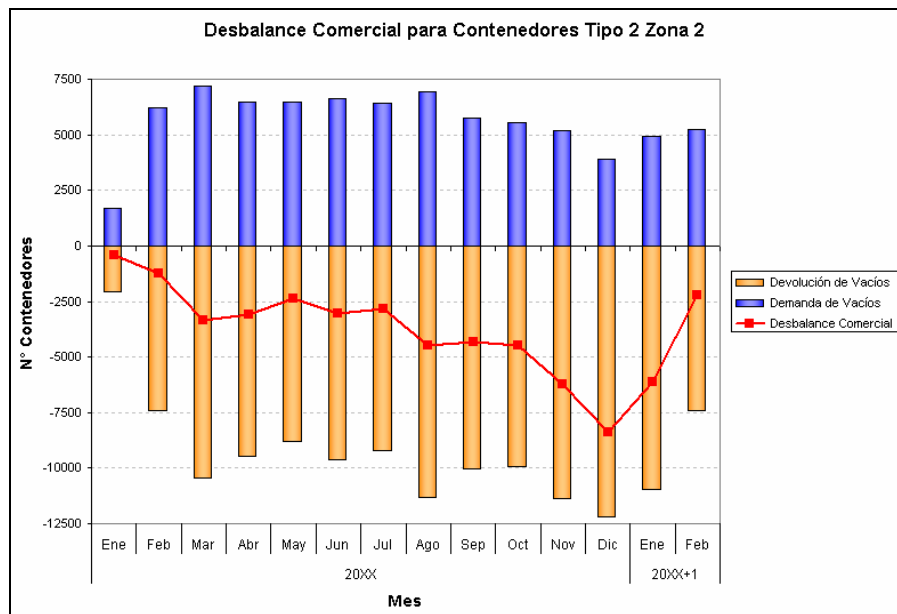


Gráfico 2: Desbalance comercial de contenedores Tipo 2 en Zona 2.

En el caso de la Zona 2, la demanda mensual por contenedores vacíos del Tipo 2 promedia las 5.600 unidades, siendo que la devolución es cercana a las 9.400 unidades lo que se traduce en que esta zona es superavitaria de contenedores vacíos.

La situación de desbalance comercial lleva inevitablemente a un desbalance en el sistema de contenedores. Esto implica la necesidad de un flujo continuo de contenedores vacíos hacia las zonas de déficit. En este contexto, lo que se puede optimizar es el costo de manejar el desbalance, reorganizando el transporte de contenedores vacíos y racionalizando la flota de contenedores en tierra.

Hoy en día, las alternativas que ocupa la empresa para manejar el desbalance son varias:

- Traer contenedores vacíos desde otros puertos para suplir el déficit, tanto desde orígenes interregionales como intrarregionales. Esto lleva consigo costos, que pueden ser en caso de navíos propios el de oportunidad del espacio que ocupan, o en caso de barcos de terceros el costo de transporte. Dado que se conoce si cada localidad es deficitaria o de superávit, la empresa publica internamente una tabla en la que se especifican los costos asociados al desbalance. Por esta vía, es posible conocer el beneficio de enviar contenedores vacíos a puertos deficitarios y, a su

vez, el beneficio logístico por retirar contenedores vacíos de puertos con superávit. Los costos considerados en este sistema se aproximan a los costos marginales estimados. Así, el beneficio es equivalente al costo de evacuar un contenedor desde un puerto de superávit al puerto deficitario más conveniente y análogamente para los costos. La idea es poder realizar un adecuado análisis de contribuciones con el fin reflejar los costos reales que enfrentará la empresa al mover posteriormente los contenedores al lugar en que los necesita. Esta es la alternativa más importante para equilibrar contenedores.

- Intercambio con otras navieras (*swap*) en la medida que a alguna le interese entregar a CSAV contenedores en un puerto deficitario y recibir en un puerto de superávit para CSAV. Sin embargo, en este caso se agrega la complicación de la identidad de los contenedores, que deben ser recuperados antes de ser entregados a la empresa de *leasing*. Además, esta posibilidad es muy limitada porque usualmente los participantes de la industria enfrenta situaciones similares de déficit y superávit.
- *Leasing* con entrega en puerto deficitario y devolución en puertos superavitarios de contenedores vacíos. A través de la toma y reentrega se pueden aliviar los desbalances de contenedores. Además, existe la posibilidad de posponer las entregas pactadas por contrato en el periodo de *build down*, pagando un sobreprecio especificado en el contrato de *leasing*.
- Arriendo de contenedores de corto plazo con entrega en puertos deficitario y devolución de acuerdo a los términos de contrato. Dado el mayor costo de este arriendo, se trata de minimizar.
- Transporte gratuito de contenedores vacíos de otra empresa, en que CSAV aprovecha para transportar carga, en vez de requerir contenedores vacíos propios o bajo arriendo normal de una compañía de *leasing*. Esta modalidad se denomina como contenedores “*one way*”.

Para planificar el reposicionamiento de contenedores vacíos que la empresa deberá realizar a futuro, ésta pronostica la demanda y devolución de contenedores que enfrentará los próximos meses y con éstos el desbalance que deberá satisfacer.

Posteriormente, tomando en cuenta las alternativas que posee planifica el reposicionamiento de contenedores vacíos respetando restricciones de capacidad de transporte, buscando en todo momento, hacerlo de la manera más económica posible. En caso que el reposicionamiento no sea suficiente para suplir el déficit debido a falta de contenedores, capacidad limitada de transporte o imposibilidad de reacción debido a tiempos de viaje, se hace uso de las otras fuentes de contenedores vacíos.

Planificar a futuro las decisiones que contrarrestarán el desbalance y permitirán una adecuada operación es una tarea compleja. Existen muchas posibles combinaciones de reposición e incorporación de contenedores a utilizar y por ende resulta difícil determinar a priori cual es la más económica, respetando un rango de factibilidad. Además, se debe realizar la tarea de pronosticar cuáles serán los desbalances a futuro, considerando la cantidad de puertos y tipos de contenedor que interactúan en el sistema, al igual que determinar cuál es el nivel de inventario de contenedores vacíos que debe haber en cada localidad para cada tipo de equipo con el fin de evitar quiebres en la demanda por errores en la estimaciones utilizadas.

La herramienta a construir busca ayudar al proceso de toma de decisiones para satisfacer el desbalance. La idea, es que pronosticando a un horizonte de 6 meses cuáles serán los desbalances, se determine el inventario mínimo que deberá tener cada localidad con el fin de contrarrestar la incertidumbre involucrada en el sistema. Así, una vez definido lo anterior e incorporadas las rutas y capacidades de transporte futuras, la herramienta buscará determinar cuáles son los reposicionamientos y variaciones a la flota que habrá que hacer en el futuro, con el fin de que la empresa pueda operar de la manera más económica posible respetando los inventarios mínimos exigidos y satisfaciendo la demanda pronosticada. La gran utilidad es que permitirá evaluar una alta cantidad de alternativas en cortos períodos de tiempo para todo el sistema en operación, respetando las relaciones de flujo entre localidades.

La razón tras la idea que la herramienta modele las decisiones sobre la operación de un horizonte futuro de seis meses tiene relación con los datos disponibles, la calidad de los pronósticos y la duración promedio de un ciclo de demanda. Además, se basa en la idea de que los tres primeros meses de modelación permitirán asistir decisiones de manera

adecuada y que el trimestre restante cumple con exigir restricciones de borde adecuadas para el sistema.

4. Fuentes de Datos para el Modelo

En CSAV, se mantienen bases de datos transaccionales que guardan información pasada referente a cada uno de los activos de la compañía. En particular, existe información referente a naves operadas, contenedores contratados, contratos, rutas y servicios de operación entre otros.

4.1. Contenedores y Flota

En el caso de los contenedores, existe una tabla de datos que guarda su historial de operación, desde el momento en que un contenedor es incorporado a la flota. Esta tabla recibe el nombre `activity equip` y almacena el detalle operacional bajo una estructura de agrupación dada por la compañía, basada en ciertas actividades principales o relevantes para un contenedor. Éstas se presentan a continuación¹⁰:

Identificador	Actividad	Descripción
CPE	Consignee to peer empty	Vacío devuelto por consignatario
CPF	Consignee to peer full	Lleno devuelto por consignatario
DEL	Delivery	Salida por subarriendo a terceros (préstamos)
DPE	Dray to peer empty	Recepción de vacío transportado por tierra
DPF	Dray to peer full	Recepción de lleno transportado por tierra
OFF	Off	Salida final de la flota
ON	On	Entrada inicial a la flota
PCF	Peer to consignee full	Partida de lleno hacia consignatario
PDE	Peer to dray empty	Carga de vacío en transporte terrestre
PDF	Peer to dray full	Carga de vacío en transporte terrestre
PSE	Peer to shipper empty	Partida de vacío hacia consignatario
PSF	Peer to shipper full	Partida de lleno hacia consignatario
PVE	Peer to vessel empty	Carga de vacío en transporte acuático
PVF	Peer to vessel full	Carga de lleno en transporte acuático
REC	Reception	Entrada por arriendo o recuperación desde terceros
SFF	Stuffing	Llenado de carga en puerto o terminal
SPE	Shipper to peer empty	Vacío devuelto por shipper
SPF	Shipper to peer full	Lleno devuelto por shipper
STE	Stripping	Descarga en puerto o terminal
TRA	Transshipment	Recepción de contenedor lleno de un tercero
VPE	Vessel to peer empty	Descarga de vacío desde transporte acuático
VPF	Vessel to peer full	Descarga de lleno desde transporte acuático

Tabla 4: Actividades registradas en la tabla `activity equip`.

¹⁰ Para revisar estas definiciones con más detalle consultar la sección Anexos en “Definición Detallada de Registro de Actividades”.

Cada vez que algún contenedor de la flota operada¹¹ efectúa alguna de las actividades mencionadas en la tabla anterior, ésta es registrada en las bases de datos de CSAV. Esta información es complementada con variables temporales y otros tipos de información relativas al contenedor o medio de transporte relacionado en caso que corresponda. Los campos principales de la tabla *activity equip* se muestran a continuación:

Campo	Descripción
activity_no	Identificador único de actividad
eqp_id	Número único de contenedor
bound_id	Dirección del viaje
voyage_no	Número del Viaje
activity_id	Actividad Realizada
next_port_id	Próxima localidad de operación
final_port_id	Localidad final de operación
service_id	Servicio de transporte
book_no	Booking asociado
contract_no	Número de Contrato
activity_date	Fecha de la actividad

Tabla 5: Descripción de un subconjunto de campos de la tabla *activity equip*.

Gracias a la información descrita anteriormente es posible determinar cada una de las principales actividades a las que ha sido sometido un contenedor y reconstruir su historia. Asimismo, se pueden relacionar las decisiones tomadas por el operador respecto de éste. A modo de ejemplo, en la Figura 5, se muestra la historia de un contenedor particular incorporado a la flota el año 2006.

¹¹ La flota operada es distinta a la flota propia. Cuando los clientes piden mover un contenedor cargado de su propiedad (*Shipper Own*) las actividades de éste también son archivadas en las bases de datos de la compañía. Lo mismo ocurre con contenedores adquiridos a préstamo.

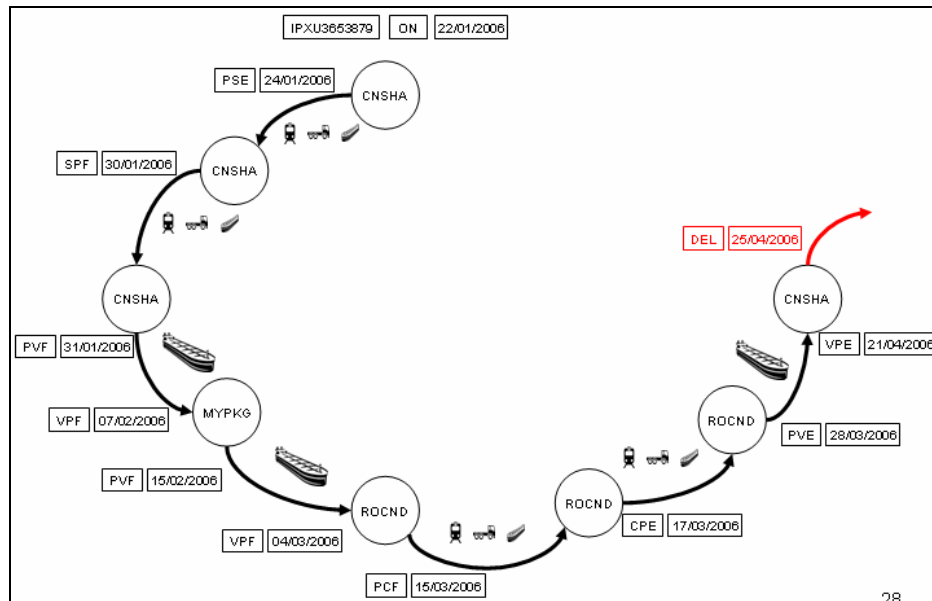


Figura 5: Secuencia disponible usando información en tabla activity Equip.

Como se aprecia en la figura el contenedor de tipo DV20 e identificador internacional IPXU3653879 se incorporó a la flota en CNSHA (Shangai) el 22/01/2006. Dos días después fue demandado y enviado a un *shipper* para que lo cargara. Éste último lo retornó a la empresa en día 30 del mismo mes para que fuese transportado con destino a ROCND (Rumania, Constanza). Un día después el contenedor fue cargado y transportado hacia dicha localidad previo cabotaje de siete días en la localidad MYPKG (Malasia, Puerto Kelang), llegando a destino el 04/03/2006. Posteriormente mediante camionaje fue enviado al consignatario el 15/03/2006 para que éste procediera a descargarlo. Dos días después el contenedor fue devuelto a manos de CSAV. Once días después de haber concluido su primer ciclo de demanda, el contenedor fue repositicionado hacia CNSHA llegando a destino el 21/04/2006. Su última actividad registrada fue un préstamo a un tercero el día 25 de Abril.

Junto con la información descrita anteriormente, se puede obtener el número de contrato de incorporación, el número de *vessel* y servicio asociado para cada viaje marítimo y la información relacionada a los viajes en tierra entre otros.

Como se aprecia en el ejemplo, la historia de un contenedor puede ser reconstruida y así las decisiones tomadas por el operador sobre éste. En este caso una primera decisión fue incorporarlo a la flota en la localidad CNSHA. La segunda fue entregarlo a un cliente

para satisfacer una demanda. Una vez que el contenedor estuvo disponible nuevamente para operación, se decidió realizar un reposicionamiento hacia CNSHA vía transporte marítimo. La última decisión registrada fue prestarlo a otra naviera.

Como se puede ver, la tabla `activity_equip` resulta de mucha utilidad para reconstruir la historia de operación de la compañía. Si bien es extremadamente grande (cerca de 60 millones de filas y 52 columnas), permite determinar:

- Demanda y devolución históricas por localidad y tipo de equipo.
- Decisiones de reposicionamiento históricas considerando localidades de origen y tiempo de respuesta asociado.
- Cantidad de contenedores propios y de terceros actualmente en operación y su número de contrato e identificador.
- Estado de la flota de contenedores en cada día de operación.
 - Contenedores viajando llenos y su origen y destino.
 - Contenedores viajando vacíos y su origen y destino.
 - Contenedores vacíos en tierra por localidad y tipo de equipo.
 - Contenedores en manos de clientes según parte del ciclo de demanda.
- Número de contenedores ingresados a la flota por conceptos de *On Hire* y préstamos de terceros.
- Número de contenedores eliminados de la flota por conceptos de *Off Hire* y préstamos de terceros.
- Cantidad de contenedores movidos históricamente entre pares de localidades mediante cada uno de los medios de transporte.
- Diferencias históricas de tiempos de operación como viajes llenos, viajes vacíos por tipo de transporte, tiempo de permanencia en cliente según localidad y tipo de equipo, etc.
- Otros.

La tabla `activity_equip` incorpora información según las actividades van ocurriendo en el mundo, sin embargo existe una diferencia de tiempo entre que una actividad realmente ocurre y es registrada. Esta diferencia depende de la localidad de registro, y se traduce en que al tomar una decisión se puede estar considerando información relativa a un contenedor que ya no es válida.

Además de lo anterior, la tabla tiene ciertos errores en los datos incorporados. Algunas veces, las secuencias entregadas para un contenedor no tienen un orden lógico, ya sea porque hay error a la hora de insertar las operaciones realizadas o bien porque se omite información en el registro.

4.2. Rutas y Naves operadas

Respecto a los barcos de carga que opera y sus recorridos, la empresa también mantiene registros históricos de su desempeño. Mediante el uso de varias tablas de datos (recalada, viaje_fisico y otras), la empresa guarda registros de las rutas que han efectuado cada uno de los barcos utilizados. Además incluye información sobre:

- Viajes realizados por cada nave.
- Servicios operados y naves asociadas al mismo.
- Recaladas realizadas por cada nave.
- Diferencias entre la fecha pronosticada de cada recalada y la fecha real de ocurrencia.
- Capacidad nominal de las naves, contratos realizados sobre las mismas y operador.
- Otros.

Una importante diferencia de este tipo de información respecto de la historia de operación de contenedores, es que ésta incluye pronósticos de comportamiento de las naves. En este sentido, se incluyen en los registros de las tablas de datos pronósticos de viajes futuros para cada servicio y nave, detallando los puertos y fechas en que éstas deberán recalcar a futuro. Lo anterior, se realiza con un horizonte mínimo de seis meses, lo que permite tener cada día una idea bastante precisa de lo que serán las rutas futuras para cada servicio, las naves que serán operadas y por ende la futura capacidad de transporte con que contará la compañía para su operación.

La capacidad de transporte de contenedores vacíos de las naves operadas depende de la cantidad de llenos que ésta esté transportando en un momento y su homologación. Como consecuencia, la cantidad de contenedores que se puede mover entre pares de recaladas varía en el tiempo. Lo anterior genera que aún teniendo la capacidad nominal de una nave sea bastante difícil determinar la capacidad de transporte de vacíos a futuro, más aún, considerando que la capacidad nominal de las naves en una información que no se encuentra disponible para todas las naves operadas.

Para la capacidad de transporte en *vessels* de vacíos estimada a futuro, la empresa cuenta con una tabla de datos llamada *asignación_x_recalada*, que contiene la estructura necesaria para almacenar información sobre cual será la capacidad de vacíos para cada nave dependiendo de su servicio y homologación. Sin embargo, la información no logra sobrepasar el 10% del total requerido considerando seis meses a futuro, debido principalmente a la dificultad de determinar cuántos contenedores llenos llevará una nave particular entre un par de localidades establecido en, por ejemplo, dos meses más.

La compañía también tiene información respecto de los contenedores que llevaban las naves al zarpar desde un puerto en el que recalaron. Ésta información, denominada *BAPLIES* contiene para una recalada pasada:

- Nave y servicio a cargo de la recalada.
- Lista de contenedores vacíos a bordo de la nave y su destino programado.
- Lista de contenedores llenos a bordo de la nave y su destino programado.
- Peso de cada contenedor según número de contenedor.
- Otros.

Si bien la información capturada en *BAPLIES* es de extrema utilidad debido a que permite determinar datos históricos de homologación y capacidad de transporte de las naves según servicio, actualmente no se posee información respecto de todas las recaladas históricas efectuadas por las naves controladas por la compañía y actualmente sólo se archiva información de cerca de la mitad de las recaladas totales.

Respecto del transporte de carga en trenes y camiones la empresa no registra una base de datos formal que muestre información relacionada a este tipo de actividad, a diferencia de lo que ocurre para el transporte marítimo primario. Sin embargo, debido a que el transporte secundario se realiza usualmente entre pares de localidades, es suficiente consultar la tabla *activity equip* como para poder determinar la capacidad utilizada y los tiempos de operación relacionados.

4.3. Contratos

En cuanto a contratos se refiere, la compañía mantiene tablas de datos con la siguiente información relativa a cada uno:

- Número identificador de contrato y su tipo.
- Empresa de *Leasing* con la cual se efectuó en contrato.
- Total de contenedores contratados y total capturado hasta hoy.
- Número identificador de cada contenedor asociado a cada contrato.
- Fechas asociadas al proceso de *build up* y *build down*.
- Localidades en las que se pueden tomar los contenedores.
- Localidades en las que se puede devolver contenedores una vez expirado el contrato y capacidad mensual de devolución en TEUS.
- Costo del contrato y penalidades.
- Otros.

Esta información es bastante completa y altamente confiable. Es actualizada una vez que se realiza cada nuevo contrato o se elimina uno antiguo debido a que ya se retornaron todos los contenedores asociados.

4.4. Demanda Futura

Todas las semanas cada oficina regional entrega a *headquarters* una planificación con alcance de un mes respecto del inventario de contenedores vacíos que mantendrá en las localidades que controla. Para hacer esta estimación determina un pronóstico de la demanda que enfrentará utilizando como base las naves que recalarán en su región. Así, considerando su inventario objetivo, la oficina regional solicita la entrada o salida de contenedores vacíos por conceptos de reposicionamiento, con el fin de mantener un inventario similar al programado.

Actualmente, los pronósticos de demanda no son del todo acertados. Las oficinas regionales tienen incentivos para sobreestimar, debido a que no cubren los costos de reposicionamiento. Esto genera un problema ya que muchas veces CENCO gasta recursos reposicionando contenedores que en la realidad no son demandados en el corto plazo, lo que además se traduce en inventarios de contenedores vacíos innecesariamente altos en algunas localidades superavitarias.

4.5. Contenedores en Clientes

Cada vez que una petición de demanda es concertada con un cliente debe insertarse en las bases de CSAV un *booking* indicando cual será la programación que ese contenedor deberá satisfacer para completar su ciclo de demanda. El *booking* posee información sobre los puertos de carga y descarga, cantidad de cabotajes a realizar, fechas estimadas de salida y arribo además de los nombres de los barcos en los que viajará el contenedor hacia destino.

Si bien la idea de los *bookings* es que estos contengan la información futura de los contenedores que han sido demandados, actualmente un poco más de la mitad de los contenedores que se encuentran en el cliente en un momento determinado tiene un *booking* actualizado indicando cual es el programa que deberá realizar el contenedor en el futuro. Lo anterior ocurre debido a que las bases de datos transaccionales no reciben toda la información “a tiempo” con lo que muchas veces, antes de ser insertada la información relacionada al *booking* el contenedor ya cumplió una o varias etapas del ciclo de demanda.

5. Reconstrucción del año 2006

El realizar una reconstrucción de las operaciones realizadas por la compañía tiene como objetivo el reproducir la historia de las decisiones tomadas, en este caso particular, durante el año 2006. La idea, es entregar el marco en el cual se desarrollan las actividades de la empresa, mostrar el nivel de detalle de las decisiones además de su magnitud y objetivo.

5.1. Método Utilizado

Con el fin de poder describir la operación de la compañía de manera adecuada se detalla el siguiente procedimiento:

1. Para el 01/01/2006 se determina el estado de la flota, es decir, se toma una “fotografía” del sistema usando la última actividad registrada para cada contenedor en la fecha indicada. Con esto, se puede agrupar los contenedores en operación en cuatro estados principales:
 - Vacío en tierra: Son aquellos contenedores cuya última actividad registrada previa al 01/01/2006 fue CPE, ON, REC, VPE o DPE entre otras¹².
 - Vacío en tránsito: Contenedores cuya última actividad registrada previa al 01/01/2006 fue un PVE o bien un PDE. La principal diferencia de este estado con el anterior radica en que si bien el contenedor se encontraba vacío en aquel momento, éste se encontraba viajando.
 - Contenedor lleno o en ciclo de demanda: Cada contenedor cuya última actividad previa al 01/01/2006 fue PSE, SPF, PVF, VPF o PCF entre otras se encontraba desarrollando alguna de las actividades que componen el ciclo de demanda.
 - Contenedores a préstamo: Contenedores cuya última actividad registrada previa al 01/01/2006 fue un DEL, se encontraban en manos de un tercero.

¹² Para más información respecto de las actividades que se traducen en que un contenedor está vacío en tierra revisar la sección Anexos en “Definición Detallada de Registro de Actividades”

2. Reconstrucción de la demanda y devolución para año 2006.

El inicio de una demanda está dado por las actividades PSE o SFF. Si bien, éstas representan sólo la demanda realmente satisfecha por la flota de contenedores de la compañía y se aleja de la demanda real en las necesidades que no fueron cubiertas (*Stock out*), actualmente es la mejor estimación que puede ser reconstruida con los datos disponibles.

Respecto de la desconsolidación de contenedores, ésta es representada por las actividades CPE y STT entre otras. Con esto, se puede reconstruir todas las veces en las que un contenedor que había satisfecho una demanda fue devuelto por el *consignee*, dejando el estado del mismo como vacío en tierra.

3. Movimiento de vacíos.

Cada contenedor registra en su historial cuando fue movido vacío desde una localidad hacia otra. En estricto rigor, mantiene información incluso sobre los movimientos dentro de una misma localidad, cuando es trasladado de *citypoint*. Con esto, se puede saber en qué momento fue trasladado de localidad, cuanto se demoró y si el traslado fue hecho por mar o tierra. Los movimientos anteriores están detallados por los pares de actividades PVE-VPE y PDE-DPE.

Es necesario destacar que la agrupación de detalle mínima con la que se puede reconstruir la historia es la de localidad, ya que si bien algunas actividades detallan el *citypoint* en el cual fueron ejecutadas, muchas otras no lo hacen, lo que dificulta obtener demandas, devoluciones y otros a ese nivel de detalle.

Un segundo antecedente no considerado a simple vista son las reparaciones y/o limpiezas de contenedores. Un contenedor es limpiado usualmente después de terminar un ciclo de demanda.

Respecto de las reparaciones, éstas se realizan cada vez que sea necesario según los estándares de la compañía mientras el contenedor se encuentra vacío en tierra. Muchas veces, un contenedor para ser reparado necesita ser trasladado de localidad o de

citypoint. Si bien los datos históricos no mantienen información sobre cuando fueron reparados o limpiados, ni cuanto se tardó en dichas operaciones, las actividades que indican que un contenedor está vacío en tierra incluyen ese tiempo de operación. En otras palabras, si por ejemplo, un contenedor indica que su última actividad realizada antes de una fecha particular es un CPE, entonces se puede suponer que éste se encontraba ya limpio y reparado, es decir, disponible para satisfacer una nueva demanda. Con esto, dado el formato de estudio, no será necesario incluir en la simulación tiempos adicionales a la desconsolidación, ya que las actividades utilizadas ya los incorporan.

Una vez detalladas las actividades relevantes y cada una de sus propiedades, se puede construir un modelo matemático para la reconstrucción de las decisiones tomadas por la empresa durante al año 2006.

5.2. Modelo de Reconstrucción

Considerando la información detallada anteriormente es posible construir para el año 2006 parámetros respecto a demanda, devolución, toma, reentrega y viajes de contenedores vacíos. Para simular la operación realizada, sólo bastará con reconstruir los flujos realizados desde un estado inicial del sistema (01/01/2006) hasta un estado final (31/12/2006). Para esto será necesario mantener información sobre los inventarios diarios de contenedores con el fin de sumar y restar los flujos de operación a dicha variable. Esto puede ser realizado con un modelo lineal simple detallado a continuación:

Parámetros Modelo Reconstrucción

SP_{ik0} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que estuvieron disponibles en la localidad i el primer día de operación. Proviene de la “fotografía” tomada al sistema al inicio del horizonte.

D_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron demandados en la localidad i en la fecha t .

R_{ikt} : Cantidad de contenedores vacías del tipo k que fueron devueltos en la localidad i en la fecha t por conceptos del término de una demanda.

ON_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron incorporados a la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de contratos (*On Hire*).

OFF_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron retirados de la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de expiración de contratos (*Off Hire*).

DEL_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que salieron de la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos préstamos con terceros.

REC_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron incorporados a la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de préstamos con terceros.

ES_{ijktsv} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron transportadas desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando medio de transporte v por conceptos de reposicionamiento.

Variables del Modelo

W_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos en tierra del tipo k en la localidad i en la fecha t por conceptos de inventario de vacíos en tierra.

H_{ikt} : Variable de holgura creada para mantener integridad de inventario. Cantidad de contenedores vacíos del tipo k incorporados en la localidad i en la fecha t .

Restricciones del Modelo

1. Flujo

$$W_{ikt+1} = W_{ikt} + ON_{ikt} + R_{ikt} + REC_{ikt} + SP_{ikt} - OFF_{ikt} - D_{ikt} - DEL_{ikt} + H_{ikt} \\ + \sum_{j \triangleright i, s \leq t} C_{jikst} - \sum_{i \triangleright j, s \geq t} C_{ijkts} + \sum_{j \triangleright i, s \leq t} V_{jikst} - \sum_{i \triangleright j, s \geq t} V_{ijkts} \quad \forall 1 \leq t \leq 364, k \in K, i \in I$$

2. Condiciones de Borde

2.1. Inicio del Sistema

$$W_{1kt} = SP_{0kt} \quad \forall k \in K, i \in I$$

2.2. Holgura Restringida

$$H_{ik0} = 0 \quad \forall k \in K, i \in I$$

3. Función Objetivo

$$MIN \sum_{i,k,t} W_{ikt} + \sum_{i,k,t} M * H_{ikt}$$

4. Naturaleza de las Variables

$$W_{ikt} \in \mathbb{N} \quad \forall t \in T, k \in K, i \in I$$

$$H_{ikt} \in \mathbb{N} \quad \forall t \in T, k \in K, i \in I$$

5.3. Consideraciones al Modelo de Reconstrucción

En la definición del modelo usado no se detallan los conjuntos de parámetros utilizados, sino sólo su definición. Lo anterior se debe a que en los próximos puntos se discute un análisis sobre la magnitud del modelo y el diseño e implementación de un análisis 80-20 sobre los recursos utilizados por la compañía.

La variable de holgura H es implementada con el fin de evitar la infactibilidad de algunas de las restricciones, debido a inconsistencias con los datos incorporados, principalmente las secuencias poco lógicas en las actividades relacionadas a la historia operacional de los contenedores.

Es necesario recalcar que la división de contenedores según tipo de equipo k está dada por hecho de que si un cliente demanda un contenedor del tipo HC40, no se le puede entregar uno del tipo DV40 a cambio, debido tanto a que muchas veces el cliente no aceptará mencionado cambio y a que la compañía no trabaja actualmente con esta metodología. Con esto, los inventarios deben ser tratados diferenciando los tipos de contenedor. Además, es importante recalcar, que la unidad utilizada en este punto es el contenedor y no las TEUS equivalentes de los equipos. Lo anterior está dado por el hecho de que las capacidades, demandas, etc. están elaboradas a dicho nivel y no existen restricciones que combinen capacidades nominales de peso o volumen de los equipos.

El modelo de reconstrucción es bastante simple en términos teóricos ya que sólo realiza una unión de los flujos registrados según las bases de datos de la compañía y repara las inconsistencias encontradas.

5.4. Dimensionamiento del Modelo Propuesto

Durante el año 2006 la compañía operó en un total de 600 localidades ya sea entregando contenedores para demanda, desconsolidando carga o bien incorporando y sacando contenedores de la flota, entre otros. Además, trabajó con un total de 17 tipos de contenedor y realizó movimientos de reposicionamiento de contenedores vacíos entre al menos 1000 pares considerando todos los medios de transporte marítimos y otros 500 pares usando medios terrestres.

Realizar una reconstrucción para la totalidad de las localidades y tipos de contenedor conlleva determinar el valor de cerca de 3.723.000 variables de estado sólo considerando los inventarios por localidad y tipo de equipo usados en 2006.

Dada la magnitud inicial del problema de reconstrucción es que se realiza un pequeño análisis 80-20 sobre las localidades y tipos de equipo operadas con el fin de restringir la reconstrucción sólo a las más importantes para la compañía. La idea, es determinar mediante un ranking cuáles localidades son las más utilizadas¹³ por la empresa e incluir en el modelo sólo las más relevantes para la operación.

Debido a que la compañía realiza una serie de actividades de distinta índole, es necesario determinar la importancia de cada localidad en términos de cada una de las posibles actividades a realizar en éstas. En la tabla que se muestra a continuación se presentan los distintos *rankings* de localidades según tipo de operación realizadas durante 2006, mostrando para cada actividad por separado cuántas localidades suman en conjunto distintos porcentajes sobre el total de actividades de un mismo tipo:

% del Total	Demanda	Devolución	Embarque Vacíos	Desembarque Vacíos	Embarque Llenos	Desembarque Llenos	Total Actividades
50%	17	29	16	10	14	17	23
60%	26	41	23	15	20	24	33
70%	41	59	32	20	28	34	46
80%	68	88	46	28	40	50	67
90%	121	139	74	44	48	82	109

Tabla 6: Número de localidades que explican distintos porcentajes de cobertura para las diferentes actividades registradas.

¹³ La utilización de una localidad puede ser medida a través de distintos factores, como por ejemplo la cantidad de demandas o el número de desconsolidaciones ocurridas en un período determinado.

Como se aprecia en la tabla, sólo 17 localidades concentran el 50% de la demanda total enfrentada por la compañía, a diferencia de las 29 necesarias para explicar el mismo porcentaje para el caso de la devolución. También se puede ver que los embarques y desembarques de llenos y vacíos están concentrados en pocas localidades, debido principalmente a las rutas utilizadas y a que no toda localidad posee puerto para dicha operación. La última columna presenta el número de localidades necesarias para explicar los porcentajes sobre el total de actividades registradas para contenedores en la compañía.

Una vez realizados los *rankings* por distintas actividades, se decide utilizar 167 localidades elaboradas a partir de la unión de las localidades que explican el 92% para cada tipo de actividad. En otras palabras se determinaron las localidades que explicaban el 92% de la demanda, posteriormente las que explicaban un 92% de la devolución y así sucesivamente para el resto de las actividades. Finalmente todas las localidades determinadas en cada análisis fueron unidas generando una lista que resultó tener 167 registros.

Vale destacar, que el resto de las localidades *secundarias* (no incluídas en el *ranking* anterior) son consideradas en el modelo de reconstrucción siendo agrupadas por zona en una localidad ficticia, es decir, se genera un total de 13 nuevas localidades que agrupan según la zona a la que pertenecen al resto de las localidades, siendo 180 el número total de localidades consideradas.

Un ejemplo de lo anterior, es la localidad ficticia llamada *WCSA*. Ésta se compone como una localidad que agrupa todas aquellas localidades en la zona *WCSA*, que no fueron suficientemente operadas como para entrar al *ranking* de las 167 más importantes. Una representación gráfica del esquema de agrupación se presenta en la Figura 6.

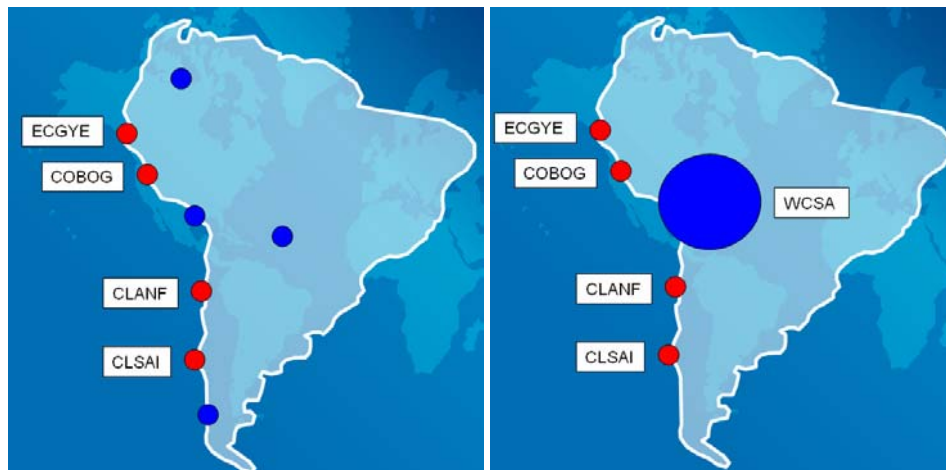


Figura 6: Ejemplo visual de agrupación de localidades secundarias.

De las localidades pertenecientes a la zona *WCSA* mostradas en la Figura 4, sólo cuatro corresponden a localidades *primarias* (en rojo). El resto de las localidades, son agrupadas en una nueva localidad llamada de la misma forma que la zona a la que pertenecen. Un antecedente de relevancia es que *WCSA* agrupa todas las operaciones ocurridas en cada una de las localidades *secundarias* que al componen. Por ejemplo, su demanda para un día es la suma de la demanda de sus componentes. Similar tratamiento se realiza la desconsolidación, embarque, desembarque, *On Hire* y *Off Hire* de contenedores. A pesar de que una localidad ficticia de agrupación puede tener un número considerable de localidades secundarias, la suma de las distintas actividades de la agrupación, como por ejemplo devoluciones de las localidades secundarias agrupadas en *WCSA*, resultan menores al 1% del total registrado en el mundo.

Como se indica en el Capítulo 2, sólo cinco tipos de contenedor explican un 99% de la composición de la flota total. Con el fin de reducir aún más el modelo a trabajar y buscando representar con suficiente fidelidad las operaciones de la empresa se decide ocupar en el análisis sólo estos cinco tipos de contenedor.

Es necesario destacar que la agrupación propuesta en el análisis 80-20 es bastante útil a la hora de generar un modelo para la operación. Ejemplo de esto, es que una sólo variable como W_{ikt} reduce el número de combinaciones a trabajar desde $17*600*365=3.723.000$ a sólo $5*180*365=328.500$ (reducción de un 91,2% del número de variables).

5.5. Resultados de la Reconstrucción

El modelo de reconstrucción fue desarrollado usando la aplicación GAMS 20.7 que a su vez utiliza CPLEX 7.5 como software de resolución. El tiempo que tarda la aplicación en reconstruir la operación del año 2006 para el total de 180 localidades y 5 tipos de equipo promedia los tres minutos en un computador con un procesador Intel Pentium M de 1,73 GHz y 2 Giga RAM de memoria física. Para mayor información sobre el código utilizado consultar Anexos en “Modelo en GAMS Reconstrucción 2006”.

Los resultados obtenidos permiten reconstruir la operación para cada localidad y tipo de equipo, mostrando cual fue su inventario de contenedores vacíos en el tiempo, cuántos *On Hire* hubo en el horizonte y cuántos contenedores fueron demandados y devueltos, entre otros.

A continuación ejemplo del resultado de la reconstrucción para la localidad CNSHA y tipo de contenedor DV20 los primeros diez días de la reconstrucción:

Fecha	WI	D	R	ON	OFF	DEL	REC	V_OUT	V_IN	NV_IN	NV_OUT
01-01-2006	1245	68	3	0	7	0	0	0	0	0	0
02-01-2006	1173	72	41	0	24	0	0	0	0	0	0
03-01-2006	1118	100	21	0	0	0	2	0	0	0	0
04-01-2006	1041	70	30	24	2	0	0	0	5	0	0
05-01-2006	1028	23	46	2	1	2	0	0	0	0	0
06-01-2006	1050	28	33	4	0	0	0	0	113	0	0
07-01-2006	1172	125	83	1	1	4	0	0	0	0	0
08-01-2006	1126	115	16	0	0	25	0	1	56	0	0
09-01-2006	1057	162	14	0	2	21	0	0	1	0	0
10-01-2006	887	124	33	0	5	0	0	0	0	0	0

Tabla 7: Ejemplo de resultados modelo de simulación.

En la tabla se muestra el inventario (*WI*) de la localidad CNSHA junto a las entradas y salidas de contenedores vacíos por conceptos de demanda (*D*), devolución (*R*) y contratos (*ON* y *OFF*). Además se detalla para cada fecha cuántos contenedores vacíos fueron reposicionados ese día hacia otras localidades usando transporte acuático (*V_OUT*) y transporte terrestre (*NV_OUT*). De la misma manera se detallan el número de equipos DV20 que llegaron provenientes desde otras localidades por conceptos de reposicionamiento (*V_IN* y *NV_IN*).

La reconstrucción de operaciones permite también visualizar el inventario de contenedores vacíos que mantuvo cada localidad, como se puede ver en el siguiente gráfico de la Localidad 1 Tipo de Equipo 1:

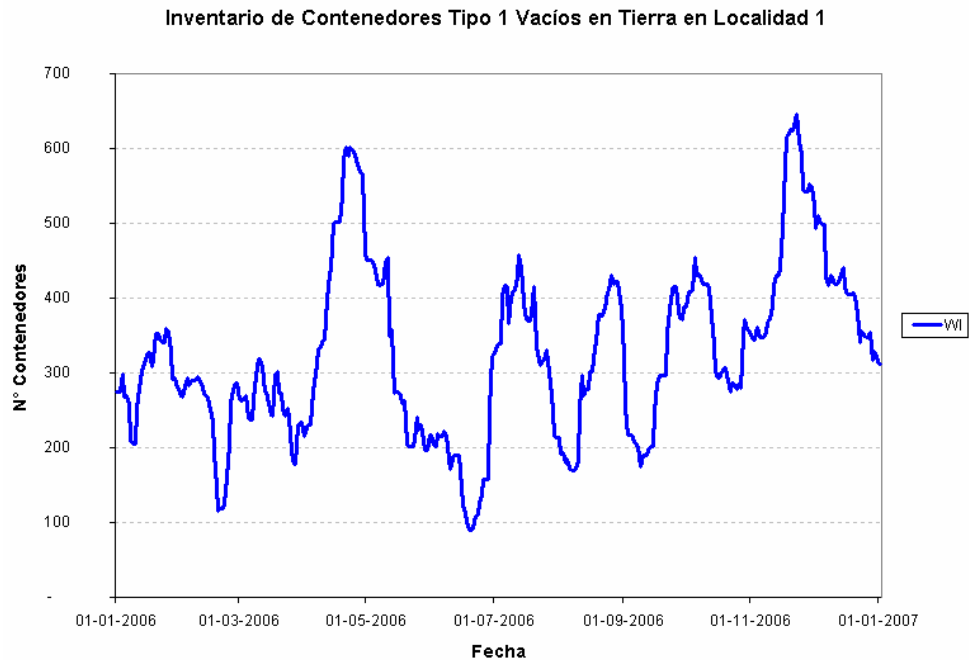


Gráfico 3: Inventario de contenedores Tipo 1 usado en Localidad 1 en 2006.

Como se aprecia en la figura la Localidad 1 mantuvo un inventario de equipos Tipo 1 bastante variable en términos de nivel durante el año 2006. Se puede ver también, que hubo cerca de 95 contenedores que nunca fueron utilizados y que hubo períodos con stock relativamente alto considerando que la demanda media de contenedores de este tipo enfrentada por la localidad en 2006 fue de 24 contenedores diarios y que su devolución media fue de 27 contenedores diarios. En este sentido, es importante destacar que esta localidad al haber sido superavitaria, reposicionó un total de 745 contenedores hacia otras localidades, principalmente a CNCWN (China, Chiwan), sin embargo, su actividad de reposicionamiento podría haber sido mayor.

6. Modelo Determinístico y Aplicación al año 2006

Una vez realizada la reconstrucción para el año 2006 es posible determinar los volúmenes de operación asociados por localidad y tipo de equipo, así como la demanda satisfecha en dicho período, la cantidad de contenedores reposicionados entre localidades para cada medio de transporte y los inventarios utilizados entre otros. Como es de esperar, surgen una serie de preguntas respecto a la operación efectuada:

- ¿Existía alguna forma de mejorar las operaciones efectuadas por la compañía?
- ¿Fue posible haber operado con una flota más pequeña satisfaciendo los volúmenes de demanda que la compañía enfrentó?
- ¿Existieron viajes de reposicionamiento que podrían haberse evitado?
- ¿Es alguno de los costos asociados al servicio que presta la empresa reducible en un monto considerable?

Para abordar estas inquietudes se crear un modelo lineal que ayude a responderlas.

6.1. Objetivos del Modelo Determinístico

El crear un modelo determinístico aplicado a las operaciones efectuadas por CSAV el año 2006, tiene como objetivo general el determinar si los costos incurridos en brindar el servicio de transporte de carga marítima en dicho período pudieron haber sido menores, determinando en qué parte de la operación existe una mayor potencial de reducción.

En particular, la creación de un modelo determinístico, tiene los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el óptimo de viajes de reposicionamiento que hubiese satisfecho la operación en 2006.
- Determinar niveles de flota adecuados¹⁴ para la operación en similar período.

¹⁴ Los niveles de flota óptimos no son necesariamente menores a los actuales. Dependiendo de los costos asociados, puede que sea más económico para el total de la operación, mantener una flota “grande” con el fin de evitar viajes de reposicionamiento.

- Determinar si el nivel de *On Hire* realizados pudo haber sido menor.
- Determinar qué decisiones realizadas tienen un mayor potencial de mejora para el futuro.

Es importante destacar que los grandes costos “reducibles” que hoy enfrenta la compañía son los de *On Hire*, reposicionamiento y manutención de flota (costo de stock vacío en tierra por conceptos de bodegaje). El resto de los costos de operación como limpieza, transporte de llenos y reparación, son costos en los que necesariamente se debe incurrir en orden de satisfacer las demandas por el servicio que brinda CSAV. Por lo anterior, dichos costos no son incorporados en el análisis.

6.2. Modelo Utilizado

Como el modelo determinístico es aplicado al año 2006, los parámetros descritos en la reconstrucción son exactamente los mismos a ser ocupados en esta etapa. Si bien el objetivo es determinar potenciales reducciones de costos, la demanda por parte de los clientes en 2006 debe ser satisfecha, así como las localidades de desconsolidación deben ser respetadas. Del mismo modo, los estados iniciales y finales de la flota deben ser lo suficientemente similares, con el fin de que el óptimo encontrado por el modelo represente una operación factible para la compañía.

Parámetros Modelo Determinístico

SP_{ik0} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que estuvieron disponibles en la localidad i el primer día de operación. Proviene de la “fotografía” tomada al sistema al inicio del horizonte.

D_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron demandados en la localidad i en la fecha t .

R_{ikt} : Cantidad de contenedores vacías del tipo k que fueron devueltos en la localidad i en la fecha t por conceptos del término de una demanda.

FIN_{ik} : Contenedores vacíos en tierra del tipo k que la empresa tuvo como inventario real en la localidad i en la fecha al final del horizonte analizado (31/12/2006).

ON_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron incorporados a la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de contratos (*On Hire*).

OFF_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron retirados de la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de expiración de contratos (*Off Hire*).

DEL_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que salieron de la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos préstamos con terceros.

REC_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron incorporados a la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de préstamos con terceros.

ES_{ijktsv} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k que fueron transportadas desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando medio de transporte v por conceptos de reposicionamiento.

$COSTX_{ijktsv}$: Costo de transporte de un contenedor vacío del tipo k desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando un medio de transporte v por conceptos de reposicionamiento.

$COSTW_{ikt}$: Costo por contenedor de tipo k vacío en tierra en la localidad i en la fecha t por conceptos de bodegaje.

$COSTON_{ikt}$: Costo de *On Hire* por contenedor de tipo k en la localidad i en la fecha t .

Variables del Modelo Determinístico

W_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos en tierra del tipo k en la localidad i en la fecha t por conceptos de inventario de vacíos en tierra.

X_{ijktsv} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k a ser transportados desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando medio de transporte v por conceptos de reposicionamiento.

ONV_{ikt} : Cantidad de contenedores vacíos del tipo k a ser incorporados a la flota en la localidad i en la fecha t .

$OFFV_{ikt}$: Cantidad de TEUS vacías del tipo k a ser eliminadas de la flota en la localidad i en la fecha t .

H_{ikt} : Variable de holgura creada para mantener integridad de inventario. Cantidad de contenedores vacíos del tipo k a ser incorporados en la localidad i en la fecha t .

Restricciones del Modelo Determinístico

1. Flujo:

$$W_{ikt+1} = W_{ikt} + ONV_{ikt} + R_{ikt} + REC_{ikt} + SP_{ikt} - OFFV_{ikt} - D_{ikt} - DEL_{ikt} + H_{ikt} \\ + \sum_{j \diamond i, s \leq t, v} X_{jksv} - \sum_{i \diamond j, s \geq t, v} X_{ijksv} \quad \forall 1 \leq t \leq 365, k \in K, i \in I$$

2. Capacidad de Transporte:

$$X_{ijksv} \leq ES_{ijksv} \quad \forall k \in K, i, j \in I, t, s \in T, v \in V$$

3. Capacidad On Hire:

$$ONV_{ikt} \leq ON_{ikt} \quad \forall k \in K, i \in I, t \in T$$

4. Capacidad OFF Hire:

$$OFFV_{ikt} \geq OFF_{ikt} \quad \forall k \in K, i \in I, t \in T$$

5. Condiciones de Borde

5.1. Viajes al inicio del horizonte

$$X_{ijksv} = ES_{ijksv} \quad \forall k \in K, i, j \in I, t = 0, s \in T, v \in V$$

5.2. Viajes al final del horizonte

$$X_{ijksv} = ES_{ijksv} \quad \forall k \in K, i, j \in I, t \in T, s = 366, v \in V$$

5.3. Inicio del Sistema:

$$W_{1kt} = SP_{0kt} \quad \forall k \in K, i \in I$$

5.4. Inventario al final del horizonte:

$$W_{ikt} \geq \text{factor} * FIN_{ik} \quad \forall k \in K, i \in I, t = 366$$

5.5. Off Hire al inicio del horizonte

$$OFFV_{ikt} = 0 \quad \forall k \in K, i \in I, t = 0$$

Función Objetivo

$$\text{MIN} \sum_{i,k,t} W_{ikt} + \sum_{i,j,k,t,s,v} 100 * X_{ijktsv} + \sum_{i,k,t} M * ONV_{ikt} - \sum_{i,k,t} OFFV_{ikt}$$

Naturaleza de las Variables

$$W_{ikt} \in \mathbb{N} \quad \forall t \in T, k \in K, i \in I$$

$$ONV_{ikt} \in \mathbb{N} \quad \forall t \in T, k \in K, i \in I$$

$$OFFV_{ikt} \in \mathbb{N} \quad \forall t \in T, k \in K, i \in I$$

$$X_{ijktsv} \in \mathbb{N} \quad \forall t, s \in T, k \in K, i, j \in I, v \in V$$

Dominio de Conjuntos

$$T = \{0,1,2,\dots,366\}$$

$$K = \{1,2,3,4,5\}$$

$$I = \{1,2,3,\dots,180\}$$

El dominio de los conjuntos es similar al utilizado en la reconstrucción con el fin de que los resultados de ambos modelos sean comparables. El conjunto T cubre los 365 días de operación más un día al inicio y al final para poder declarar las funciones de borde. El conjunto de equipos, K , considera los 5 tipos de contenedor más importantes. De la misma manera I incluye las 167 localidades primarias más importantes y las 13 restantes que agrupan para cada zona, la totalidad de las secundarias.

6.3. Observaciones al Modelo Determinístico Propuesto

La razón de que el modelo a utilizar para la comparación sea determinístico radica en que esta modalidad permite encontrar una cota superior teórica en términos del ahorro que se podría haber logrado respecto de las operaciones reales del año 2006. En caso que esta cota superior sea relativamente pequeña, se traduce en que la operación actual de la compañía está muy cercana al óptimo lo que pondría en duda la utilidad de la implementación de un modelo de estas características. En caso contrario, es decir, que entregue diferencias en costo relativamente amplias, no sólo validará la implementación, sino que además permitirá focalizar el estudio en los sectores donde se perciba un mayor margen de potencial ganancia.

Un segundo factor que valida que el modelo de comparación sea determinístico es la extrema dificultad que conlleva el construir un escenario pasado incluyendo incertidumbre. El retroceder en el tiempo y reconstruir el proceso de toma de decisiones de un operador incluyendo toda la incertidumbre a la que estaba expuesto a la hora de decidir, no sólo resulta imposible con los datos con que cuenta la compañía actualmente, sino que además no permite generar una cota superior teórica de potencial de ahorro.

Dentro de la restricción 1 del modelo (Flujo) se introduce el parámetro H , el cual no es declarado en los parámetros del modelo. Éste corresponde a las holguras determinadas a partir de la simulación, que sirven para corregir los problemas de consistencia del flujo en los datos utilizados. Si bien este valor denota imperfección en los datos utilizados, la suma total de los valores de la variable es de 153 contenedores, valor bastante menor si se considera que la flota total utilizada promedio en el período era de 300.000 unidades.

Las variables ONV , $OFFV$ y X , se encuentran restringidas por los valores reales de $ON\ Hire$, $Off\ Hire$ y reposicionamiento real de contenedores vacíos, según las restricciones 2,3 y 4 respectivamente. Para el caso de los viajes de contenedores, se decidió utilizar como capacidad máxima de transporte la cantidad real de movimientos realizados por la empresa realizado en período, respetando las fechas de zarpe y arribo, además de los pares de localidades comunicados, debido a la dificultad que existe en construir el

escenario real de posibilidades que se tuvo durante el año 2006 con los datos actualmente disponibles. Lo anterior, se traduce en que el modelo podrá elegir si realizar o no los viajes que realmente se hicieron, sin poder analizar otras combinaciones para la mejora de su desempeño.

Algo similar a lo descrito en el párrafo anterior ocurre en el caso de los *On Hire* y *Off Hire*. Para los primeros, el modelo sólo podrá escoger si realizar o no las decisiones que fueron tomadas en la realidad sin poder determinar a priori mejores combinaciones para la toma de contenedores. En el caso de los *Off Hire*, el modelo primero deberá satisfacer todas las devoluciones efectuadas en el período incurriendo en todos los costos en que esto se traduce y posteriormente deberá analizar si puede realizar o no más devoluciones de contenedores que no utilizará en el período. Es importante destacar que ambas exigencias tienen impacto también en el transporte de contenedores, ya que muchas veces se incorporan contenedores a la flota en una localidad particular y después son reubicados para satisfacer demandas en otras localidades.

En la ecuación 5.4 se establece la relación que debe haber entre el inventario real que tenía la compañía el último día del horizonte del modelo y el valor que propone el modelo. La idea principal detrás de esta restricción es exigir que la minimización de los viajes y flota a utilizar no se traduzcan en destruir la operación que habrá posterior al horizonte, dejando una flota “desordenada” o con un nivel de contenedores muy bajo. Sin embargo, en esta ecuación se incorpora un *factor* de operación que tiene como objetivo ir relajando la restricción a medida que su valor decrece.

Si bien el modelo determinístico creado es bastante restringido en términos de los posibles escenarios que puede analizar dadas las restricciones planteadas para las variables principales, se considera que es capaz de dar a conocer repuestas razonables respecto de su objetivo. Para medir el desempeño actual de la empresa y sus potenciales mejoras, no es necesario analizar cada una de las decisiones que se podrían haber tomado, si no que basta con chequear si las decisiones tomadas podrían haber sido similares, pero involucrando menores volúmenes y costos en la operación. Además el modelo planteado ofrece soluciones claramente factibles en términos operacionales para la compañía.

6.4. Resultados

Debido a que el modelo presenta variables respecto de reposicionamiento, *On Hire*, *Off Hire* e inventario, se decide realizar dos corridas similares, pero variando la libertad de las variables involucradas. En este sentido, se realizan las siguientes instancias:

- Instancia 1: Tiene como objetivo de optimizar sólo el movimiento de contenedores vacíos, para lo cual se fijan las variables ONV y $OFFV$ con el valor real que éstas registraron durante 2006. En este sentido, se exige igualdad de flujos en las restricciones 3 y 4 quedando éstas como sigue:

$$ONV_{ikt} = ON_{ikt} \quad \forall k \in K, i \in I, t \in T$$

$$OFFV_{ikt} = OFF_{ikt} \quad \forall k \in K, i \in I, t \in T$$

- Instancia 2: Tiene como objetivo determinar cual era el volumen de flota necesario para operar durante el 2006 junto con optimizar los movimientos de contenedores vacíos por conceptos de reposicionamiento. Para esto de las ecuaciones 3 y 4 se consideran en su versión original, además de relajar la restricción 5.4 reduciendo el factor utilizado en la instancia 1 en un 30%.

El modelo determinístico fue implementado para sus dos instancias usando la aplicación GAMS 20.7 que a su vez utiliza CPLEX 7.5 como software de resolución. El tiempo que tarda la aplicación en resolver ambas instancias del modelo para un total de 180 localidades y 5 tipos de equipo no supera los 3 minutos en un computador con un procesador Intel Pentium M de 1,73 GHz y 2 Giga RAM de memoria física. Para mayor información sobre el código utilizado consultar Anexos en “Código en GAMS Modelo Determinístico”.

Los resultados obtenidos para cada uno de las dos instancias determinísticas permiten ver cuales hubiesen sido las decisiones óptimas a realizar durante el 2006 en términos de costos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para la Localidad 1 y contenedor Tipo 1 para los diez primeros días del año 2006 usando las dos instancias del modelo. En cada una se detallan con rojo los valores asignados a las variables de cada instancia.

- Instancia 1: Optimización del reposicionamiento de contenedores vacíos.

Fecha	WI	D	R	ON	OFF	DEL	REC	V_OUT	V_IN	NV_IN	NV_OUT
01-01-2006	1245	68	3	0	7	0	0	0	0	0	0
02-01-2006	1173	72	41	0	24	0	0	0	0	0	0
03-01-2006	1118	100	21	0	0	0	2	0	0	0	0
04-01-2006	1041	70	30	24	2	0	0	0	5	0	0
05-01-2006	1028	23	46	2	1	2	0	0	0	0	0
06-01-2006	1050	28	33	4	0	0	0	0	113	0	0
07-01-2006	1172	125	83	1	1	4	0	0	0	0	0
08-01-2006	1126	115	16	0	0	25	0	1	56	0	0
09-01-2006	1057	162	14	0	2	21	0	0	0	0	0
10-01-2006	886	124	33	0	5	0	0	0	0	0	0

Tabla 8: Propuesta Instancia 1 para los 10 primeros días de operación en Localidad 1 equipo Tipo 1.

Como se aprecia en la tabla, durante los primeros días de operación se podría haber evitado sólo el ingreso de un contenedor. Lo anterior está dado por el gran nivel de demanda que enfrenta dicha localidad.

- Instancia 2: Optimización del reposicionamiento de contenedores vacíos y nivel de flota.

Fecha	WI	D	R	ONV	OFFV	OFF	DEL	REC	V_OUT	V_IN	NV_IN	NV_OUT
01-01-2006	1245	68	3	0	0	7	0	0	0	0	0	0
02-01-2006	1173	72	41	0	0	24	0	0	0	0	0	0
03-01-2006	1118	100	21	0	0	0	0	2	0	0	0	0
04-01-2006	1041	70	30	0	0	2	0	0	0	5	0	0
05-01-2006	1004	23	46	0	0	1	2	0	0	0	0	0
06-01-2006	1024	28	33	0	0	0	0	0	0	113	0	0
07-01-2006	1142	125	83	0	0	1	4	0	0	0	0	0
08-01-2006	1095	115	16	0	0	0	25	0	0	56	0	0
09-01-2006	1027	162	14	0	0	2	21	0	0	0	0	0
10-01-2006	856	124	33	0	0	5	0	0	0	0	0	0

Tabla 9: Propuesta Instancia 2 para los 10 primeros días de operación en Localidad 1 equipo Tipo 1.

Respecto del nivel de *On Hire* y *Off Hire*, el modelo indica que pudieron haber sido reducidos en gran manera, al menos durante los diez primeros días de operación.

Los resultados expuestos hasta este punto son bastantes reducidos como para poder determinar las ganancias que presenta un modelo de estas características, sin embargo, el objetivo de las tablas expuestas es sólo indicar el tipo de información que puede ser recopilada para cada par localidad y tipo de equipo .Los resultados globales y la implicancia que podrían tener sobre la operación total de la empresa se muestran en el capítulo siguiente.

7. Comparación Reconstrucción y Modelo Determinístico

Una vez desarrollada la reconstrucción de la operación del año 2006 y obtenidos los resultados del modelo matemático determinístico que buscaba encontrar oportunidades de mejora, es necesario realizar una comparación de las potenciales ganancias.

7.1. Resultados Generales

Durante el año 2006, la empresa realizó enfrentó la siguiente demanda y devolución de contenedores (volúmenes corregidos para confidencialidad):

Equipo	Demandas**	Devoluciones**
DV20	348.696	345.672
HC40	136.029	136.407
DV40	247.362	242.551
RH40	2.130	2.156
RE20	70.412	69.459
Total	804.630	796.244

Tabla 10: Demandas y devoluciones por tipo de contenedor enfrentadas por la compañía en 2006.

Para poder satisfacer lo anterior movió contenedores vacíos e incrementó la flota, junto con realizar intercambios estratégicos. Estos valores corregidos según factor, se presentan a continuación:

Equipo	On Hire	Off Hire	Deliveries	Receptions	Rep. Vacíos Agua	Rep. Vacíos Tierra
DV20	23.897	13.578	5.246	5.987	136.235	28.834
HC40	9.454	7.678	1.501	1.964	52.019	9.804
DV40	17.019	6.012	3.130	3.360	116.111	20.529
RH40	337	61	3	1	2.393	166
RE20	1.281	173	106	143	59.204	7.676
Total	51.987	27.502	9.986	11.454	365.963	67.009

Tabla 11: Volúmenes corregidos de las decisiones tomadas por la empresa en 2006.

Como se aprecia en las tablas anteriores los volúmenes de decisión para 2006 fueron bastante grandes. Para satisfacer una demanda (corregida) de cerca de 800.000 contenedores hubo que reposicionar un valor cercano a los 366.000 equipos por medio

de transporte acuático y otros 67.000 por tierra. Además fue necesario incorporar casi 25.000 equipos netos a la flota, además de realizar otros tantos intercambios con terceros.

Lo resultados del modelo determinístico propuesto son bastantes sugerentes en términos de las soluciones que entrega, para cada una de las dos instancias estudiadas. Éstos se presentan a continuación para el caso de los reposicionamientos de vacíos y *On Hire*.

Modelo	Rep. Vacíos Agua	% Baja	Rep. Vacíos Tierra	% Baja	On Hire	% Baja
Simulación	365.963	-	67.009	-	51.987	-
Instancia 1	338.386	8%	46.086	31%	51.987	-
Instancia 2	327.206	11%	44.574	33%	41.481	20%

Tabla 12: Comparación entre reconstrucción y modelo determinístico.

Como la tabla anterior indica la instancia uno habría permitido reducir los viajes de reposicionamiento por agua (Rep. Vacíos Agua) y tierra (Rep. Vacíos Tierra) en un 8% y 31% respectivamente.

En la segunda instancia, se muestra una potencial reducción de viajes aún mayor. Lo anterior es explicado por el hecho de que a esta instancia se le exige un inventario final menor que el anterior, por lo que algunos viajes de reposicionamiento no deben ser realizados. Además se muestra que los *On Hire* podrían haber sido reducidos en un 20%. Lo anterior es explicado por el hecho que a demanda enfrentada por la compañía no solicitaba un alza en incorporación de contenedores tan alta como la efectuada en 2006.

Respecto del inventario de contenedores vacíos en tierra necesarios en cada modelo estos pueden ser visualizados, corregidos por un factor de confidencialidad, en el Gráfico 4.

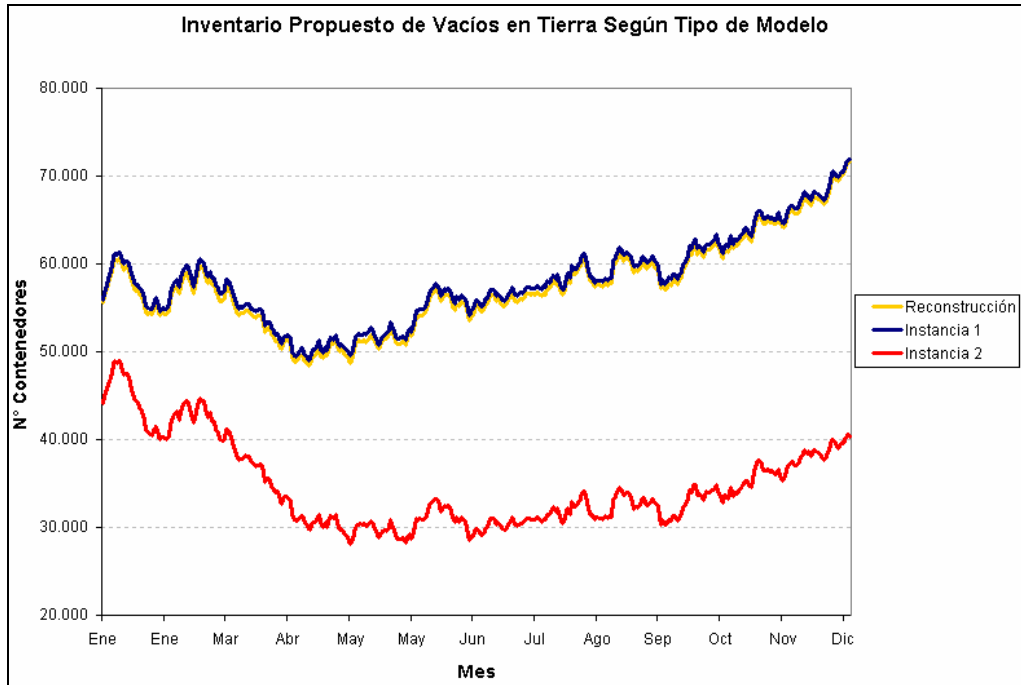


Gráfico 4: Comparación de nivel de inventario propuesto por simulación y modelo determinístico.

Debido a que la instancia uno no permite alteración al nivel de la flota total, el número de vacíos en tierra aumenta levemente respecto de la reconstrucción, ya que existen menos contenedores viajando por conceptos de reposicionamiento. La instancia dos muestra que la operación en 2006 pudo haber sido efectuada con un nivel de contenedores vacíos en tierra bastante menor al utilizado en la realidad.

7.2. Observaciones a los resultados Obtenidos

Recordando lo expuesto anteriormente, si bien el modelo permite mejorar en la operación, las restricciones usadas son más exigentes que las posibilidades que ofrece la realidad. En este sentido, en ambas instancias se supuso que la capacidad máxima de transporte de contenedores vacíos fue lo que realmente la compañía movió, algo similar a las restricciones utilizadas sobre las variables de *On Hire* y *Off Hire*. Además, se obligó al modelo a realizar los mismos *deliveries* y *receptions* realizados por la empresa en 2006, volúmenes que podrían haber sido decididos por el modelo.

Si bien los resultados obtenidos en la comparación de las soluciones del modelo determinístico con la operación real de la compañía son bastante alentadores en términos de la reducción en costos que podría traer la implementación de un modelo de estas características, e incluso, podrían ser mejorados incorporando más variables y posibilidades de transporte, es importante mencionar, que los resultados obtenidos son un máximo potencial teórico de lo que se podría reducir en términos operacionales. Lo anterior está dado por el hecho de que los parámetros considerados están aislados de la incertidumbre que ocurre en la realidad. Además el objetivo del modelo es determinar “el orden” de reducción que podría alcanzarse usando herramientas matemáticas versus la planificación manual.

8. Incertidumbre del Sistema.

En el capítulo anterior se implementó un modelo determinístico a las operaciones del año 2006 y se comparó con la reconstrucción para similar período. Con esto, se buscó encontrar un resultado teórico que representara cuales habrían sido las mejores decisiones a tomar en dicho período. En otras palabras, el modelo buscaba encontrar un conjunto de decisiones, las cuales en caso que hubiesen sido aplicadas durante el período en análisis, habrían generado un costo operacional imposible de reducir, dentro del marco de restricciones y supuestos utilizados.

El principal cuidado con este modelo determinístico es que no se consideró en la construcción de sus parámetros, la incertidumbre propia de tomar decisiones sobre un futuro no conocido. Los parámetros del modelo fueron elaborados usando los datos reales de los eventos ocurridos en el pasado, como la demanda que efectivamente se satisfizo, las devoluciones, tiempos de viajes, consolidaciones y desconsolidaciones que realmente acontecieron, las recaladas y capacidades que ciertamente existieron, así como todos los parámetros de posición y situación de los contenedores, entre otros.

En la realidad, aún cuando se utilizan pronósticos de demanda y devoluciones, sistemas de información con permanente actualización de datos, contratos con naves y operadores, predefinición de rutas y calendarización futura de recaladas, en otras medidas de gestión, existen aspectos como la demanda y devoluciones futuras, la capacidad real e itinerarios de las naves, e inclusive la cantidad y estado actual de los contenedores, que poseen una importante componente de incertidumbre causada por información imperfecta, posibles contingencias o simplemente porque son variables fuera del control de la empresa como la demanda o devolución de contenedores.

De esta forma al desarrollar el modelo con un *set* de parámetros que pronostica el futuro, sin considerar la incertidumbre asociada, se podría obtener un conjunto de decisiones óptimas para un escenario particular proyectado hacia el futuro, que resulten imposibles de aplicar a una realidad diferente o que enfrenten requerimientos superiores a los pronosticados y que como consecuencia no se cumpla el objetivo o meta de los procesos operacionales.

A la hora de generar un modelo matemático que busque soluciones cercanas al óptimo (o bien óptimas) respecto de la operación futura de CSAV, es necesario realizar ciertas estimaciones de lo que será la operación de la compañía y la relación que tendrá con sus clientes. Del mismo modo deberán considerarse posibles alteraciones en la planificación, ya sea por factores controlados o bien externos.

Se detallan a continuación las principales fuentes de incertidumbre que enfrenta la compañía a la hora de pronosticar operaciones hacia el futuro. Como es de esperar, éstas serán incorporadas en el modelo final de operación.

8.1. Demanda y Devolución de Contenedores

La demanda de contenedores que enfrentará la empresa a partir de “el día de mañana” es incierta. Si bien consultando la información histórica y *bookings* efectuados hasta hoy puede estimarse cual será la demanda hacia el futuro, dicha estimación tiene asociado un error intrínscico. Dado lo anterior, es que a la hora buscar buenas decisiones para un escenario proyectado es necesario incorporar los potenciales problemas que generará el error asociado a la estimación de los contenedores a ser demandados.

De modo similar, las devoluciones futuras de contenedores usados por un cliente para el transporte de carga se deben estimar. Determinar en qué fecha y localidad será devuelto un contenedor que aún ni siquiera ha sido demandado tiene un factor de incertidumbre alto. Sin embargo, de manera agregada es posible realizar pronósticos basados en el comportamiento histórico de cada localidad.

8.2. Retrasos en los medios de Transporte

8.2.1. Embarcaciones Primarias

Como se ha mencionado anteriormente, las embarcaciones en las que la empresa realiza los movimientos de contenedores vacíos y llenos tienen programas preestablecidos de operación futura que van desde los 6 meses hacia adelante dependiendo del servicio al que esté asociado cada nave. En este sentido, cada nave con la que opera la empresa tiene un programa de operación, que detalla en qué localidades recalará en el futuro próximo, estableciendo una ruta proyectada, lo que permite planificar la operación futura.

Como es razonable pensar, muchos de estos calendarios futuros no serán ejecutados a cabalidad. En algunos casos, los barcos no realizarán recaladas programadas en ciertas localidades debido a inclemencias del tiempo, intentos de recuperar un retraso en el calendario planeado o bien debido a que simplemente su capacidad de transporte está agotada y ninguno de los contenedores llenos a bordo requiere ser descargado en la localidad omitida. Otras veces, simplemente se retrasarán o adelantarán respecto de su calendario propuesto de operación. Es necesario recordar que este medio de transporte comunica distintos continentes, tardando en algunos viajes hasta 45 días en llegar desde una localidad particular hasta su próximo destino.

Un tercer punto que aporta a la incertidumbre asociada a las rutas preestablecidas de buques, es que muchas veces antes de ocurran los 6 meses de operación calendarizados, ciertas naves cesarán su operación, ya sea por que el servicio ha sido eliminado o bien reestructurado.

Lo anterior tiene gran impacto a la hora de planificar operaciones hacia el futuro. Si hoy se decide repositonar por ejemplo 100 contenedores vacíos hacia una localidad particular, debido a posteriores cambios al calendario de operación de las naves, estos contenedores podrían llegar más tarde de lo planificado generando potenciales quiebres de stock en la localidad de destino.

8.2.2. Embarcaciones Secundarias

Este medio de transporte también posee un grado de incertidumbre respecto a la planificación a futuro. El tiempo que demorará un camión en transportar en el futuro un contenedor particular desde una localidad A hacia una localidad B tiene una componente aleatoria. Si bien las diferencias entre tiempo estimado y realidad existen, y por ende, deben ser consideradas en un modelo de planificación, éstas no son tan relevantes respecto de las que podría generar una embarcación primaria debido a que este tipo de medio de transporte participa en rutas relativamente cortas.

8.3. Capacidad de los medios de transporte.

En el caso de las embarcaciones primarias, éstas transportan durante toda su actividad contenedores llenos y vacíos. En este sentido, la capacidad de transporte de contenedores vacíos que tendrá una nave particular entre dos localidades en el futuro es una variable aleatoria. Más aún, la capacidad de transporte de vacíos irá variando de recalada a recalada, dependiendo de la cantidad de contenedores llenos que sean cargados y descargados en cada puerto de operación. Otro antecedente, es que la capacidad de vacíos no sólo dependerá de cuantos contenedores llenos lleve el buque en cada recalada, sino además de la homologación¹⁵ de cada contenedor.

Otro antecedente de relevancia es que los contenedores llenos tienen prioridad en términos de capacidad ocupada frente a los equipos que viajan vacíos en las naves de carga. Lo anterior se traduce en que si un equipo vacío es cargado en la localidad A con destino a una localidad C, existe la posibilidad que éste sea bajado en un puerto intermedio B, debido a que se requiera transportar un contenedor lleno en el lugar ocupado por el contenedor vacío, haciendo uso de la prioridad que poseen los contenedores que se encuentran satisfaciendo un ciclo de demanda.

Los medios de transporte secundarios también poseen un grado de aleatoriedad en su capacidad futura. Si bien la capacidad de transporte en camiones puede ser considerada alta para efectos del modelo, no ocurre lo mismo con los trenes y *feeders*, medios que presentan más restricciones en este punto.

¹⁵ La homologación tiene relación al peso específico de cada contenedor. En un buque que tiene capacidad 200 toneladas y espacio físico para 100 contenedores, sólo se podrá transportar 50 contenedores de peso promedio 4 toneladas cada uno o bien 100 contenedores de peso promedio 1.5 toneladas.

9. Modelo con Incorporación de Incertidumbre

A continuación se presenta el modelo propuesto para la asistencia del proceso de toma de decisiones que la empresa enfrenta a futuro. La idea, es que usando proyecciones de lo que pasará en el futuro en términos de demanda, devolución, rutas y capacidades de transporte, entre otros, entregue soluciones económicas respecto de cómo se debiese operar la flota de contenedores vacíos en el futuro con el fin de satisfacer los requerimientos de sus clientes manteniendo su actual nivel de servicio.

El modelo busca incorporar la aleatoriedad intrínseca del sistema. Para esto utiliza el concepto de inventario mínimo de operación. Además opera sobre conjuntos de parámetros *input* que incluyen factores de seguridad sobre los datos. En este sentido, el modelo resuelve un problema de programación lineal, entregando una solución que se mantiene factible ante distintos posibles escenarios. Si bien en este capítulo se muestra el modelo creado, la creación de los parámetros y sus principales características se muestran en el siguiente.

Es importante destacar que en la formulación propuesta, los contenedores no son tratados como unidades, sino que se trabajan de acuerdo a las TEUS equivalentes. La razón de lo anterior está dada por el hecho de que las capacidades de transporte tienen un límite en TEUS dependiendo de la homologación de la carga, por lo que es necesario considerar el valor de cada contenedor en dicha unidad de volumen.

9.1. Modelo Utilizado

Subíndices

$t, s, r, p \in T$ Unidad mínima de tiempo (días) en el horizonte de evaluación.

$k \in K$: Tipo de contenedor utilizado.

$i, j \in I$: Localidades de operación.

$v \in V$: Medio de transporte.

$n \in N$: Número de contrato al cual pertenece un contenedor.

Dominio de Conjuntos

$T = \{0,1,2,\dots,189\}$: Días para los cuales se hace una estimación a futuro. Corresponde a un intervalo cercano a 6 meses.

$K = \{1,2,3,4,5\}$: Distintos tipos de contenedor incorporados al modelo.

$I = \{1,2,3,\dots,180\}$: Las 180 localidades principales en términos de operación de la compañía.

V : Distintos medios de transporte. Contiene tantos elementos como medios disponibles en la compañía en el momento de realizar una corrida del modelo. En este sentido, éste conjunto es intrínsecamente dinámico.

En el conjunto V se incluyen los medios de transporte camión, tren y *feeder* como posibilidad sin diferenciar por ejemplo distintos camiones. Sin embargo, para el caso de los *vessels* cada uno de los activos en la flota se trata como un medio de transporte distinto. Lo anterior ocurre debido a que es necesario diferenciar las naves que entran al modelo ya que es necesario conocer a partir de los resultados en qué nave particular debe embarcarse un contenedor, debido a que todas presentan distintas planificaciones de ruta. Esto no es necesario para el resto de los medios, ya que sólo se necesita saber si el contenedor se debe embarcar en tren, camión o *feeder* entre pares de localidades.

N : Conjunto de los contratos efectivos que mantiene la empresa, a través de los cuales mantiene la flota activa. Este conjunto también es dinámico y podrá variar dependiendo de la flota activa previa a cada ejecución del modelo.

Parámetros Modelo con Incertidumbre

SP_{ikt} : Cantidad de TEUS vacías del tipo k que estarán disponibles en la localidad i en la fecha t . Proviene de la “fotografía” tomada al sistema al inicio del horizonte de planificación.

DF_{ikt} : Pronóstico de Cantidad de TEUS vacías del tipo k que serán demandadas en la localidad i en la fecha t .

RF_{ikt} : Pronóstico de Cantidad de TEUS vacías del tipo k que serán devueltas en la localidad i en la fecha t .

$WMIN_{ikt}$: Inventario mínimo de TEUS a mantener en la localidad i para el tipo de equipo k en la fecha t por conceptos de stock de seguridad para combatir la incertidumbre del sistema.

ES_{ijtsv} : Cantidad pronosticada máxima de TEUS vacías a ser transportadas desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando un medio de transporte v .

CON_{iktsn} : Cantidad máxima de TEUS vacías del tipo k a ser incorporadas a la flota en la localidad i entre las fechas t y s para el contrato ya pactado n .

$COFO_{ikts}$: Cantidad máxima de TEUS vacías del tipo k a ser devueltas a empresas de *leasing* por conceptos de *Off Hire* de la flota en la localidad i entre las fechas t y s independiente de los contratos preestablecidos.

$COSTES_{ijktsv}$: Costo de transporte de una TEU vacía del tipo k desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando un medio de transporte v por conceptos de reposicionamiento.

$COSTW_{ikt}$: Costo por TEU de tipo k vacía en tierra como inventario en la localidad i en la fecha t por conceptos de bodegaje.

$COSTON_{iktn}$: Costo de *On Hire* por TEU de tipo k perteneciente al contrato n en la localidad i en la fecha t .

$COSTOFFOPT_{ikt}$: Costo de la opción de *Off Hire* por TEU de tipo k en la localidad i en la fecha t .

Variables del Modelo con Incertidumbre

W_{ikt} : Cantidad de TEUS vacías en tierra del tipo k en la localidad i en la fecha t por conceptos de inventario de vacíos en tierra.

X_{ijktsv} : Cantidad de TEUS vacías del tipo k a ser transportadas desde la localidad i hasta la localidad j entre las fechas t y s usando un medio de transporte secundario por conceptos de reposicionamiento.

ON_{iktn} : Cantidad de TEUS vacías del tipo k a ser incorporadas a la flota en la localidad i en la fecha t por conceptos de contrato n ya pactado.

DFH_{ikt} : Variable de holgura para satisfacer demanda de TEUS vacías del tipo k en la localidad i en la fecha t .

WH_{ikt} : Variable de holgura para satisfacer inventario mínimo de TEUS vacías en tierra del tipo k en la localidad i en la fecha t .

$ONOPT_{ikt}$: Variable de holgura creada para mantener integridad de inventario¹⁶. Cantidad de TEUS vacías del tipo k incorporadas en la localidad i en la fecha t .

$OFFOPT_{ikt}$: Cantidad de TEUS vacías del tipo k a ser eliminadas de la flota en la localidad i en la fecha t .

Restricciones del Modelo con Incertidumbre

1. Conservación de Flujo:

$$W_{i,k,t+1} = W_{ikt} + \sum_n ON_{iktn} + RF_{ikt} + SP_{ikt} + ONOPT_{ikt} - OFFOPT_{ikt} - DF_{ikt} + DFH_{ikt} \\ + \sum_{j \triangleright i, s \leq t, v} X_{jikstv} - \sum_{i \triangleleft j, s \geq t, v} X_{ijktsv} \quad \forall 1 \leq t \leq 188, k \in K, i \in I$$

Las TEUS de un tipo de equipo al principio del día de mañana son las que se encontraban al inicio del día de hoy en inventario más las que llegan vacías por toma de contenedores, transporte desde otras localidades y devolución de contenedores menos las que se transportan hacia otras localidades, se eliminan de la flota o son ocupadas para satisfacer una demanda.

¹⁶ Esta variable parece ser similar a la variable WH . La diferencia se aclara al definir las restricciones.

2. Capacidad de Transporte Primario

$$\sum_k X_{ijktsv} \leq ES_{ijtsv} \quad \forall 1 \leq t, s \leq 188, i, j \in I, v \geq 5$$

Las TEUS vacías transportadas entre cada arco ij no deben sobrepasar la capacidad de la nave asociada. En este caso sólo se consideran los *vessels* representados en el conjunto V con los números mayores a cinco. Los números 2,3 y 4 representan camiones, trenes y *feeders* respectivamente. En este caso los pares ij indican recaladas contiguas, es decir, j es la siguiente localidad del recorrido de la nave v después de visitar la localidad i en el viaje que se encuentra realizando.

3. Capacidad de Transporte Secundario

$$\sum_{k,t \leq p, r \leq s} X_{ijkprv} \leq ES_{ijtsv} \quad \forall i, j \in I, t = 1, s = 188, v \in \{2,3,4\}$$

La suma total de TEUS transportadas en el medio v en el horizonte del período entre los pares de localidades ij no deben sobrepasar la capacidad establecida. Es importante notar que en este caso se restringe sobre el total de viajes a realizar entre pares de localidades en el horizonte completo y no entre fechas intermedias.

4. Inventario Mínimo

$$WMIN_{ikt} + DF_{ikt} - RF_{ikt} \leq W_{ikt} + WH_{ikt} \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T$$

El inventario en la localidad i de equipos tipo k para un día t debe ser mayor que el stock mínimo de seguridad más la variación esperada de stock por conceptos de demanda y devolución. La variable de holgura asegura el cumplimiento de esta restricción. La función del inventario mínimo es que haya un stock de contenedores vacíos en tierra suficiente como para satisfacer las variaciones inesperadas por conceptos de la incertidumbre del sistema relativa a demanda y devolución de contenedores. Además hace hincapié en que los contenedores vacíos que llegan a una

localidad en el transcurso de un día no son considerados para satisfacer la demanda neta de ese día, sino que éstos deberían estar disponibles desde el día anterior.

5. *Capacidad de On Hire de contratos previamente establecidos*

$$\sum_{t \leq r \leq s} ON_{ikrn} \leq CON_{iktsn} \quad \forall k \in K, i \in I, t = 1, s = 188, n \in N$$

La suma de TEUS de tipo k del contrato n no debe superar la cantidad establecida en el mismo.

6. *Capacidad de Off Hire sin considerar contratos*

$$\sum_{t \leq r \leq s} OFFOPT_{ikr} \leq COFO_{ikts} \quad \forall k \in K, i \in I$$

La suma de TEUS de tipo k del que se desea eliminar de la flota en la localidad i , no debe superar el máximo permitido para dicha localidad y tipo de equipo entre las fechas t y s .

7. *Inventario Positivo*

$$0 \leq W_{ikt} \quad \forall i \in I, k \in K, t \in T$$

En ningún momento se podrá mantener un inventario menor a cero. Esta restricción parece estar intrínseca en la ecuación de inventario mínimo, pero no es así ya que evita que la holgura de inventario “supla” potenciales inventarios negativos. Si bien esta condición se exige al declarar la naturaleza de la variable (real y mayor o igual a cero), se consideró apropiado incluirla en esta instancia, con el fin de discutir su relevancia.

8. Incapacidad de holgura de toma de contenedores

$$ONOPT_{ikt} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K, t \leq 15$$

Las primeras dos semanas de planificación no podrá haber propuesta de toma de contenedores. La idea es que la negociación de un nuevo contrato de *On Hire* requiere de un tiempo de *set up* menor o igual a quince días.

Debido a lo anterior es que se crean las variables *WH* y *DFH*. Como no habrá holgura de toma de contenedores los primeros 15 días existe la posibilidad de que algunas demandas no puedan ser suplidas en su totalidad o bien que no pueda ser respetado un inventario mínimo exigido, lo que se traduciría en una infactibilidad de las restricciones 1 y 4 respectivamente.

9. Incapacidad de holguras de demanda e inventario

$$WH_{ikt} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K, t > 15$$

$$DFH_{ikt} = 0 \quad \forall i \in I, k \in K, t > 15$$

Ocurridas las dos primeras semanas del horizonte, las holguras de demanda e inventario deben tomar valor cero ya que holgura de toma de contenedores puede tomar valor positivo.

10. Inventario inicial del sistema:

$$W_{i,k,t+1} = SP_{ikt} \quad \forall k \in K, i \in I, t = 0$$

El inventario de contenedores tipo *k* en la localidad *i* para el primer día del horizonte está definido por los contenedores que se encontraban vacíos en tierra en dicho par *ik*, más lo que llegaron ese día vacíos y listos para operación.

Función Objetivo

La función objetivo busca minimizar la suma de los siguientes costos:

- *Inventario*

$$\sum_{i,k,t} COSTW_{ikt} * W_{ikt}$$

- *Reposicionamiento de Contenedores Vacíos*

$$\sum_{i,j,k,t,s,v} COSTES_{ijktsv} * X_{ijktsv}$$

- *Variaciones de Flota por conceptos de On Hire y Off Hire*

$$\sum_{i,k,t,n} COSTON_{iktn} * ON_{iktn} + \sum_{i,k,t} COSTOFFOPT_{ikt} * OFFOPT_{ikt}$$

- *Variables de Holgura del Sistema*

$$\sum_{i,k,t} COSTONOPT_{ikt} * ONOPT_{ikt} + \sum_{i,k,t} COSTWH_{ikt} * WH_{ikt} + \sum_{i,k,t} COSTDH_{ikt} * DH_{ikt}$$

Naturaleza de las Variables

Todas las variables definidas pueden tomar valores reales mayores o iguales a cero.

9.2. Consideraciones al Modelo con Incertidumbre

Si bien los conjuntos de localidades (I), horizonte de evaluación (T) y tipos de contenedores involucrados (K) son estáticos en sus componentes, éstos pueden ser variados de manera sencilla con el fin de incluir o modificar elementos. En este sentido, los módulos de generación de parámetros permiten realizar estas modificaciones cuando el operador lo estime conveniente. Sin embargo, incluir de manera incremental nuevas localidades o tipos de equipo a los conjuntos previamente descritos y usados para la entrega de resultados, aumenta los tiempos de resolución de manera significativa, siendo que explican menos del 1% de las operaciones de la compañía.

En el modelo lineal propuesto sólo se incorporan opciones de devolución con la variable *OFFOPT*, pero no se incluyen los *Off Hire* de contratos que expiran durante el horizonte y que el operador desea realizar. Estos últimos son eliminados a nivel de la generación de los parámetros de flota (*Starting Point*) lo que se traduce en que no son considerados para potenciales operaciones futuras y por ende no se les incluye en modelo. La razón de lo anterior es que los contenedores deben ser devueltos según su número de identificación, nivel de desagregación que no es considerado en el modelo. Además, de esta forma, el operador tiene la oportunidad de elegir retrasar la devolución de un contenedor particular cuyo contrato ya expiró debido a que servirá para suplir inventario de seguridad u otra variable de holgura que tome valor mayor a cero, pagando un sobreprecio y evitando así un reposicionamiento de vacío o la incorporación de un nuevo contenedor a la flota.

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo está diseñado para buscar potenciales soluciones económicas para la operación de la compañía en un horizonte futuro dado, buscando minimizar la flota de contenedores y los viajes de contenedores vacíos que necesitan ser realizados para solucionar el desbalance comercial de contenedores, respetando las restricciones de demanda, devolución y rutas y capacidad de transporte de contenedores vacíos. Por lo anterior, el modelo buscará eliminar de la flota las TEUS que podrían ser prescindibles para la operación. De manera similar buscará incorporar contenedores en localidades que permanecerán desbalanceadas debido a que son

incapaces de recibir la cantidad de TEUS necesarias para solucionar el desbalance. Es por esto que el modelo incorpora las variables *ONOPT* y *OFFOPT*.

Las variables de holgura introducidas en el modelo tienen como objetivo el permitir que el modelo sea capaz de encontrar soluciones factibles en cada una de sus instancias, presentando cuáles demandas o inventarios mínimos no pueden ser cumplidos. Las variables *DFH* y *WH* sólo pueden ser activas las primeras dos semanas del horizonte de planificación y se traducen en la cantidad de TEUS demandadas¹⁷ que no podrán ser satisfechas y la cantidad de TEUS restantes necesarias en cada localidad para poder respetar la restricción de inventario mínimo respectivamente. Como es de suponer, que estas variables adopten valores positivos, no se traduce en que efectivamente se perderá demanda o no se respetará inventario mínimo, sino en que el modelo no es capaz de satisfacer dichas necesidades con las alternativas que le son entregadas. Por lo anterior, será el operador el encargado de buscar alternativas no consideradas en el modelo para evitar potenciales quiebres.

De manera similar, posterior a las primeras dos semanas de proyección, la variable *ONOPT* puede tomar valores positivos con el fin de evitar incumplimientos de los requerimientos de demanda o inventario mínimo en el sistema. Con esto, el que esta variable tome valores mayores a cero en una localidad particular para cierto tipo de equipo, se traduce en que el modelo no es capaz de satisfacer las TEUS necesarias para la operación pronosticada, por lo que nuevamente la responsabilidad de solucionar este problema operacional recae sobre el operador. Para satisfacer esa falta de contenedores, se pueden ejecutar una serie de medidas no incorporadas en el modelo, como por ejemplo aumentar la capacidad de una nave particular e incluir un número mayor de contenedores vacíos respecto al total a transportar según la solución, crear nuevos contratos de largo plazo de toma de contenedores, negociar préstamos de contenedores con otras navieras o bien creando un nuevo nodo de comunicación entre la localidad deficitaria y otra localidad superavitaria.

Respecto a las variables de holgura *DFH* y *WH*, es necesario mencionar que su estructura de costos es tal que el modelo prefiere realizar reposicionamientos de

¹⁷ Demanda determinada a través de pronósticos.

cualquier tipo antes de elevar alguna en una unidad. La idea, es que estas variables se incrementen sólo cuando el modelo no es capaz bajo ninguna combinación posible cumplir con las restricciones que las incorporan. Sin embargo, dentro de los costos asociados el más alto es el de demanda (*DFH*). La idea es poder diferenciar cuántas unidades son necesarias solamente para satisfacer la demanda total pronosticada y cual es el volumen de inventario que no se podrá satisfacer, ya que al ser más cara la variable asociada a demanda sólo se incrementará hasta satisfacer el flujo exigido en la restricción 1, dejando a *WH* satisfacer el volumen restante para mantener factible la cuarta restricción de inventario mínimo.

En cuanto al costo de la holgura de *On Hire (ONOPT)*, si bien esta no compite con las otras dos ya que se restringen en intervalos de tiempo disjuntos, es importante mencionar que mantiene el costo más bajo de las tres holguras, reflejando aproximaciones al precio real de una incorporación y compitiendo por ende, contra el reposicionamiento de contenedores vacíos para satisfacer las restricciones establecidas.

Respecto a los otros costos involucrados en el modelo, éstos representan estimaciones reales de lo que gasta la compañía en su operación. La idea es que las decisiones tomadas por el sistema representen de la manera más fidedigna posible lo que realizaría un operador en caso que pudiese analizar el mismo número de escenarios que revisa el modelo.

El modelo utilizado corresponde a una programación lineal. El hecho que no se exija que las variables de decisión sean enteras, es decir, que éstas puedan tomar valores fraccionarios, tiene tres razones principales. La primera, es que el tiempo de resolución baja considerablemente, ya que no es necesario ocupar algoritmos de búsqueda como por ejemplo el método *Branch and Bound*, algoritmos de corte o heurísticas de redondeo. La segunda razón radica en que una simple estrategia de redondeo “manual” sobre la decisión óptima permite encontrar un *set* de decisiones entero, factible y extremadamente cercano al óptimo fraccionario. En términos aún más simples, se asume que si por ejemplo la solución muestra que el óptimo de movimiento de vacíos de contenedores tipo *k* entre las localidades *i* y *j* entre las fechas *t* y *s* es un total de 24,6 TEUS, bastará con enviar un total de 25 TEUS, para satisfacer las necesidades de operación. La tercera razón, y quizás la más importante, está dada por el hecho de que

todos los parámetros construidos por los módulos tienen naturaleza entera. Con esto, el problema general se transforma en la optimización de una red de flujos entera, lo que asegura una solución de las mismas características aunque a las variables se les permita tomar cualquier tipo de valor. Así, no será siquiera necesario aplicar heurísticas simples de redondeo a la solución óptima para que ésta sea completamente viable para la operación de la compañía.

10. Sistema de Procesamiento de Datos

El modelo con incorporación de incertidumbre propuesto busca optimizar la operación de los contenedores vacíos en la compañía a un horizonte futuro de seis meses. Debido a que la información varía minuto a minuto, es necesario que la herramienta se “acomode” a nuevos datos que se incorporan o varían en las bases de datos de la compañía.

Además es necesario que el modelo pueda ser ejecutado con frecuencia al menos semanal y que permita cuantificar distintos escenarios y combinaciones atractivas para el usuario de manera simple y automatizada.

Para la ejecución de la lectura de los datos disponibles, generación de parámetros, corrida automática del modelo y actualización automatizada de reportes de solución se implementó un sistema computacional que junta las actividades mencionadas anteriormente. El sistema tiene la siguiente estructura:

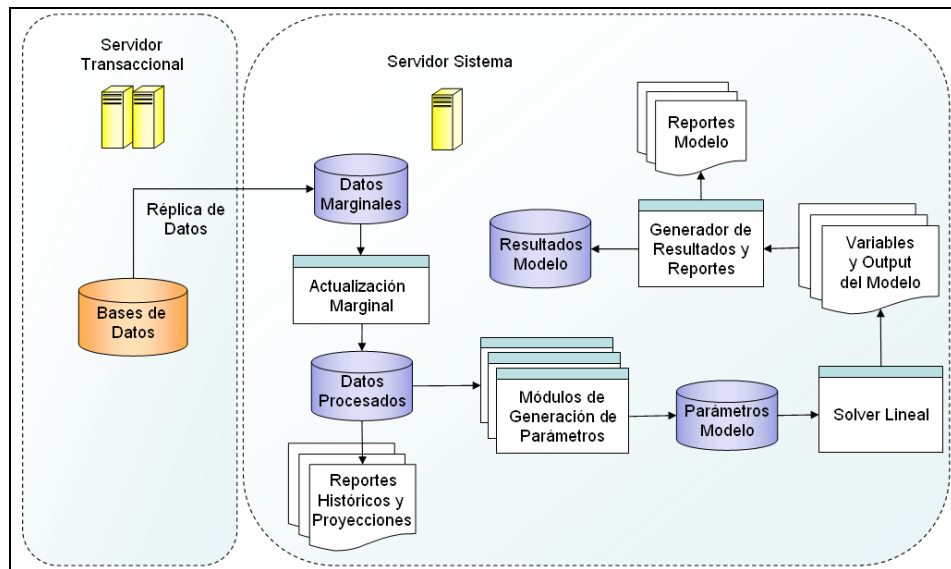


Figura 7: Estructura del sistema creado.

Los datos ingresados por los operadores en las bases de datos del servidor transaccional de la compañía son traspasados marginalmente mediante el uso de réplicas¹⁸ hacia un servidor donde se encuentra el sistema descrito. Cada mañana estos nuevos datos son analizados de manera automática mediante la aplicación *Actualización Marginal*, y una vez ordenados y corregidos, se almacenan en una segunda base de datos.

Posteriormente, el sistema entrega reportes históricos que incluyen la nueva información, como por ejemplo historia de demanda y devolución. Posteriormente, una segunda aplicación (*Módulos de Generación de Parámetros*) crea los parámetros *input* del modelo y los almacena en una tercera base de datos con el objetivo de que éstos puedan ser consultados en el futuro. Una vez concluido lo anterior, se ejecuta el modelo invocando el código GAMS asociado al modelo lineal con incorporación de incertidumbre. Una vez que éste finaliza y entrega una solución, una tercera aplicación, *Generador de Resultados y Reportes*, elabora reportes de los resultados del modelo y almacena los resultados obtenidos. Este proceso completo se ejecuta diariamente a las 2:00 AM y tiene una duración cercana a las seis horas.

Dentro de las aplicaciones descritas, la más importante en términos del modelo es *Módulos de Generación de Parámetros*, debido a que incorpora el análisis realizado sobre los datos de la compañía y su historia, para lograr crear los parámetros que lo alimentan. Como su nombre lo indica, esta aplicación se compone de variados módulos que se diferencian entre sí dependiendo de la información que utilizan y el parámetro que generan. Un esquema de los distintos módulos se presenta en la Figura 8.

¹⁸ Asistente de réplicas transaccionales en SQL SERVER 2000.

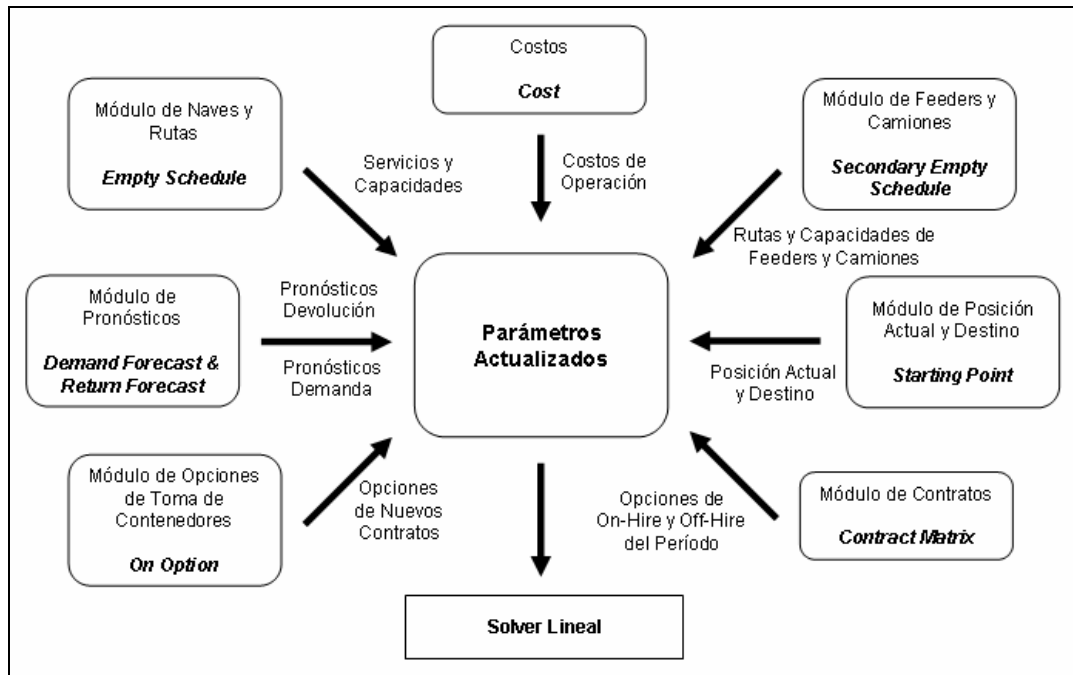


Figura 8: Estructura de la aplicación de datos para generación de parámetros.

Como se aprecia en la figura son siete los módulos encargados de generar los parámetros de cada nueva instancia del modelo.

Los parámetros que son generados mediante el uso de los módulos incluyen intervalos de seguridad con el fin de combatir la incertidumbre del sistema. En este sentido, cada uno de los pronósticos utilizados es sobredimensionado y reescrito como parámetro con el fin de incluir en éste posibles variaciones que ocurrirían en la realidad.

La metodología utilizada para lo anterior se fundamenta en los intervalos de confianza que tiene una variable aleatoria. Cada vez que se realiza un pronóstico para un día t se incurre en un error asociado respecto de la realidad resultando lo siguiente:

$$\text{pronóstico}_t = \text{realidad}_t + \text{error_pronóstico}_t, \text{ o equivalentemente,}$$

$$\text{pronóstico}_t - \text{realidad}_t = \text{error_pronóstico}_t$$

El error de pronóstico para un día t (EP_t) es una variable aleatoria y por ende posee una distribución asociada, como la que se muestra en la Figura 9.

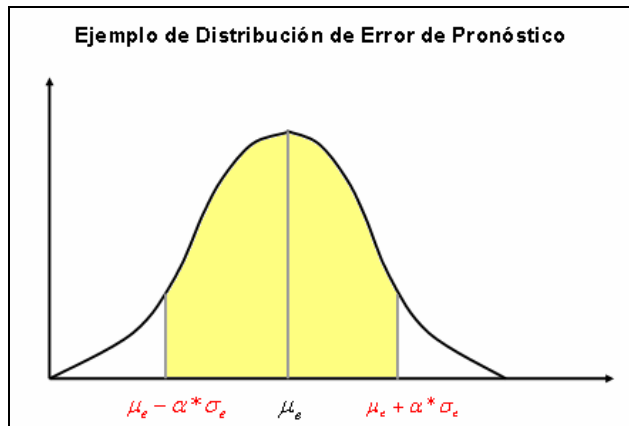


Figura 9: Ejemplo de distribución para error de pronóstico.

Como se muestra en la figura, se puede determinar a partir de la media del error (μ_e) y su desviación (σ_e), intervalos de seguridad para la variable multiplicando la desviación por un factor α y posteriormente, sumándola y restándola a la media. El valor α dependerá de la probabilidad que se desea asignar al intervalo. Por ejemplo, si la distribución del error es normal, bastará usar un factor de 1,96 para que el error pertenezca al intervalo descrito con un 95% de seguridad.

Los parámetros utilizados en el modelo incorporan la idea de protección descrita anteriormente. Esto es realizado determinando la media y distribución de los errores de pronósticos, utilizando datos históricos que son recalculados antes de cada ejecución del modelo. Con esto, los parámetros son construidos usando un pronóstico y agregando a éste un factor de seguridad de modo que el error no sobrepase el dato utilizado. Así se crean conjuntos de datos sobredimensionados que permiten mantener hasta cierto punto (dado por los factores de seguridad) la factibilidad de las soluciones propuestas por el modelo.

Un ejemplo de lo anterior es lo que ocurre con el pronóstico de los tiempos de viaje por tierra entre pares de localidades. Si este viaje demorara en promedio 2 días, y por ende el pronóstico utilizado fuese lo mismo, el pronóstico se equivocaría¹⁹ la mitad de las veces sobreestimando el tiempo de viaje asociado y la otra mitad de las veces subestimándolo. Así, el modelo entregaría soluciones que el 50% de las veces no

¹⁹ Si se asume para el error una distribución normal centrada en cero.

podrían ser satisfechas dejando infactible el resto de las acciones futuras para el grupo de contenedores en viaje ya que se esperaba que éstos llegaran durante un día particular, lo que no pasará en la realidad. Sin embargo, si al pronóstico se le agrega un factor de seguridad que asegura que por ejemplo el 95% de las veces el valor utilizado en el modelo será mayor que el tiempo que se demora el viaje en la realidad, se asegura que los contenedores llegarán casi siempre antes de lo presupuestado, permitiendo que todas las decisiones planteadas por el modelo para ese conjunto de contenedores posterior a la llegada del viaje por tierra siga siendo factible, reduciendo así, la posterior infactibilidad a sólo un 5% de las veces.

A continuación se presenta cada módulo de generación, describiendo la creación de los distintos parámetros y como se incorpora factores de protección con el fin contrarrestar su incertidumbre asociada.

10.1. Módulo *Starting Point*

Este módulo es el encargado de generar los parámetros asociados al estado de la flota en la fecha inicial en la que se desea empezar a planificar futuras decisiones (*SP*).

Para determinar el estado de la flota al inicio de la planificación, se determina para cada contenedor presente en los registros cual fue su última actividad registrada. En el caso en que un contenedor particular haya estado operativo²⁰, éste podrá encontrarse en uno de tres estados principales:

- El contenedor se encuentra vacío en tierra.
- El contenedor está siendo transportado vacío.
- El contenedor se encuentra lleno en alguna etapa de un ciclo de demanda contenedor.

En el caso que un contenedor se encuentre vacío en tierra, este se considera disponible para efectos del modelo, en la localidad en la cual efectuó su última actividad.

En cuanto a los contenedores que están siendo transportados vacíos, se debe estimar cuando estarán nuevamente vacíos en tierra con el fin de reintegrarlos a la operación. Para esto se realizan los siguientes pasos:

1. Se determina el tipo de medio en el cual está siendo transportado dependiendo si su última actividad registrada fue PVE o PDE. Vale destacar que la última actividad registrada el destino planeado para el contenedor a la hora de ser embarcado.
2. En caso de estar siendo transportado en un medio *primario*, la última actividad registrada detalla el nombre de la nave, el servicio en el cual fue embarcado y hacia donde se dirige. Así consultando el calendario de la nave se determina en qué localidad y fecha el contenedor estará vacío en tierra.

²⁰ Un contenedor se denomina operativo cuando pertenece a la flota de la compañía y su última actividad de distinta a OFF y DEL.

3. Si el contenedor está viajando en un medio de transporte secundario, la última actividad registrada sólo presenta información respecto de la localidad en la que fue embarcado y en qué fecha además de la localidad a la cual se dirige. Para determinar la fecha de arribo a destino se utilizan datos estadísticos respecto de cuánto se ha demorado en el pasado similar medio de transporte entre el mismo par de localidades. Estos tiempos son recalculados antes de cada generación de parámetros. Con esto, se considera que el contenedor arribará un número de días determinado posterior a la fecha en que fue registrada su última operación.
4. Una vez determinado, para cada contenedor por separado, la localidad de llegada y el pronóstico del tiempo que demorará en hacerlo, se agrega un factor de seguridad al tiempo de viaje. Para esto, previo a cada generación de parámetros se recalculan los errores de los tiempos asociados determinando su media y desviación usando todos los viajes registrados durante el último año de operación. Para esto se utilizan distribuciones de los tiempos de viaje entre cada par de localidades diferenciando además por el tipo de contenedor, medio de transporte utilizado y servicio asociado en el caso que corresponda. Vale destacar que el factor puede ser regulado por el usuario, dependiendo del nivel de cobertura que desee utilizar.

El último estado posible en el que podría encontrarse un contenedor a inicios del horizonte de planificación es lleno satisfaciendo algún tipo de demanda. Para determinar la fecha y localidad en que estará disponible se realizan los siguientes pasos:

1. Se determina el *booking* asociado al ciclo de demanda que satisface. Este *booking* tiene información respecto de cual será la localidad en que será desembarcado para desconsolidación y una fecha estimada²¹ para el inicio de la misma.
2. Debido a que la fecha de desembarque no es la misma en la cual el contenedor estará vacío en tierra disponible para operación, se le suma a la fecha de llegada un tiempo extra con el fin de pronosticar el momento en que estará vacío en tierra. Este tiempo es determinado usando estudios estadísticos sobre el tiempo de desconsolidación, los que son recalculados antes de cada ejecución de este módulo.

²¹ Esta estimación es realizada por la empresa tomando en cuenta los distintos medios de transporte involucrados en el proceso de transporte.

3. En caso que el *bookings* no detalle la fecha estimada de inicio de la desconsolidación, pero sí la localidad de desconsolidación, se realiza un pronóstico de la fecha en que el contenedor estará vacío en tierra realizando un estudio del tiempo que demora ese tipo de contenedor en estar vacío dependiendo de la última actividad que registra, el servicio que lo transporta, las localidades involucradas y el medio de transporte utilizado. Para esto se utilizan estadísticas sobre el tiempo y su error histórico, las cuales son recalculadas previo a la ejecución del módulo.
4. En caso que el *booking* de un contenedor no detalle la localidad de arribo, éste no es incluido en el modelo. La principal razón radica en que estimar la localidad de desconsolidación tiene un error asociado demasiado alto, debido a la gran cantidad de puertos involucrados en el sistema. Vale destacar que lo anterior ocurre muy poco.
5. Una vez determinados las localidades en que los contenedores estarán vacíos en tierra y los pronósticos de los tiempos asociados, se añade a estos últimos un factor de seguridad, con el fin de que en la realidad el contenedor no quede disponible posterior a lo pronosticado. Este factor es diferenciado de acuerdo al tipo de contenedor, servicio asociado y localidad de arribo entre otros, y puede ser regulado por el usuario. La idea de lo anterior es que un contenedor podrá ser utilizado para posteriores actividades propuestas por el modelo sólo en caso que llegue antes de lo pronosticado.

10.2. Módulo *Demand and Return Forecast*

Este módulo genera los pronósticos de demanda y devolución a para el horizonte de planificación (*DF* y *RF*). Los métodos utilizados son series de tiempo con incorporación de tendencia y estacionalidad y se realizan para cada localidad y tipo de equipo, lo que se traduce en que para cada instancia se generan cerca de 900²² pronósticos de demanda cada uno con un horizonte pronosticado de seis meses. En el caso de la devolución, las cifras anteriores son similares.

Vale destacar, que los pronósticos son creados de acuerdo a la demanda y devolución histórica de cada localidad, y no se conectan en ningún caso con las recaladas de buques o tipos de clientes. La razón de lo anterior radica en que pronosticar devoluciones de los contenedores que se estima serán demandados en el futuro, tiene un margen de error asociado muy alto. El hecho de no estimar de acuerdo a las recaladas de los buques tiene relación con el evitar la suma de varianzas asociadas a distintos tipos de error en un mismo pronóstico.

Un antecedente de relevancia, es que la herramienta realiza al ser ejecutada una nueva instancia dos tipos de pronóstico de demanda para cada localidad y tipo de equipo. La idea, es que el operador decida en caso que lo estime conveniente, el pronóstico que desea utilizar para cada combinación²³.

Cada pronóstico realizado por el sistema, ya sea de demanda o devolución, tiene un error histórico asociado. La idea, es que el sistema almacena cada una de las estimaciones que realiza y las va comparando con la realidad a medida que ésta ocurre. El objetivo de lo anterior es mantener registros históricos para cada par localidad-equipo sobre el desempeño de cada uno de los tipos de estimación. En este sentido la primera vez que el sistema se utiliza es históricamente inicializado, es decir, se retrocede en un

²² Para 180 localidades y 5 tipos de equipo.

²³ La idea básica de la elección del tipo de pronóstico de demanda según localidad y tipo de equipo radica en la información adicional que posee un tomador de decisiones y que el sistema no es capaz de determinar. En algunos casos, dependiendo por ejemplo de la época de año, será conveniente usar pronósticos con estacionalidad, método que podría resultar menos eficiente en otras fechas.

año de operación y se realizan pronósticos a futuro²⁴, siendo posteriormente comparados con la realidad ya registrada, con el fin de obtener series históricas del error asociado y así estadísticas relativas a éste.

Una vez determinados los pronósticos de demanda y devolución y sus errores asociados, el módulo construye los inventarios mínimos (*WMIN*) que deberá respetar cada localidad para cada tipo de equipo con el fin de combatir la incertidumbre asociada a la incertidumbre de estos pronósticos.

Para construir el inventario mínimo primero se determina, para cada localidad y tipo de equipo cuáles son las llegadas esperadas fuentes de “altos volúmenes” de contenedores vacíos en el horizonte, usando para las localidades con puertos las llegadas proyectadas de los buques y para el resto de las localidades una frecuencia que puede ser variable en el horizonte determinada por el operador. Posteriormente se determina cuánto se pueden equivocar los pronósticos de demanda y devolución en conjunto cada día que existe entre estas llegadas usando un intervalo de confianza *default* de 3 desviaciones estándar, valor que puede ser ajustado por el usuario. Es importante destacar que tanto la demanda como la devolución presentan distribuciones normales para la gran mayoría de las combinaciones de localidad y tipo de equipo.

Una vez obtenido el máximo volumen de error en el pronóstico para cada intervalo de tiempo entre llegadas de alto volumen, se construye el parámetro exigiendo que cada día del horizonte tenga la suma del error total determinado hasta el final de la próxima llegada.

A modo de ejemplo, se puede considerar una localidad con puerto al que llegan barcos de carga cada siete días y para la cual se estima que la demanda menos devolución para contenedores tipo DV20 será de 100 contenedores diarios para todo el horizonte. Con el fin de mantener la simplicidad supongamos que mediante el análisis de los errores históricos del pronóstico se ha determinado que la proyección de demanda menos devolución se equivoca en módulo una cifra menor a 10 contenedores por día el 95% de las veces. Como es de esperar, debido a que los errores de los pronósticos son centrados

²⁴ Se utiliza sólo la información que el sistema hubiese tenido hasta el día del inicio de cada pronóstico.

en cero, la suma del pronóstico de demanda menos devolución de dos días consecutivos se equivocará en módulo para un mismo intervalo de confianza en una cifra menor a los 20 contenedores. Supongamos que los estudios estadísticos realizados permiten obtener la siguiente tabla de intervalos de error:

Días Sumados	Pronóstico Demanda-Devolución	Intervalo para error (95% confianza)
1	100	(-10, 10)
2	200	(-19, 19)
3	300	(-28, 28)
4	400	(-37, 37)
5	500	(-46, 46)
6	600	(-55, 55)
7	700	(-64, 64)

Tabla 13: Ejemplo de pronósticos y error asociado para una localidad ficticia.

Con esto, el primer día que recalca un barco el inventario deberá encargarse de que en tierra queden 700 contenedores más un stock de seguridad para los errores de pronóstico de una semana de estimación, debido a que la próxima llegada masiva de contenedores se llevará a cabo en 7 días más, en la próxima recalada. Equivocarse por debajo en el pronóstico, es decir, que la demanda menos la devolución estén por debajo de los 700 equipos, no genera quiebres de demanda, por lo que sólo interesa cubrirse con los 64 contenedores que podrían demandar sobre el pronóstico.

Una vez ocurrida la primera demanda, ya no será necesario cubrirse con 64 contenedores extra, ya que sólo restan 6 días para la próxima recalada, siendo el máximo posible de demanda en ese período igual a $600+55=655$ y así sucesivamente hasta la próxima recalada.

Con todo lo anterior el mínimo de contenedores en tierra a mantener a futuro durante los primeros 14 días de operación debe como se muestra en el Gráfico 5.

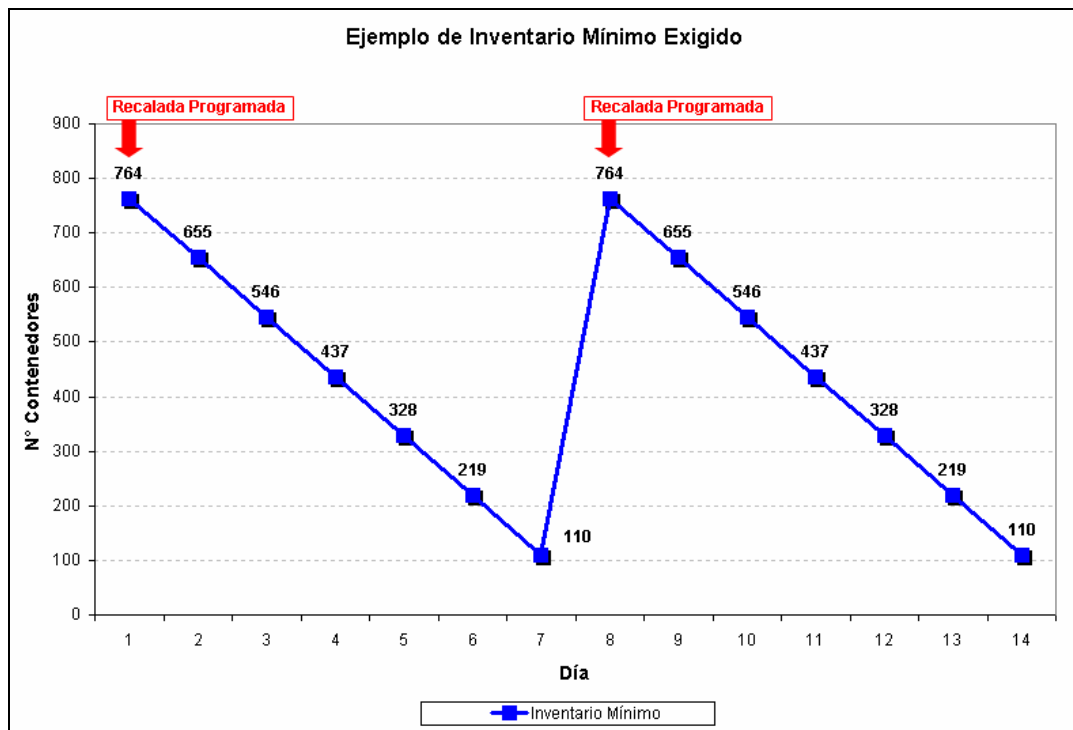


Gráfico 5: Ejemplo de inventario mínimo exigido para localidad ficticia.

Como muestra la figura, el inventario que se debe tener en un día particular es la suma de los pronósticos de demanda menos devolución estimada más la variación por conceptos de error hasta la próxima recalada esperada.

El ejemplo presentado muestra como es creado el inventario mínimo de manera simple y didáctica. Actualmente, éste no cubre la demanda y stock restantes hasta la próxima recalada sino hasta la subsiguiente. La razón de esta “doble” seguridad es que permite cubrir la incertidumbre asociada a los tiempos de recalada simulando que los barcos pasarán la mitad de las veces proyectadas. La idea detrás de lo anterior es que por medio de esta cobertura se considere la incertidumbre asociada a los tiempos de llegada de barcos y las llegadas de contenedores que no son culminadas en la realidad a pesar que los contenedores hayan sido transportados, debido por ejemplo, a cierres de puertos por mal tiempo. Como es de esperar, el número de recaladas cubiertas a futuro (en este caso 2) es un parámetro modificable por el usuario a nivel de localidad y tipo de equipo.

Los inventarios mínimos están diseñados para funcionar de manera robusta, es decir, permiten mantener operación factible frente a múltiples configuraciones reales de

demanda y devolución, número que se incrementa a medida que crece el factor de seguridad asociado. Lo anterior resulta muy útil para el modelo ya le permite entregar una solución que se mantiene factible para múltiples escenarios tan solo satisfaciendo la restricción de inventario mínimo. Esto puede ser visto en el ejemplo anterior ya que independiente de cómo se comporten la demanda y la devolución, mientras la resta de éstos sea menor a 755 contenedores a la semana el quiebre de stock será nulo.

Es importante destacar que este módulo de generación es de alta dificultad en su diseño respecto de la teoría que incorpora. La explicación formal sobre su diseño y estructura no se considera en el alcance de esta tesis.

10.3. Módulo *Empty Schedule*

Este módulo es el encargado de generar las estimaciones de rutas y capacidad futura para cada medio de transporte (parámetro *ES*). Para el caso de los *vessels*, las estimaciones de rutas están dadas por las calendarizaciones a futuro que la compañía posee. Para poder determinar la capacidad de transporte de vacíos que tendrá una nave particular en el futuro se realizan una serie de estudios, debido a que ésta será variable en el tiempo dependiendo de los pares de localidades entre las cuales se comunique. En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de contenedores llenos y vacíos que el *vessel* CSAV XX²⁵ transportó entre las fechas 13/09/2006 y 19/12/2006:

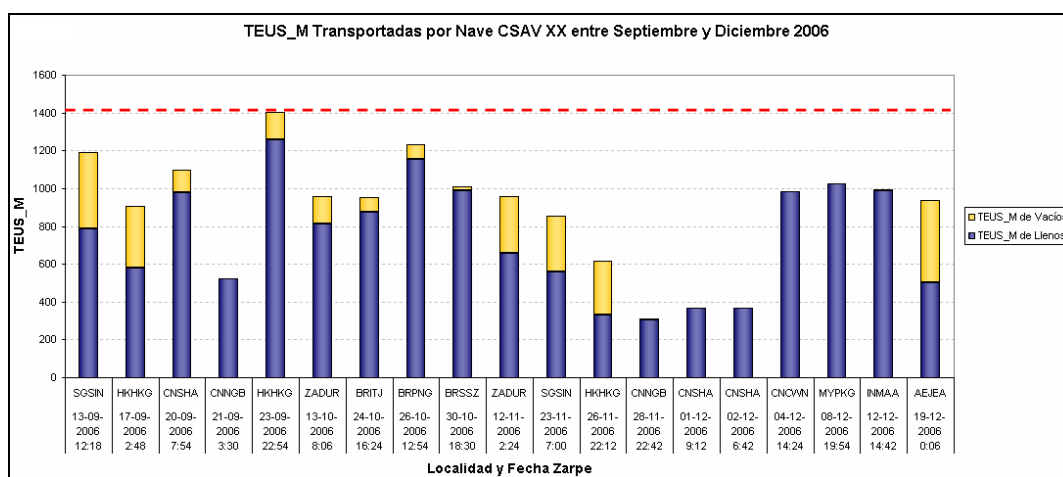


Gráfico 6: TEUS_M transportadas por CSAV XX entre Septiembre y Diciembre de 2006.

Como se aprecia en la figura, la capacidad de transporte de vacíos está dada por la resta entre la capacidad nominal (valor mayor igual al representado por la línea roja) menos las TEUS llenas que están siendo transportadas en el buque. Con esto, la capacidad de transporte de vacíos depende desde qué localidad zarpó la nave y hacia donde se dirigía. Por lo anterior, para estimar la capacidad de transporte de vacíos de una ruta futura propuesta en la calendarización se realizan los siguientes pasos:

²⁵ El nombre de la nave asociada no se detalla con el fin de mantener la confidencialidad de los datos de la compañía. Con el mismo propósito las TEUS son modificadas a una nueva unidad denominada TEUS_M.

1. Búsqueda de información por recalada. Para cada nave, se realiza una búsqueda sobre la capacidad de vacíos que tendrá según las bases de datos de la compañía para cada recalada futura.
2. Para los tramos que no poseen información por recalada futura en el sistema se realiza un estudio usando la capacidad histórica²⁶ de transporte de contenedores vacíos que ha presentado esa nave entre cada par de localidades. Se solicita también a este nivel que la nave siga operando en el mismo servicio. Esta información también es recalculada con información de hasta un año de antigüedad.
3. En caso que esa nave aún no haya completado el total de pronósticos de capacidad para cada par de localidades entre las que viajará, se realiza un estudio del desempeño histórico del servicio al cual pertenece independiente si los datos utilizados pertenecen a otras naves que operan en el servicio. Así, usando series de tiempo históricas regeneradas en cada ejecución del módulo se crea una estimación de cuanto podrá transportar una nave entre un cada par de localidades.
4. Si una vez ejecutado los tres pasos anteriores aún no es posible determinar para una nave particular pronósticos de capacidad futura para algún par de localidades, entonces se pide al operador que busque estimar la información pendiente. En caso que lo anterior no sea realizado, se llena la información con un valor *default*²⁷ que puede ser variado a gusto del usuario. Lo anterior ocurre principalmente con naves que se incorporan a la flota, servicios que se crean o naves que cambian de servicio y que por ende, no poseen suficiente información histórica entre pares de localidades o dentro de un servicio como para que se pueda estimar la capacidad futura en base a datos históricos.

Es importante mencionar que fue creada una plataforma formal desde donde el sistema podría leer la información en caso que los usuarios la poblaran con los pronósticos de transporte de vacíos a futuro de cada nave. En otras palabras, en caso que un operador inserte un pronóstico de capacidad al sistema, debido a que posee más información que

²⁶ Durante los últimos 6 meses de operación

²⁷ Este valor default puede variarse según servicio o par de localidades, con el fin de que no haya un mismo valor estimado para la totalidad de la flota de naves.

simplemente la historia, el sistema será capaz de incorporar dicha información a la hora de generar los parámetros de una nueva corrida.

Vale destacar que la información estimada en términos de capacidad son las TEUS vacías que podrían ser trasladadas. Sin embargo, para determinar este valor en TEUS, se hace uso de la homologación histórica de vacíos que ha tenido cada nave entre cada par de localidades.

Una vez determinada el pronóstico de capacidad de transporte para contenedores vacíos, se realiza un ajuste, disminuyendo el valor descrito en un factor asociado al error de pronóstico histórico, que también puede ser modificado por el usuario. Con esto se busca que la capacidad de la nave utilizada en el modelo subestime el pronóstico con el fin de que al ejecutar las decisiones propuestas por el modelo no se dejen contenedores en tierra debido a que el error asociado más la capacidad pronosticada fueron mayores a la capacidad real del sistema, generando así infactibilidades en el transporte.

Para el caso de los medios de transporte secundarios la estimación futura de capacidad de vacíos es estimada de manera distinta. Dependiendo del tipo de transporte (camión, tren o *feeder*), para cada par de localidades, se realiza un estudio de cuántos contenedores vacíos se movieron históricamente en ambas direcciones, siendo el período de estudio equivalente al doble de tiempo que desea ser estimado. Así se determina la capacidad máxima de transporte en el período de tiempo a pronosticar, con el fin de tener una cota global de movimiento. Por ejemplo, si se desea estimar el transporte de camiones entre las localidades A y B para los próximos seis meses, se analizan los movimientos de vacíos entre este par ocurridos durante el último año. Con esto se capturan los seis meses²⁸ continuos de mayor movimiento. Este número, multiplicado por un factor de corrección dado por el usuario, permite generar una cota máxima de transporte para el horizonte.

La razón de por qué en este caso se considera un valor total sobre todo el horizonte está dada por la naturaleza de los medios de transporte secundario. Como no existe

²⁸ En este caso seis meses es el horizonte de planificación futura.

calendario fijo de transporte debido a que camiones, trenes y *feeders* son negociados de manera *spot*²⁹, es necesario generar una cota sobre toda la planificación.

Para crear los calendarios de movimiento, usando datos del pasado se determina el tiempo de viaje histórico entre cada par de localidades. Con esto y considerando un factor de seguridad para el tiempo de viaje, se establece un calendario de salidas desde la localidad de origen hacia la de destino con una frecuencia dada por el usuario, donde cada viaje se asume tarda el tiempo histórico registrado más un factor de seguridad apropiado. Por ejemplo, si entre las localidades A y B el tiempo promedio de viaje de contenedores vacíos usando camionaje es de dos días con una desviación estándar de medio día se considera que el tiempo de viaje total es de dos días más un factor de seguridad multiplicado por la desviación. Si este factor, que es modificable por el operador, es de valor 2, entonces se considera que el viaje demora 3 días en realizarse. Si además, la frecuencia de salida dada por el usuario para transporte terrestre es cada dos días, entonces se genera un calendario entre las localidades A y B que considera los valores ya descritos.

Respecto de la incertidumbre del sistema asociada a los tiempos de viaje, como se menciona anteriormente los parámetros creados incorporan factores de seguridad determinados a partir de las estadísticas que son recalculadas diariamente en la aplicación *Actualización Marginal*. Es importante destacar que estos análisis incluyen información dependiendo del medio de transporte, servicio al cual pertenece y localidades involucradas en el viaje, entre otros, para determinar los factores de seguridad descritos previamente.

Para combatir la incertidumbre asociada a la capacidad de las naves se utiliza dos tipos de cobertura. La primera consiste en reducir las estimaciones realizadas mediante un factor de seguridad manejado por el usuario. La segunda está implícita en el cálculo del stock mínimo a mantener por localidad y tipo de equipo cada día del horizonte de planificación (*WMIN*), debido a que este incorpora la diferencia entre demanda y devolución que debe proveer una localidad en caso que una recalada programada no se produzca.

²⁹ Sólo con algunas semanas de antelación.

10.4. Módulo *Contract Matrix*

En este módulo se crean los parámetros que se incorporan al modelo y que tienen relación con los contratos de la compañía en cuanto a la flota de contenedores se refiere. En el inicio de un horizonte de planificación la empresa cuenta con un número establecido de contenedores arrendados o propios incorporados a la flota mediante distintos tipos de contrato. Dado lo anterior, lo que realiza el módulo es generar parámetros que indiquen dónde pueden ser incorporados más contenedores a la flota y dónde y cuándo pueden ser devueltos contenedores con contrato ya expirado o por expirar durante el horizonte de planificación.

Para el caso de la toma de contenedores u *On Hire*, el módulo revisa sobre cada tipo de contrato ya pactado, si se ha incorporado el total de contenedores establecidos. En caso que aún no se haya incorporado el total, se determinan las potenciales localidades y fechas en que éstos podrían ser incorporados a la flota, así como la totalidad restante de contenedores por incorporar.

Para los contratos de *Off Hire*, se establece el número de contenedores por contrato que deberán ser devueltos durante el horizonte de planificación. Además se establece por contrato cuáles son las posibles localidades de devolución y la capacidad máxima de ésta³⁰.

Es importante destacar que para el caso de contratos ya pactados, la toma de contenedores no representa ningún costo adicional, debido a que éstos ya fueron pagados. Por ende, sólo resta buscar que la localidad de incorporación sea la adecuada en términos logísticos.

³⁰ Para las devoluciones, existe una cota máxima mensual por localidad para cada tipo de contrato. La idea, es que la empresa no devuelva grandes cantidades de contenedores en cortos períodos de tiempo.

10.5. Módulos *Cost* y *On Option*

Estos módulos construyen los parámetros de costos y relaciones de precio para la toma de contenedores sin contrato establecido (*ONOPT*) respectivamente.

El módulo de costos consiste en una base de datos donde el usuario puede insertar los costos que desea utilizar para el modelo. La aplicación se encarga de generar los parámetros correspondientes. Vale destacar, que para cada costo existe un valor *default* equivalente al promedio de los valores pagados por la compañía en distintas localidades del mundo.

El módulo opción de toma de contenedores genera diferencias en el precio para la variable *ONOPT* dependiendo de la localidad y tipo de equipo. Mediante una lista modificable por el usuario, se pueden establecer valores distintos en la toma de contenedores según localidad y tipo de equipo para esta variable de holgura, a modo de representar que en algunas combinaciones es muy difícil conseguir contenedores vacíos para incorporar a la flota, o bien la preferencia que tiene el tomador de decisiones frente a ciertas combinaciones.

10.6. Consideraciones sobre los Módulos de Generación de Datos.

Los módulos de datos tienen como objetivo el generar parámetros de *input* para el modelo de manera automatizada antes de cada corrida del modelo. Sin embargo, éstos están diseñados de manera que ningún tipo de información sea recalculada.

La información que utilizan es almacenada de manera ordenada en tablas de datos del sistema. La idea, es que los módulos van “aprendiendo” de los errores en estimaciones que se han cometido en el pasado.

Si bien los módulos se ejecutan al inicio de cada día de manera automatizada, muchas veces el operador debe cambiar alguno de los parámetros generados con el fin de incorporar información que él posee y que los datos no son capaces de explicar por sí solos. Además, otras veces el operador necesitará variar alguno de los parámetros implícitos en los módulos de generación y recrear un conjunto de datos para ingresar al modelo. Por lo anterior, se generó una interfase³¹ para el usuario, con el fin de que éste pueda recalcular parámetros cuando lo estime conveniente y correr una nueva instancia del modelo incluyendo las modificaciones realizadas.

La interfase permite ejecutar cada módulo por separado y demora en promedio cerca de 20 minutos cada uno (2 Horas para el total). Además permite modificar parámetros *input* para cada módulo o bien el resultado creado por éste y gatillar automatizadamente el resto del proceso, es decir, la ejecución del modelo y la creación de reportes.

Los módulos han sido chequeados en su funcionamiento y estructura. Para esto se han ejecutados sobre conjuntos de datos antiguos y posteriormente se ha evaluado su desempeño con el fin de regular los valores *default* que incorporan. Es importante destacar, que actualmente el sistema genera parámetros adecuados, pero que pueden ser mejorados a medida que el usuario entregue más información al sistema variando los valores *default* que sirven como *input* para los módulos o bien cambiando las estimaciones generadas por éstos. Otro factor de relevancia es la calidad de los datos

³¹ Para ver imágenes de la interfase creada consultar la sección Anexos en “Interfase Creada para Módulos de Generación”.

provenientes desde las bases de datos transaccionales. A medida que la información sea mejorada y las programaciones elaboradas respetadas, los factores de seguridad irán disminuyendo su valor para un mismo nivel de cobertura, lo que se traducirá en menores inventarios mínimos exigidos y mayor precisión en las estimaciones, generando así una representación más precisa de la realidad y una mayor potencialidad en la reducción de costos operacionales.

11. Resultados Modelo con Incertidumbre

El modelo con incorporación de incertidumbre fue implementado usando la aplicación GAMS versión 20.7. El tiempo que tarda la aplicación en resolver una instancia del modelo para un total de 180 localidades y 5 tipos de equipo demora entre 25 y 40 minutos en un computador con un procesador Intel Pentium M de 1,73 GHz y 2 Giga RAM de memoria física, dependiendo de la instancia que se busque solucionar. Para mayor información sobre el código utilizado consultar Anexos en “Código GAMS Modelo con Incorporación de Incertidumbre”. Es importante mencionar que las visualizaciones gráficas corresponden a los resultados de la ejecución del modelo del día 28/02/2007, por lo que los resultados son las decisiones que se propuso tomar a los operadores a partir del día 1 de Marzo.

Los resultados que entrega el modelo permiten determinar la mejor planificación que se le puede dar a una localidad tomando en cuenta los pronósticos de demanda y devolución creados junto con el inventario mínimo de contenedores vacíos que se le exige para combatir la incertidumbre del sistema. En este sentido, los resultados permiten visualizar cuántos contenedores se deberán reposicionar y desde dónde, además de cuántos contenedores deben ser tomados en dicha localidad, para que la operación sea lo más económica posible.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados entregados por el modelo para la Localidad 1 equipo Tipo 1:

FECHA	WI	WMIN	ONOPT	ON	OFF	SP	DF	RF	V_OUT	V_IN	NV_IN	NV_OUT
01-03-2007	7.050	0	0	0	0	20	366	106	0	0	0	0
02-03-2007	6.810	764	0	0	0	288	266	40	0	0	0	0
03-03-2007	6.872	666	0	0	0	64	251	62	0	0	0	0
04-03-2007	6.747	636	0	0	0	6	124	31	0	0	0	0
05-03-2007	6.660	521	0	0	0	26	116	19	0	0	0	0
06-03-2007	6.589	555	0	0	0	10	125	43	109	0	0	0
07-03-2007	6.408	723	0	0	0	42	309	96	0	0	0	99
08-03-2007	6.138	735	0	0	0	516	363	106	509	0	0	0
09-03-2007	5.889	852	0	0	0	30	263	34	0	0	0	32
10-03-2007	5.658	952	0	0	0	18	247	62	0	0	0	0
11-03-2007	5.491	875	0	0	0	782	122	30	0	0	0	0

Tabla 14: Resultados Modelo con Incertidumbre para Localidad 1 equipo Tipo 1.

Como se aprecia en la tabla, el modelo muestra el inventario de TEUS propuesto (*WT*), considerando el mínimo exigido y las proyecciones de demanda y devolución. Además muestra como componer el inventario indicando cuantas TEUS deben ser traídas o enviadas a otras localidades usando los distintos medios de transporte. Junto a lo anterior, entrega propuestas sobre cuántos contenedores se deben incorporar en dicha localidad por conceptos de contratos ya efectuados (*ON*), cuántos podrían ser eliminados en dicha localidad (*OFFOPT*) en caso que se desee y cuántos contenedores deberán ser incorporados a través de un nuevo contrato usando alguna de las modalidades disponibles (*ONOPT*). Es importante destacar que las decisiones asociadas a esta última variable quedan en manos del operador, ya que éste debe decidir si ese número de TEUS debe ser satisfecho con un *delivery*, *reception* o contrato a plazo.

Las propuestas que entrega el modelo sobre el transporte de contenedores vacíos (*V_OUT*, *V_IN*, *NV_IN* y *NV_OUT*), están sujetas a los medios de transporte y capacidades disponibles según las proyecciones del sistema. En este sentido, la solución considera los contenedores a traer a la localidad indicando la nave en la que deben ser traídos y la localidad desde donde deben ser embarcados, considerando el tiempo que demoran en transportarse. Con esto, también pueden visualizarse las proyecciones que el modelo sugiere para cada nave.

En la Tabla 15 se muestra la propuesta del modelo respecto de la carga y descarga que debe realizarse en el Buque 1 para contenedores Tipo 1.

Fecha Zarpe	Fecha Llegada	Loc. Inicio	Loc. Destino	TEUS Subidas en Origen	TEUS Bajadas Destino	TEUS Viajando
04-03-2007	05-03-2007	MXVER	MXATM	106	106	106
05-03-2007	07-03-2007	MXATM	USHOU	0	0	0
07-03-2007	09-03-2007	USHOU	USNEW	17	17	17
09-03-2007	12-03-2007	USNEW	USPEF	0	0	0
12-03-2007	15-03-2007	USPEF	CARB	0	0	0
15-03-2007	24-03-2007	CARB	BRSSZ	0	0	0
24-03-2007	29-03-2007	BRSSZ	ARBUE	0	0	0
29-03-2007	31-03-2007	ARBUE	BRRIG	0	0	0
31-03-2007	02-04-2007	BRRIG	BRPNG	0	0	0
02-04-2007	03-04-2007	BRPNG	BRSSZ	0	0	0
03-04-2007	05-04-2007	BRSSZ	BRRIO	0	0	0
05-04-2007	16-04-2007	BRRIO	MXVER	327	0	327
16-04-2007	29-05-2007	MXVER	MXATM	717	674	1044
29-05-2007	31-05-2007	MXATM	USHOU	0	217	370
31-05-2007	02-06-2007	USHOU	USNEW	0	153	153
02-06-2007	05-06-2007	USNEW	USPEF	0	0	0
05-06-2007	07-06-2007	USPEF	CARB	0	0	0
07-06-2007	16-06-2007	CARB	BRSSZ	486	486	486
16-06-2007	21-06-2007	BRSSZ	ARBUE	0	0	0
21-06-2007	23-06-2007	ARBUE	BRRIG	342	342	342
23-06-2007	25-06-2007	BRRIG	ECSA	0	0	0
25-06-2007	26-06-2007	ECSA	BRSSZ	1102	842	1102
26-06-2007	28-06-2007	BRSSZ	BRRIO	0	260	260
28-06-2007	09-07-2007	BRRIO	MXVER	0	0	0

Tabla 15: Resultados Modelo con Incertidumbre para nave Buque 1.

Como se aprecia en la tabla, el modelo indica cuántos contenedores subir y bajar en cada puerto por el que pasará el buque en su ruta futura. Esta programación respecta la cantidad máxima de TEUS a cargar entre pares de localidades.

El modelo, al entregar resultados sobre el inventario que debe tener cada combinación localidad y tipo de equipo, junto con entregar la cantidad de contenedores a ser reposicionados indicando origen, destino y medio de transporte, permite determinar cuál debiese ser el comportamiento macro del sistema. En este sentido permite ver cual será el nivel de inventario de contenedores vacíos hacia el futuro, y con esto decidir cuales serán las decisiones a tomar, respecto de la flota o las capacidades de transporte. Así, si por ejemplo, el modelo muestra que el inventario de vacíos irá creciendo a futuro (sin haber crecimientos en demanda), habrá que tomar ciertas prevenciones respecto a este tema. Una solución podría ser incrementar la capacidad de transporte de vacíos hacia las localidades que solicitan toma de contenedores o bien realizar estrategias de precios

para incentivar la devolución de contenedores en las localidades deficitarias. Una tercera opción sería realizar esfuerzos respecto de intercambios de contenedores en lugares de mayor conveniencia para la compañía.

En términos del sistema general, la solución utilizada entregó los siguientes resultados de operación medidos en TEUS_M para el horizonte proyectado de seis meses que va desde el 28/02/2007 hasta el 04/09/2007. Además se presentan similares resultados usados por la compañía en el período equivalente del año 2006:

Año	Demanda	Devolución	On Hire	Rep. Agua	Rep. Tierra
2007 (Esperado)	574.640	569.205	20.289	233.707	65.031
2006	603.304	592.578	47.958	260.697	47.379

Tabla 16: Comparación de resultados del modelo frente a período similar año 2006.

En este caso las la unidad usada es la TEUS_M, que equivale a las TEUS ajustadas por un factor con el fin de mantener la confidencialidad en los resultados propuestos.

Como se puede observar en la tabla anterior el modelo planifica que para satisfacer las necesidades de los clientes sería necesario incorporar sólo 20.289 TEUS_M a la flota, dentro de los cuales cerca de 6.000 pertenecen a contratos ya pactados con capacidad no cubierta. El resto de las TEUS_M a incluir podría ser negociado a préstamos con otras navieras sin la necesidad de incurrir en contratos de largo plazo, o bien podría realizarse un estudio de segundo nivel en las localidades que necesitarán estas unidades con el fin de determinar si se podría operar sin ellas analizando si el inventario mínimo exigido puede ser reducido, si el aumento de la capacidad de transporte puede suplir la necesidad o si la compañía está dispuesta a no satisfacer potenciales demandas ya que considera no es conveniente realizar un contrato a largo plazo para satisfacer una sola demanda.

Los resultados indican también que los viajes de vacíos a realizar por medios de transporte acuático podrían ser reducidos, sin embargo, los reposicionamientos por tierra aumentarían al considerar las distintas posibilidades. Lo anterior tiene sentido, ya que el modelo busca reducir la incorporación de contenedores realizando un mayor flujo de reposición. Esto puede ser variado considerando diferentes estrategias de precios a la

hora de ejecutar el modelo, dando prioridad a la reducción de viajes frente a la toma de contenedores, en caso que se desee evaluar dicho escenario.

Es importante destacar que los volúmenes de demanda y devolución se proyectan menores al volumen operado en el pasado, debido principalmente a la metodología usada para los pronósticos. Es importante destacar que dichos valores pueden ser modificados por el usuario mediante el uso de la interfase con el fin de evaluar escenarios más o menos optimistas frente a la demanda que enfrentarán en el horizonte proyectado.

Otro resultado interesante del modelo se muestra cuando se liberan las restricciones sobre los *Off Hire*, ya que presenta cuántos contenedores son los realmente útiles para la operación, debido a que el resto es eliminado de la flota. Lo anterior permite determinar objetivos razonables en caso que se desee eliminar contenedores, ya que se tiene un nivel actual y un mínimo de operación. Debido a que este último es un valor analizado mediante la asistencia de un computador, los valores esperados razonables deberán ser mayores al mínimo, pero menores al nivel actual. A continuación se presenta el nivel mínimo de contenedores en TEUS_M según el modelo:

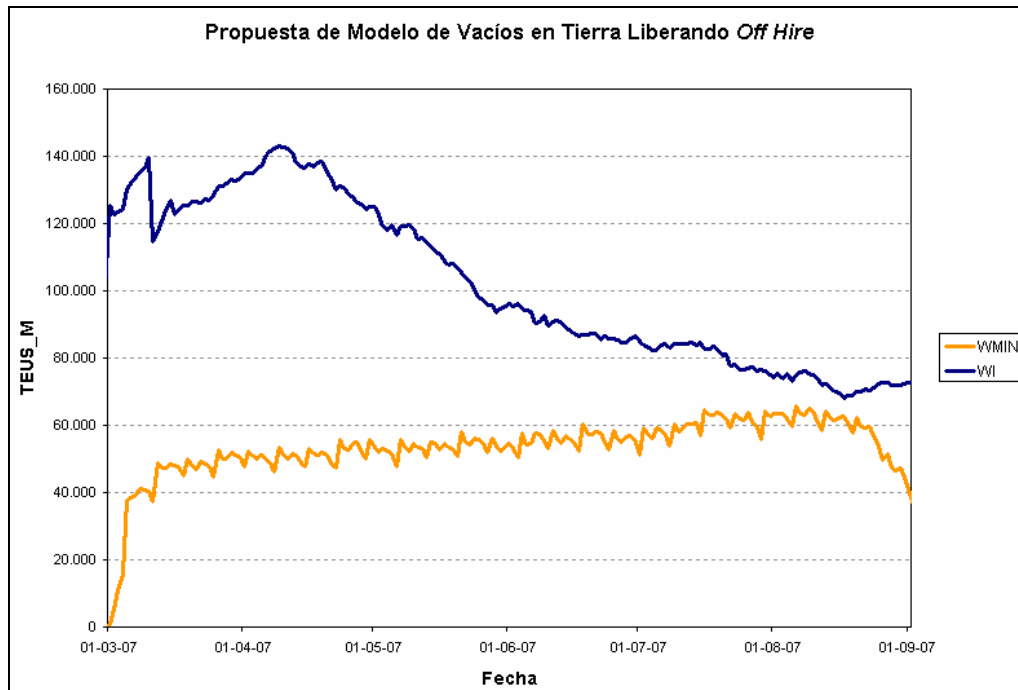


Gráfico 7: Inventario mínimo propuesto por el modelo al liberar restricciones de *Off Hire*.

Como se aprecia en la figura, el modelo buscará igualar el inventario de contenedores en flota al mínimo exigido, eliminando la máxima cantidad de TEUS posible. Si bien, el nivel propuesto irá decreciendo a medida que se acerca el final de los 6 meses proyectados, debido a la falta de condiciones de borde explícitas, es razonable considerar los primeros meses de solución como objetivo para la reducción de flota.

Es importante destacar que los resultados del modelo son una propuesta para las decisiones que enfrentará el operador basada en los pronósticos a futuro. Por lo anterior, es sumamente importante que el tomador de decisiones incorpore las sugerencias del modelo como tal. En otras palabras es de vital importancia que el modelo sea modificado por el operador dependiendo de los potenciales errores que se encuentren y del objetivo de los datos a revisar en los resultados.

12. Alcance del Sistema Creado

Si bien el sistema fue creado como plataforma para la generación automatizada de parámetros a partir de la lectura de las bases transaccionales de la compañía, la utilidad que puede generar a la empresa es bastante mayor.

Actualmente a partir del ordenamiento y limpieza de datos que realiza el sistema en su aplicación *Actualización Marginal*, se encuentra disponible una estructura de datos limpia y ordenada de fácil acceso para los operadores y que además de los datos usuales manejados por la compañía, incorpora estadísticas sobre las decisiones tomadas en términos operacionales y su desempeño real histórico. En este sentido, el sistema apoya el proceso de decisiones intrínsecamente elaborando de manera automatizada datos que ciertamente resultan interesantes y útiles para los tomadores de decisiones operacionales y que podrían serlo también para usuarios de otros departamentos de la compañía.

En este marco dentro del proceso que se ejecuta diariamente, el sistema elabora automatizadamente más de una docena de reportes diseñados en conjunto con los usuarios facilitando sus tareas del día a día, permitiéndoles dedicar más tiempo a decisiones estratégicas. Algunos de éstos son:

- *Commercial+Empty CSAV Group Imbalance*: En este reporte se detalla el desbalance que ha presentado cada zona durante el último año. Permite ver para cada localidad y tipo de equipo cuál ha sido su demanda, devolución, reposición de entrada y salida y su desbalance físico en la relación al resto de las localidades o subconjuntos establecidos. También permite realizar filtros por distintos los Servicios de Línea y naves operadas.
 - *Demand and Forecast Summary*: Presenta los resúmenes de demanda que ha recibido cada localidad y tipo de equipo en la historia, además de los últimos pronósticos realizados para el futuro.
- Es importante destacar, que existe un reporte similar para el caso de las devoluciones.

- *Origin and Destination CSAV*: En este reporte se detallan los pares origen destino para cada uno de los movimientos de contenedor que se ha sido registrado, ya sea de equipos que transportan carga o se mueven vacíos. La información es diferenciada hasta el nivel de localidades y tipos de equipo movilizados, además de los medios de transporte involucrados permitiendo visualizar los volúmenes transportados tanto en número de contenedores como el equivalente en TEUS.

Cada reporte es creado utilizando el formato de tabla dinámica disponible en las aplicaciones Excel. Esto permite agrupar las localidades en términos de zonas, oficinas regionales u otras determinadas por el usuario. Además permite realizar filtros para ver el desempeño de sólo algunos tipos de equipos y diferenciar de acuerdo a los servicios, tipos de medio de transporte (incluyendo información por nave), estado del contenedor o actividades particulares.

Un segundo factor de utilidad que genera el sistema creado es al revisar los datos utilizados por la compañía y realizarles limpieza y ordenamiento, permite cuantificar y determinar los errores implícitos en la información. Así, permite descubrir errores que hasta ahora no habían sido considerados debido a que la información no era utilizada o bien, porque éstos no presentaban un gran impacto en el proceso de toma de decisiones actual.

Un último alcance del sistema es que además de los resultados del modelo expuestos en el capítulo anterior, éste permite al operador que realice análisis de su interés haciendo uso de la interfase creada para la generación de parámetros para variar ciertos aspectos del modelo. En este sentido el sistema permite responder preguntas del tipo *What If* de manera relativamente simple y automatizada, permitiendo cuantificar el valor real de lo que significaría la implementación de las variables incorporadas en el análisis.

Un ejemplo de lo anterior es determinar el impacto que significaría en la operación incluir un nuevo *vessel* en una ruta establecida o bien un grupo de éstos estableciendo un nuevo Servicio de Línea. Para esto el operador sólo debe incluir las rutas y capacidades de vacíos de las naves que desea estudiar haciendo uso de la interfase creada. Posterior a esto debe reejecutar el modelo y la creación de reportes con el fin de comparar estas nuevas soluciones con las obtenidas usando el estado actual del sistema.

Con esto podrá determinar no sólo cuánto se reduciría en costo total de operación proyectado, sino que además permitiría ver cuántos contenedores llenos y vacíos se transportarían en este nuevo servicio, cuáles serían las localidades que obtienen un mejor impacto y cuántos *On Hire* futuros se dejarían de realizar por conceptos de mayor capacidad de reposicionamiento de vacíos.

En esta misma línea un segundo análisis consiste en variar las capacidades de transporte de vacíos actual en la compañía. Para esto las capacidades pueden ser aumentadas o bien liberadas permitiendo que el sistema mueva las TEUS que desea mover independiente de la capacidad real. Con esto se puede determinar la ganancia que se registraría en el sistema en caso que se renegociaran capacidades de transporte para elevarlas, junto con determinar servicios donde la capacidad actual puede ser reducida.

Otro análisis de relevancia consiste en determinar nuevas localidades donde sería estratégicamente positivo negociar toma de contenedores para el futuro. Si bien esto ya se realiza actualmente en el modelo dejando libre las posibilidades de toma de contenedores futuras (*ONOPT*), con el fin de mostrar donde le conviene al sistema negociar nuevos flujos de contenedores para el futuro independiente de la modalidad de incorporación, el operador puede construir estrategias de costos que le permitan responder preguntas más precisas respecto de este punto. En este sentido, puede determinar las localidades donde es más provechoso que devuelvan los contenedores diferenciando por tipo de equipo.

Respecto de las localidades operadas también pueden realizarse ciertos análisis con el fin de determinar si conviene agruparlas operacionalmente haciendo que éstas compartan estimaciones de demanda y stock de seguridad. Por ejemplo, puede crear una nueva localidad virtual que se llame CLSAI_CLVAP y que agrupe las localidades reales de Santiago y Valparaíso. Con esto, incluyéndola como un grupo en el sistema haciendo uso de la interfase, éste automáticamente la considerará como una sola localidad realizando todos los pronósticos para el conjunto, además de exigir inventario mínimo para la suma de las operaciones. Con esto, el operador puede determinar cuánto inventario necesita para la nueva localidad, que claramente será menor que la suma de los inventarios propuestos en caso de analizarlas por separado. Claramente esta mejora crecerá a medida que los pares (o grupos de más localidades) involucrados se

complementen reduciendo la varianza asociada a los errores de pronóstico. Vale destacar que este análisis sólo tiene sentido para localidades “cercanas” que pueden compartir en términos de factibilidad operacional un stock de seguridad.

Los potenciales análisis de sensibilidad que pueden ser realizados mediante el del sistema creado a través de la interfase son muchos más que los expuestos en los párrafos anteriores. Éstos dependerán de las preguntas que deseen ser evaluadas por el operador y podrán incluir tantas variables y combinaciones como se desee.

13. Conclusiones

A partir del trabajo realizado, los datos y resultados discutidos a lo largo del informe se puede concluir lo siguiente:

La empresa, a partir de la naturaleza de su negocio e interacción con los clientes presenta un desbalance comercial de contenedores en el mundo, traduciéndose en que posee localidades con superávit de contenedores vacíos y otras con déficit. Para contrarrestar este déficit realiza reposicionamientos de contenedores vacíos y variaciones convenientes al nivel de su flota, que actualmente presenta un nivel de cerca de 325.000 contenedores (480.000 TEUS).

Actualmente la compañía tiene una flota de contenedores que parece estar sobredimensionada para sus niveles reales de operación. De manera similar, realiza más reposicionamientos de los necesarios, lo que se traduce en gastos que pueden ser evitados. Esto presenta una oportunidad para reducir el nivel de flota y volumen de reposicionamiento de contenedores vacíos, traduciéndose en un ahorro en costos sin descuidar su actual nivel de operación y calidad de servicio. Lo anterior es reflejado al comparar las decisiones tomadas durante el año 2006 con el modelo determinístico creado para similar período.

Las decisiones tomadas por la compañía responden a la extrema dificultad de organizar el funcionamiento de cerca de 600 localidades y 17 tipos de contenedor de manera manual, sin la ayuda de una herramienta computacional para asistir el proceso de toma de decisiones. Además, inclusive organizando de manera adecuada los inventarios a mantener, el número de posibles combinaciones para ejecutar la planificación es altísimo.

La planificación de las decisiones futuras de operación de la compañía está sujeta a una alta incertidumbre. Componentes de ésta son la demanda que se enfrentará a futuro, el lugar y fecha donde serán devueltos los contenedores que se prestan a clientes para cumplir ciclos de demanda, la capacidad del transporte de vacíos según el medio y la duración de cada componente de la operación, entre otros.

Una herramienta computacional basada en un modelo matemático puede asistir las decisiones futuras de la compañía y ayudar a reducir la flota de contenedores y el volumen de viajes de reposicionamiento, junto con asistir las decisiones operacionales de toma y reentrega de contenedores, considerando el alto nivel de escenarios y combinaciones que es capaz de analizar en cortos períodos de tiempo. Además, debe incorporar la incertidumbre intrínseca del sistema.

En este trabajo, se da a conocer un modelo matemático que permitiría asistir las decisiones de reposicionamiento de contenedores y nivel de flota. Este modelo, entrega soluciones que permanecen factibles frente a distintos escenarios que podría entregar la realidad debido a la incertidumbre asociada al sistema, ya que trabaja sobre conjuntos de parámetros estratégicamente sobredimensionados usando el concepto intervalos de confianza para los errores de los pronósticos utilizados. En este sentido, el modelo entrega soluciones de carácter robusto.

Esta sobreprotección puede ser regulada por el usuario dependiendo de los niveles de cobertura que desee utilizar y es determinada a través de estudios estadísticos sobre información que es actualizada y recalculada previa a cada ejecución de los modelo.

El modelo propuesto analiza un horizonte futuro de seis meses e incorpora 180 localidades y 5 tipos de contenedor. La razón del largo del horizonte está dada principalmente porque es a ese horizonte que se puede encontrar una planificación razonable de las recaladas futuras. Respecto de las localidades y tipos de contenedor, las 900 combinaciones analizadas responden a un análisis 80-20 realizado sobre el total de combinaciones.

Si bien el modelo está diseñado para soportar el proceso de toma de decisiones actual de la empresa respecto de sus niveles de flota y reposicionamiento de contenedores vacíos, su alcance es mayor, ya que ofrece la posibilidad de realizar análisis sobre lo que pasaría si se toman ciertas decisiones cuantificándolas de manera precisa.

Gran parte de la información incorporada al modelo proviene directamente de las bases de datos transaccionales de la compañía. Muchas veces esta información presenta errores, lo que se traduce en que los inventarios mínimos exigidos deben tener un alto

volumen de contenedores para combatirlos. A medida que los operadores y el resto de la empresa disminuyan los errores en la información, el inventario de seguridad irá disminuyendo, debido a que la incertidumbre asociada al sistema es menor. En esta línea, el modelo ofrece una excelente alternativa para cuantificar los errores actuales en la operación y determinar la ganancia que se podría obtener al corregirlos.

El modelo propuesto se incorpora dentro de un sistema de procesamiento de datos compuesto de tres estructuras principales. La primera incorpora los datos de la compañía y los ordena de manera que éstos estén disponibles para consultas recurrentes. La segunda subdividida en diferentes módulos de ejecución, construye los parámetros que son el *input* para el modelo lineal con incorporación de incertidumbre desarrollado. La última aplicación ejecuta el modelo lineal que incorpora incertidumbre y los reportes asociados. El sistema actualmente demora cerca de seis horas en ser ejecutado en su totalidad y entrega resultados todos los días a las 8:00 hrs. Sin embargo, presenta una interfase para el usuario donde este puede realizar modificaciones a los parámetros con el fin de que el modelo se reejecute incorporando dichos cambios. Esta operación puede ser realizada varias veces en un mismo día dependiendo del nivel de las variaciones realizadas por el operador.

El desarrollo computacional creado tiene como objetivo crear parámetros para la ejecución de un modelo matemático. Sin embargo, realiza un análisis bastante detallado de lo que son los datos de la compañía y realiza una limpieza y orden de éstos almacenándolos en una base secundaria. Debido a lo anterior, éste presenta un gran potencial para ayudar en el proceso de toma de decisiones a otras divisiones de la compañía.

Las sugerencias que entrega el modelo son las decisiones analizadas por un computador y deben ser tomadas como tal. Muchas veces los parámetros de entrada deberán ser variados para que las soluciones propuestas reflejen un comportamiento factible en la operación real. Otras veces las soluciones entregadas por el sistema serán bastante difíciles de operacionalizar, debido principalmente al alto número de decisiones que actualmente deben ejecutar los operadores. Dado lo anterior, es que es el operador quien tiene la primera palabra y debe usar los resultados del sistema sólo como un apoyo.

14. Bibliografía Consultada

- Ben-Tal, A.; Goryashko, A.; Guslitzer, E. and Nemirovski, A. 2003, “Adjutable Robust Solutions of Uncertain Linear Problems”, Mathematical Programing, Ser. A 99:351-376.
- Bertsekas, D. 1998 “Network Optimization, Continuous and Discrete Models”.
- Bertsimas, D. and Sim, M. 2003, “Robust Discrete Optimization and Network Flows”, Mathematical Programing, Ser. B 98:49-71.
- Bertsimas, D. and Sim, M. 2004, “The Price of Robustness”, Operations Research, Vol 52, No 1: 35-53.
- Brown, R. 1959, “Statistical Forecasting for Inventory Control”, Ed. McGraw-Hill.
- Crainic, T. 1999, “Service Network Design in Freight transportaron”, European Journal of OR, 122:272-288.
- Crainic, T.; Gendreau, M.; Dejax, P. 1992, “Dinamic and Stochastic Models for the allocation of Empty Containers”, Operations Research, Vol 41, No 1: 122-126.
- Erera, A.; Morales, J. and Savelsbergh, M. 2005, “Global Intermodal Tank Container Management for the Chemical Industry”, 24 pp.
- Erera, A.; Morales, J. and Savelsbergh, M. 2006, “Robust Optimization for Empty Repositioning Problems”, 31 pp.
- Gavirneni, S.; Kapuscinski, R and Tayur, S. 199 “Value of Information in Capacitated Supply Chains”, Management Science, Vol 45, No. 1: 16-24.
- Hooker, J “Duality in Optimization and Constraint Satisfaction”, 13 pp.

- Jansen, B.; Swinkles, P., Teeuwen, G.; Van Antwerpen de Fluiter, A. and Fleuren, H. 2003, “Operacional Planning of a Large-Scale Multi-Modal Transportation system”, European Journal of OR, 156:41-53.

- Wolsey, L. 1997, “Integer Programming”. John Willey & sons.

15. Anexos

15.1. Otros Servicios de Línea

A continuación se presentan dos Servicios de Línea usados por la compañía, detallando su nombre y las localidades en que recala.



Figura 10: Rutas y localidades visitadas por servicio Mediterráneo.

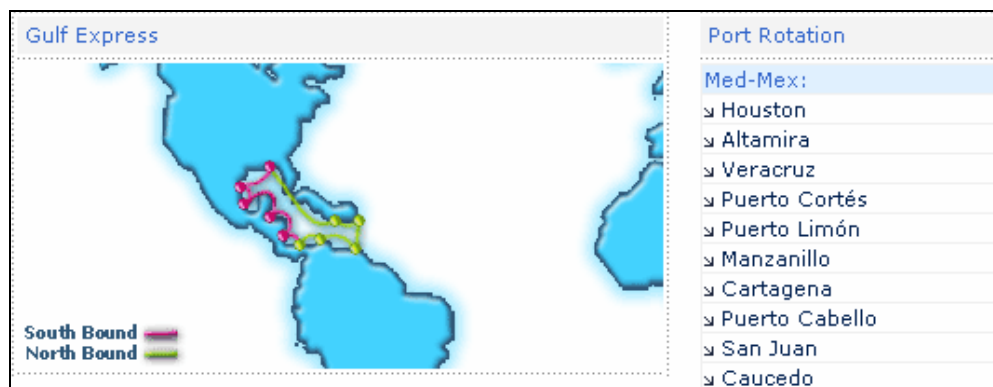


Figura 11: Rutas y localidades visitadas por servicio Golfo Express.

15.2. Definición Detallada de Registro de Actividades

A continuación se describen en detalle las actividades que utiliza la compañía para registrar las operaciones realizadas por cada contenedor durante su historia.

- *CPE*: Momento en que un consignatario devuelve un contenedor después de haber desconsolidado su carga. Con esto, el contenedor se considera vacío en tierra.
- *CPF*: Actividad en que el consignatario devuelve un contenedor cargado a la compañía. Esto puede ocurrir cuando el cliente además de ser consignatario actúa como shipper, llenando el contenedor en la misma localidad con carga diferente después de realizar la desconsolidación.
- *DEL*: Actividad que denota la salida de un contenedor de la flota activa de CSAV, debido a que fue prestado o intercambiado con un tercero.
- *DPE*: Refleja que un contenedor en estado vacío inició un viaje en medio de transporte terrestre, usualmente asociado a reposicionamiento.
- *DPF*: Refleja que un contenedor cargado inicia un viaje por medio de transporte terrestre cumpliendo una etapa en su ciclo de demanda.
- *OFF*: Refleja que un equipo fue eliminado de la flota, ya sea por pérdida total, devolución a empresa de leasing u otro dueño (shipper own).
- *ON*: Incorporación de contenedor a la flota operada por conceptos de contratos (On Hire) o préstamos de terceros. Una vez registrada esta actividad se considera al contenedor vacío en tierra.
- *PCF*: Denota el traspaso del contenedor cargado hacia un consignatario para desconsolidación una vez que ha llegado a la localidad final de transporte en el ciclo de demanda.

- *PDE*: Indica el término de un viaje de contenedor vacío en medio de transporte terrestre. Una vez ejecutada esta actividad, el contenedor se considera vacío en tierra.
- *PDF*: Actividad usada para indicar el término de un viaje realizado por un contenedor cargado usando medio de transporte terrestre como parte de un ciclo de demanda.
- *PSE*: Indica el traspaso de un contenedor desde manos de la empresa hacia un cliente shipper con el fin de que éste consolide su carga a ser transportada. Denota el inicio de un ciclo de demanda regular.
- *PSF*: Actividad usada para registrar el traspaso de un contenedor cargado desde manos de la empresa hacia el shipper. Esto ocurre cuando hay problemas con la carga a transportar entre otros.
- *PVE*: Refleja que un contenedor en estado vacío inició un viaje en medio de transporte marítimo, usualmente asociado a reposicionamiento. Una vez registrada esta actividad se considera al contenedor vacío en tierra.
- *PVF*: Actividad usada para indicar inicio de un viaje realizado por un contenedor cargado usando medio de transporte marítimo como parte de un ciclo de demanda.
- *REC*: Denota el ingreso de un contenedor a la flota desde las manos de otra naviera. Esta actividad puede indicar una devolución (cuando precede a *DEL*), o bien inicio de un préstamo por parte de un tercero. Una vez registrada esta actividad se considera al contenedor vacío en tierra.
- *SFF*: Actividad utilizada para declarar que un contenedor fue cargado por un shipper en el mismo puerto donde sería embarcado, sin necesidad de haber realizado las actividades *PSE* y *SPF*, generando un ciclo de demanda no típico.

- *SPE*: Denota la devolución de un contenedor vacío por parte de un shipper. Se asocia a que el cliente no está satisfecho con el equipo enviado, entre otros. El registro de esta actividad indica que el equipo se encuentra vacío en tierra.
- *SPF*: Indica la devolución de un contenedor lleno hacia la empresa con el fin de que ésta transporte la carga que el shipper consolidó.
- *STE*: Registra la desconsolidación por parte del consignatario de un contenedor en el mismo puerto donde finalizó su traslado, sin necesidad de incurrir en las actividades *PCF* y *CPE*, realizando un ciclo de demanda no típico. Una vez registrada esta actividad se considera al contenedor vacío en tierra.
- *TRA*: Indica el ingreso de un contenedor de propiedad de un tercero lleno para ser transportado por la empresa (shipper own).
- *VPE*: Indica el término de un viaje de contenedor vacío en medio de transporte marítimo. Una vez ejecutada esta actividad, el contenedor se considera vacío en tierra.
- *VPF*: Actividad usada para indicar el término de un viaje realizado por un contenedor cargado usando medio de transporte marítimo como parte de un ciclo de demanda.

15.3. Código en GAMS Reconstrucción 2006

A continuación se presentan extractos del código GAMS utilizado para la Reconstrucción de la operación durante 2006.

```
$Title
*****
$Ontext          MODELO 1 RECONSTRUCCIÓN AÑO 2006          $Offtext
*****
*ARCHIVOS DE PARAMETROS Y CONJUNTOS UTILIZADOS EN EL MODELO

*****Definiciones de conjuntos sobre los cuales opera el modelo
Sonempty

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\SETS_t.inc
Alias (t,s,p,r);

*****Archivos incluidos con parametros

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\PARAM_Spik0.inc
$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\PARAM_Dikt.inc

*****Conjuntos de definición de variables y parametros

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\Sets_ES_ijktsv.inc
$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\SETS_X_ijktsv.inc

*****
*****
*DEFINICIÓN Y NATURALEZA DE LAS VARIABLES
Variables

    WI(i,k,t)    Stock de contenedores tipo k en la localidad i al principio del dia t.
    H(i,k,t)    Variable de holgura para evitar infactibilidades por invenratio minimo
    z           Funcion objetivo;

Positive Variable H,WI;

*****
*****
*RESTRICCIONES DEL MODELO

Equations

    Funcion_Objetivo          Funcion Objetivo del problema

    Flujo(i,k,t)              Balance de contenedores en localidad i y dia t para contenedores tipo k

*****

Funcion_Objetivo..          z=e= sum((i,k,t), WI(i,k,t))+ sum((i,k,t), 1000000000*H(i,k,t));

Flujo(i,k,t)$ (ord(t) < card(t))..  WI(i,k,t+ 1) =e= WI(i,k,t)- D (i,k,t) + R(i,k,t)-DEL(i,k,t) + REC(i,k,t)
                                     -OFF(i,k,t) + ON(i,k,t) + H(i,k,t) +
                                     sum((j,s,v)$ (ord(s) le ord(t) and ES_ijktsv(j,i,k,s,t,v)),ES(j,i,k,s,t,v)$ (ES_ijktsv(j,i,k,s,t,v)))
                                     -sum((j,s,v)$ (ord(s) ge ord(t) and ord(t)>1 and
                                     ES_ijktsv(i,j,k,t,s,v)),ES(i,j,k,t,s,v)$ (ES_ijktsv(i,j,k,t,s,v)));

*****
```

*****Condicion de borde sobre la variable de holgura

H.L(i,k,'0') = 0;

*RESOLUCION DEL MODELO

Model CSAV1 /all/;

option lp=Cplex;
Option reslim = 1000000000;
Option Iterlim = 1000000000;

Solve CSAV1 minimizing z using lp;

*REPORTES UTILIZADOS

file Sol0 /C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\ECO_model_result_01.txt/;
put Sol0;
put 'ON';OFF';H';DEL';REC';X_TOTAL_OUT';X_TOTAL_OUT ROUND';X_TOTAL_IN';X_TOTAL_IN' /;
put sum((i,k,t),ON(i,k,t)), sum((i,k,t),OFF(i,k,t)),sum((i,k,t),H.L(i,k,t)),
sum((i,k,t),DEL(i,k,t)),sum((i,k,t),REC(i,k,t)),
sum((i,j,k,t,s,v)\$ES_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t))),ES(i,j,k,t,s,v)),
sum((i,j,k,t,s,v)\$ES_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t))),ES(j,i,k,s,t,v));

file Sol2 /C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\ECO_model_result_03.txt/;
put Sol2;
put
'I';k';t';H';WT';SP';DDA';DIS';ON';OFF';DEL';REC';X_VESSEL_OUT';X_VESSEL_IN';X_OTHER_OUT';X_OTH
ER_IN';
loop(i,
loop(k,
loop(t, put i.tl;',k.tl;',t.tl;',H.L(i,k,t)',W.L(i,k,t)',SP(i,k,t)',D
(i,k,t)',R(i,k,t)',ON(i,k,t)',OFF(i,k,t)',DEL(i,k,t)',REC(i,k,t)',
sum((j,s,v)\$ES_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t)) and ord(v) = 1),round(ES(i,j,k,t,s,v)))',
sum((j,s,v)\$ES_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t)) and ord(v) = 1),round(ES(j,i,k,s,t,v)))',
sum((j,s,v)\$ES_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t)) and ord(v) ge 2),round(ES(i,j,k,t,s,v)))',
sum((j,s,v)\$ES_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t)) and ord(v) ge 2),round(ES(j,i,k,s,t,v))) /)

15.4. Código en GAMS Modelo Determinístico

A continuación se presentan extractos del código GAMS utilizado para el Modelo Determinístico.

```

$title
*****
$ontext      MODELO 1 DETERMINISTICO AÑO 2006      $offtext
*****
*ARCHIVOS DE PARAMETROS Y CONJUNTOS UTILIZADOS EN EL MODELO

*****Definiciones de conjuntos sobre los cuales opera el modelo

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\SETS_t.inc
Alias (t,s,p,r);
$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\SETS_i.inc
Alias (i,j);

*****Archivos incluidos con parametros

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\PARAM_DELIkt.inc
$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\PARAM_RECikt.inc
$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\PARAM_ESijktsv.inc

*****Conjuntos de definición de variables y parametros

$include C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\Parametros\SETS_X_ijktsv.inc
*****
*DEFINICIÓN Y NATURALEZA DE LAS VARIABLES
Variables

    X(i,j,k,t,s,v) Contenedores vacios tipo k transportados desde i a j con salida en t arriba en s y en transporte tipo v.
    WI(i,k,t)      Stock de contenedores tipo k en la localidad i al principio del día t.

Positive Variable WI,OFFV,ONV,X;
*****
*RESTRICCIONES DEL MODELO
Equations

    On_Maximo(i,k,t)      Maxima cantidad de On Hire de contenedores tipo k en localidad i fecha t.

    Off_Minimo(i,k,t)     Minima cantidad de Off Hire de contenedores tipo k en localidad i fecha t.

    Inventario_Inicial(i,k)  Inventario a inicio del periodo.

*****

On_Maximo(i,k,t)..      ONV(i,k,t)=e= ON(i,k,t);

Off_Minimo(i,k,t)..     OFFV(i,k,t)=e= OFF(i,k,t);

Inventario_Inicial(i,k)..  WI(i,k,'0')=e= SP(i,k,'0');

*****
*Condiciones de borde sobre Variable OFFV
OFFV.fx(i,k,'0')=0;

*****
*Condiciones de borde sobre transporte de vacios
X.fx(i,j,k,'0',s,v)$X_ijktsv(i,j,k,'0',s,v)=1.0*ES(i,j,k,'0',s,v)$ES_ijktsv(i,j,k,'0',s,v);
*****

```

*RESOLUCION DEL MODELO

```
Model CSAV1 /all/;
option lp=Cplex;
Option reslim = 1000000000;
Option Iterlim = 1000000000;
```

Solve CSAV1 minimizing z using lp;

```
*****
*****
```

*REPORTES UTILIZADOS

file Sol20 /C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\ECO_01_SIMULACION_OPT2.txt/;

put Sol20;

put 'ON','OFF','DEL','REC','X_TOTAL_OUT','X_TOTAL_OUT ROUND','X_TOTAL_IN','X_TOTAL_IN' /;

put sum((i,k,t),ONV.l(i,k,t)), sum((i,k,t),OFFV.l(i,k,t)),

sum((i,k,t),DEL(i,k,t)),sum((i,k,t),REC(i,k,t)),

sum((i,j,k,t,s,v)\$X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t)),X.l(i,j,k,t,s,v)),

sum((i,j,k,t,s,v)\$X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t)),X.l(j,i,k,s,t,v));

file Sol22 /C:\WINDOWS\gamsdir\simulacion\ECO_03_SIMULACION_OPT2.txt/;

put Sol22;

put

'I','k','t','WT','SP','D','R','ONV','OFFV','DEL','REC','X_VESSEL_OUT','X_VESSEL_IN','X_OTHER_OUT','X_OTHER_I
N' /;

loop(i, loop(k, loop(t,

put i.tl,'k.tl','t.tl','WL.l(i,k,t),'SP(i,k,t),'DDA(i,k,t),'DIS(i,k,t),'ONV.l(i,k,t),'OFFV.l(i,k,t),'DEL(i,k,t),'REC(i,k,t)');

sum((j,s,v)\$X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t) and ord(v) = 1),round(X.l(i,j,k,t,s,v))) ,';

sum((j,s,v)\$X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t) and ord(v) = 1),round(X.l(j,i,k,s,t,v))) ,';

sum((j,s,v)\$X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t) and ord(v) = 2),round(X.l(i,j,k,t,s,v))) ,';

sum((j,s,v)\$X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t) and ord(v) = 2),round(X.l(j,i,k,s,t,v))) /);

15.5. Código en GAMS Modelo con Incertidumbre

A continuación se presentan extractos del código GAMS utilizado para el Modelo con Incorporación de Incertidumbre.

```

$title
*****
$ontext  MODELO 1 MINIMIZACION DE INVENTARIOS Y TRANSPORTE  $offtext
*****
*ARCHIVOS DE PARAMETROS Y CONJUNTOS UTILIZADOS EN EL MODELO

*****Definiciones de conjuntos sobre los cuales opera el modelo
$onempty

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\SETS_time_t.inc
Alias  (t,s,p,r);

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\SETS_ON_iktn.inc

*****Archivos incluidos con parametros

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\PARAM_minimum_inventory_data_WMINikt.inc

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\PARAM_contract_on_CONiktsn.inc

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\PARAM_empty_and_secondary_empty_schedule_ESijtsv.inc

*****Conjuntos de definición de variables y parametros

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\Sets_CON_iktsn.inc

$include \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Parameters\Sets_ES_ijtsv.inc

*****
*DEFINICIÓN Y NATURALEZA DE LAS VARIABLES
Variables

X(i,j,k,t,s,v)  Contenedores vacios tipo k de contrato n transportados desde i a j con salida en t arribo en s y en transporte tipo w.
WI(i,k,t)       Stock de contenedores tipo k en la localidad i al principio del dia t.
ON(i,k,t,n1)    Contenedores a ser tomados en ON en cluster i set k y periodo t para contrato ya establecido n.
ONOPT(i,k,t)    Variable de toma de contenedores futuros de tipo k con contrato por definir en localidad i dia t.

Positive Variable X,WI,ON, ONOPT;
*****
*RESTRICCIONES DEL MODELO

Equations

    Cap_Secondary_Empty_Schedule(i,j,t,s,v)  Capacidad de envio de vacios por concepto de camionajes entre localidades i y j del
    tipo k con salida en t y arribo en s.

    Capacity_On(i,k,t,s,n1)  Cota para contenedores que pueden ser tomados por conceptos de contratos pasados;

*****

Cap_Secondary_Empty_Schedule(i,j,t,s,v)$ES_ijtsv(i,j,t,s,v) and (ord(t)=2) and (ord(s)=card(t)-1) and ord(v) le 4)..
    sum((k,p,r)$X_ijktsv(i,j,k,p,r,v) and ord(p) ge ord(t) and ord(r) le ord(s)
    and ord(p) le ord(r) and ord(v) le 4),
    X(i,j,k,p,r,v)$X_ijktsv(i,j,k,p,r,v) and ord(v) le 4))
    =I= (ES(i,j,t,s,v)$ES_ijtsv(i,j,t,s,v));

Capacity_On(i,k,t,s,n)$CON_iktsn1(i,k,t,s,n).. sum(r$(ON_iktn(i,k,r,n) and ord(r) ge ord(t) and ord(r) le ord(s)),
    ON(i,k,r,n)$ON_iktn(i,k,r,n))=I= CON(i,k,t,s,n)$CON_iktsn(i,k,t,s,n));

*****

```

*Condición de borde para viajes
X.fx(i,j,k,'0',s,v)\$ (X_ijktsv(i,j,k,'0',s,v)) = 0;

*Condición de borde para toma de contenedores
ON.fx(i,k,'0',n)\$ (ON_iktn(i,k,'0',n)) = 0;

*Condición de borde para holguras
WH.fx(i,k,'0') = 0;

DFH.fx(i,k,'0') = 0;

*RESOLUCION DEL MODELO

Model CSAV1 /all/;

option lp=Cplex;
Option reslim = 1000000000;
Option Iterlim = 1000000000;

Solve CSAV1 minimizing z using lp;

*ALGUNOS REPORTES UTILIZADOS

file Sol0 \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Model_Results\ECO_model_result_01_checking.txt/;
put Sol0;
put 'ON',';ON',';CON',';CON',';X_TOTAL_OUT',';X_TOTAL_OUT ROUND',';X_TOTAL_IN',';X_TOTAL_IN' /;
put sum((i,k,t,n1)\$ (ON_iktn1(i,k,t,n1)),ON.l(i,k,t,n1)), sum((i,k,t,n1),ON.l(i,k,t,n1)),
sum((i,k,t,s,n1)\$ (CON_iktsn1(i,k,t,s,n1)),CON(i,k,t,s,n1)), sum((i,k,t,s,n1),CON(i,k,t,s,n1))
sum((i,j,k,t,s,v)\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t))),X.l(i,j,k,t,s,v)),
sum((i,j,k,t,s,v),round(X.l(j,i,k,s,t,v))),
sum((i,j,k,t,s,v)\$ (X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t))),X.l(j,i,k,s,t,v)),
sum((i,j,k,t,s,v),round(X.l(j,i,k,s,t,v)));

file Sol4 \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Model_Results\ECO_model_result_05_empty_movement.txt/;
put Sol4;
put 'i','j',';k',';t',';s',';v',';Xijtsv',';ESijtsk' /;
loop((i,j,k,t,s,v)\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v)),
if((X.l(i,j,k,t,s,v) > 0),
put i.tl,'; j.tl,'; k.tl,'; t.tl,'; s.tl,'; v.tl,'; round(X.l(i,j,k,t,s,v)),'; ES(i,j,t,s,v)/
);
putclose;

file Sol5 \\Serveruchile\ECO\ECO_Model_Optimizer\Model_Results\ECO_model_result_06_detail_empty_movement.txt/;
put Sol5;
put
'i','k',';t',';v',';WI',';WMIN',';ONOPT',';SP',';DF',';RF',';ON',';X_VESSEL_OUT',';X_VESSEL_IN',';X_OTHER_OUT',';X_OTHER_I
N',';WH',';(DF-DFH)',';DOWN',';UP'/;
loop((i,k,t,v)\$ (INOUT_iktv(i,k,t,v))
,put i.tl,'; k.tl,'; t.tl,'; v.tl,'; WI.l(i,k,t),'; WMIN.l(i,k,t),'; ONOPT.l(i,k,t),';
sum(n,SP(i,k,t,n)),'; DF(i,k,t),'; RF(i,k,t),'; sum(n,ON.l(i,k,t,n)),';
sum((j,s)\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t)) and ord(v) > 4),round(X.l(i,j,k,t,s,v))),';
sum((j,s)\$ (X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t)) and ord(v) > 4),round(X.l(j,i,k,s,t,v))),';
sum((j,s)\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v) and (ord(s) ge ord(t)) and ord(v) le 4),round(X.l(i,j,k,t,s,v))),';
sum((j,s)\$ (X_ijktsv(j,i,k,s,t,v) and (ord(s) le ord(t)) and ord(v) le 4),round(X.l(j,i,k,s,t,v))),';
WH.l(i,k,t),'; (DF(i,k,t)-DFH.l(i,k,t)),';
max((sum((j,s)\$ (ord(s) le ord(t) and X_ijktsv(j,i,k,s,t,v)),round(X.l(j,i,k,s,t,v)))\$ (X_ijktsv(j,i,k,s,t,v)))
-sum((j,s)\$ (ord(s) ge ord(t) and X_ijktsv(i,j,k,t,s,v)),round(X.l(i,j,k,t,s,v)))\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v))),0),';
max((-sum((j,s)\$ (ord(s) le ord(t) and X_ijktsv(j,i,k,s,t,v)),round(X.l(j,i,k,s,t,v)))\$ (X_ijktsv(j,i,k,s,t,v)))
+sum((j,s)\$ (ord(s) ge ord(t) and X_ijktsv(i,j,k,t,s,v)),round(X.l(i,j,k,t,s,v)))\$ (X_ijktsv(i,j,k,t,s,v))),0)/;
putclose;

15.6. Interfase Creada para Módulos de Generación

A continuación se muestran tres vistas de la interfase implementada para la generación y cambio de parámetros.

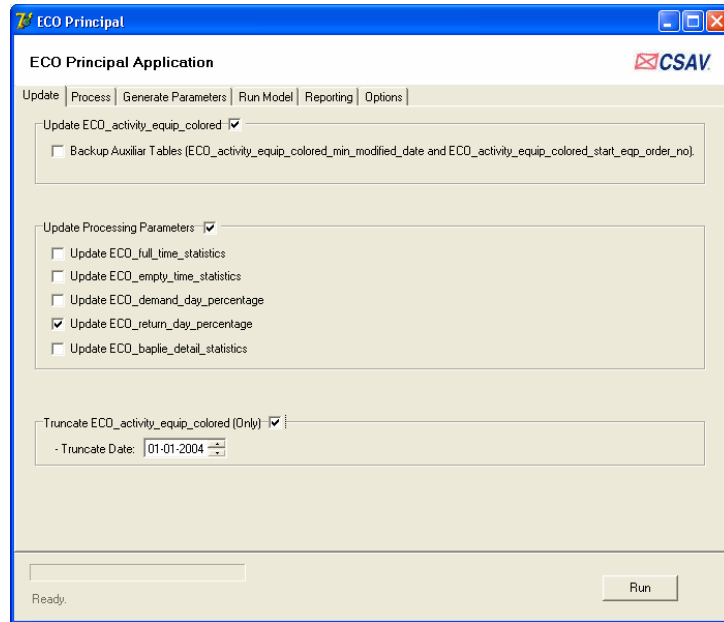


Figura 12: Vista de interfase creada para actualización de estadísticas históricas.

En esta primera imagen se muestra la interfase para ejecutar el cálculo de estadísticas de los datos de la compañía. A pesar que estos son recalculados día a día incorporando la nueva información limpia y ordenada de los nuevos datos ingresados al sistema mediante la réplica SQL, el operador puede necesitar reejecutar para incorporar cambios de último minuto realizados por él. Como se aprecia en la figura se determina información sobre baplies, tiempos de viaje para cada etapa de transporte de vacíos y ciclo completo de demanda de contenedores llenos.

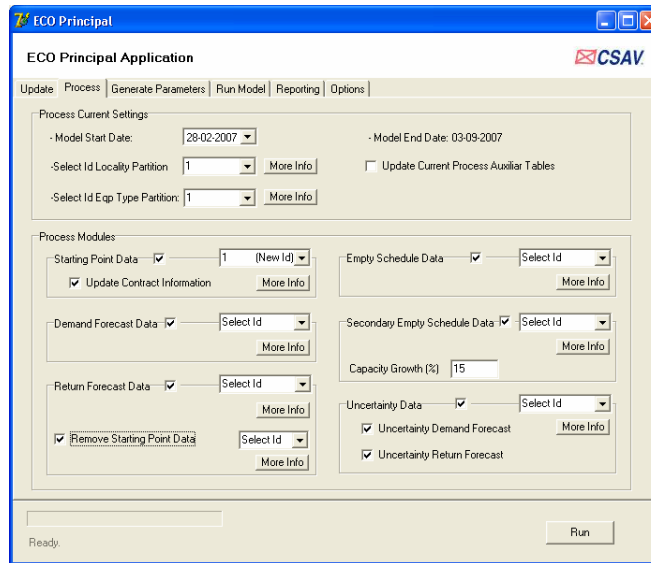


Figura 13: Vista de interfase creada para creación de parámetros.

Una segunda opción que se le entrega al operador es la de recalculer los parámetros del modelo, detallando los módulos que desea sean ejecutados. Así puede incorporar cambios realizados sobre los parámetros insertos en las tablas de datos que soportan la interfase o bien sobre los datos input para ejecución de los módulos.

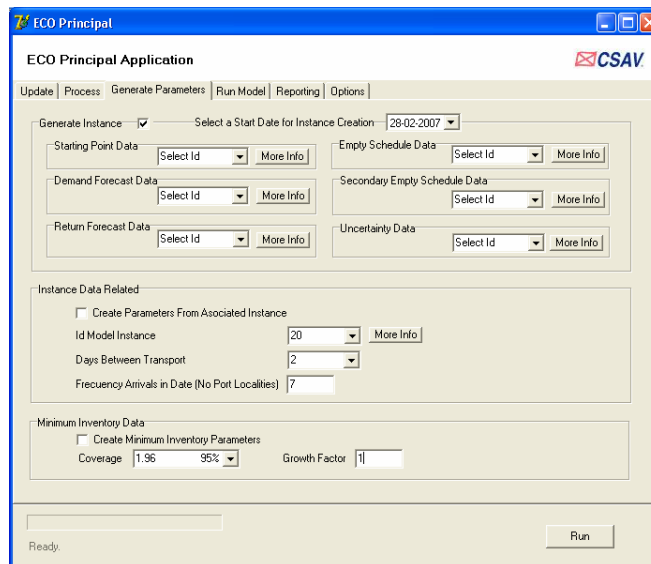


Figura 14: Vista de interfase creada para escritura de parámetros.

En esta tercera imagen de la interfase se muestra la herramienta para enviar los parámetros al modelo. Aquí el usuario puede reconfigurar los parámetros que enviará

usando resultados antiguos de los módulos o incluyendo nuevos. Además también puede modificar variables como por ejemplo el nivel de cobertura que desea utilizar para el cálculo del inventario mínimo.

Otras funciones que no se muestran son las posibilidades de correr el modelo variando restricciones, variar y reejecutar reportes además de variaciones posibles sobre variables binarias a nivel de código.