



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

**DISEÑO DE UNA RED DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN PARA UNA CADENA DE
SUERMERCADOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JAIME ANDRÉS RAMOS RAMOS

**PROFESOR GUÍA:
PATRICIO CONCA KEHL**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RICARDO SAN MARTÍN ZURITA
SERGIO ROJAS NAZAL**

**SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2013**

“Diseño de una Red de Centros de Distribución para una cadena de Supermercados”

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente estudio se realizó en Walmart Chile S.A., en la división de logística. Walmart Chile S.A. espera tener crecimientos de venta bastante explosivos para los próximos 5 años, esto en términos logísticos representa un 115% más de cajas transferidas desde Centros de Distribución de la empresa a los locales en el mismo periodo.

Estos crecimientos no son sustentables con la red logística actual, lo que obliga a hacer un cambio o expansión de ésta. Este estudio se enfocará en identificar cual es la red óptima que minimice los costos logísticos de la compañía.

Los costos logísticos se pueden dividir en costos de transporte y costos de almacenamiento. Al abrir nuevas bodegas distribuidas adecuadamente, se pueden generar grandes ahorros en los costos de transporte, sin embargo, también puede generar mayores costos de almacenamiento debido a que se dejan de aprovechar las economías de escala y se requiere un mayor stock de seguridad total para la red.

Este problema se resolvió mediante programación lineal entera mixta, considerando tanto las características particulares de la empresa y del mercado en estudio, lográndose un modelo representativo de la logística de la compañía. Con este modelo, se pudo responder las cuestiones básicas del alcance de este trabajo:

- Cantidad óptima de Centros de Distribución
- Ubicación geográfica óptima de los Centros de Distribución
- Capacidad necesaria de cada uno de los Centros de Distribución, y
- Orden cronológico para la apertura y cierre de los Centros de Distribución.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- El Año 2015: se abren dos Centros de Distribución no perecible y un Centro de Distribución mixto, con una parte de mercadería no perecible y otra perecible y se cierran dos de los centros actuales de la empresa. Todos estos cambios se proponen con una prioridad determinada.
- El Año 2016: no hay ningún cambio.
- El Año 2017: Se abre un Centro de Distribución no perecible y se cierra uno no perecible en otra ubicación.

Estos cambios en la red de distribución generarían ahorros de 14,7 millones de dólares en el año 2017, lo que representa alrededor de un 7% de los costos logísticos totales respecto de una ampliación de la red actual.

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN	4
	2.1 Crecimiento de Transferencias o Cajas Transferidas.	4
	2.2 Red Logística Actual	6
	2.3 Crecimientos por Región	7
	2.4 Costos Logísticos.....	8
	2.4.1 Costos de Almacenamiento	8
	2.4.2 Costos de Transporte.....	9
	2.5 Trabajo a Realizar	10
3.	OBJETIVOS	11
	3.1 Objetivo General.....	11
	3.2 Objetivos Específicos	11
4.	METODOLOGÍA	11
	4.1 Generar un modelo de “Warehousing Location”	11
5.	ALCANCES.....	13
	5.1 Ubicación de los Centros de Distribución.....	13
	5.2 Ekono.....	13
	5.3 Locales en zonas extremas.	14
6.	MARCO CONCEPTUAL	15
	6.1 P-Mediana.....	15
	6.2 Modelo Multiproducto.	16
	6.3 Problema combinado de Localización y Rutas (LRP)	17
7.	CARACTERÍSTICAS DEL MODELO A REALIZAR	20
	7.1 Productos.....	20
	7.2 Problema de Localización y Ruteo de vehículos (LRP)	22
	7.3 Variación Temporal de Costos y Variables	23
	7.4 Ubicación de Proveedores.....	24
	7.5 Costos de Almacenamiento marginalmente decrecientes	25
8.	ESTIMACIÓN DE COSTOS	26
	8.1 Estimación de Costos de Almacenamiento o Costos de Bodegaje.	26
	8.2 Estimación de Costos de Transporte.	34

9.	MODELO A UTILIZAR	37
10.	VALIDACIÓN DEL MODELO	41
11.	RESULTADOS	42
	11.1. Número de Centros de Distribución a instalar.....	42
	11.2 Ubicación de los Centros de Distribución a instalar.	44
	11.3 Tamaño de los Centros de Distribución a instalar.	46
	11.4 Estrategia temporal para estructurar la red de los Centros de Distribución.....	49
12.	SENSIBILIDAD DE RESULTADOS.....	51
	12.1 Criterios de selección de locales a abrir y no abrir.....	51
	12.1.1 Ingresos de la población y PIB per cápita.	51
	12.1.2 Años en que se realizan las aperturas.	52
	12.2 Resultados del Análisis de Sensibilidad.	53
	12.2.1 Resultados Escenario 75% de aperturas de tiendas.	53
	12.2.2 Resultados Escenario 50% de aperturas de tiendas.	54
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	59
15.	ANEXOS	60

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura N°1 Tipos de Despacho.....	2
Figura N°2 Camiones que no Consolidan Carga	5
Figura N°3 Camiones que consolidan Carga	5
Tabla N°1 Ubicación y propiedad de los CDs de la empresa.....	6
Gráfico N°1 Volúmenes de Despacho (cajas por día) por CD*.	7
Tabla N°2 Costos de Almacenamiento	9
Tabla N°3 Costos de Transporte	9
Tabla N°4 Cambios en la Red Logística.....	12
Gráfico N° 2 Ventas v/s Tipo de Productos.	21
Tabla N° 5. Costos de Almacenamiento por caja.....	26
Gráfico N° 3 Productividad por CD.	29
Tabla N° 6 Costos de Almacenamiento dependiendo de la Capacidad del Centro.	30
Gráfico N° 4 Costos Marginales de Almacenamiento.....	30
Gráfico N° 5 Costos Marginales de Almacenamiento cuando n tiende a infinito.....	31
Gráfico N° 6 Costos totales de Almacenamiento v/s Volumen Despachado (Miles de Cajas) con constante de ajuste.....	32
Gráfico N° 7 Costos totales de Almacenamiento v/s Volumen Despachado (Miles de cajas) sin constante de ajuste.....	32
Tabla N° 7 Costos Marginales de Almacenamiento por capacidad con constantes de ajuste	33
Figura N°4 Costos Anulares de transporte.....	34
Tabla N°8 Costos Anulares de Transporte	35
Tabla N°9 Resultados modelo de tarifas de transporte.....	36
Gráfico N°8 Costo Logístico en Millones de CLP diarios v/s el número de Centros de Distribución a instalar de mercadería Seca y GM.	43
Gráfico N°9 Costo Logístico en Millones de CLP diarios v/s el número de Centros de Distribución a instalar de mercadería Fría.....	43
Tabla N°10 de CDs en cada zona del País.	45
Gráfico N°10 Número de cajas despachadas diaria por cada CD “Seco GM”.	46
Gráfico N°11 Número de cajas despachadas diaria por cada CD “Frio”.	47
Gráfico N°12 Número de tiendas abastecidas desde cada CD “Seco- GM”.	47
Gráfico N°13 Número de tiendas abastecidas desde cada CD “Frio”.....	48
Figura N°5 Cierre y apertura de Centros a lo largo de los años.	49
Tabla N°11 Porcentaje de tiendas a “no abrir” por año.	52
Gráfico N°14 Despachos diarios por cada CD “Seco-GM”, Escenario 75% aperturas.	53
Gráfico N°15 Despachos diarios por cada CD “Frio”, Escenario 75% aperturas.	53
Gráfico N°16 Despachos diarios por cada CD “Seco-GM”, Escenario 50% aperturas.	54

Gráfico N°17 Despachos diarios por cada CD “Frio”, Escenario 50% aperturas.	55
Tabla N°11 Cantidad de CD a instalar por zona de País.....	55

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

El siguiente proyecto se ha desarrollado en la industria de retail, en la empresa Walmart S.A., particularmente en la división de Logística.

Walmart es una empresa internacional que se fundó en el año 1962.

La empresa es de origen estadounidense, y tiene filiales a lo largo de todo el mundo con presencia en 27 países, generando ventas anuales por alrededor de 445 mil millones de dólares, caracterizándose por su estrategia de precios bajos.

Walmart Chile S.A. generó en el año 2011 ventas por alrededor de 5.200 millones de dólares, que desde el punto de vista logístico significó transferir alrededor de 420.000 cajas diarias.

A la fecha Walmart Chile cuenta con 323 supermercados a lo largo del país, distribuidos en cuatro formatos

- Hiper Lider
- Lider Express
- Super Bodega Acuenta
- Ekono

La empresa trabaja con 3 grandes familias de productos.

- Producto Seco: Alimentos que no requieren refrigeración
- Producto Frio o perecible: Alimentos que requieren refrigeración.
- Productos de Mercadería General (GM): Productos que no son comestibles.

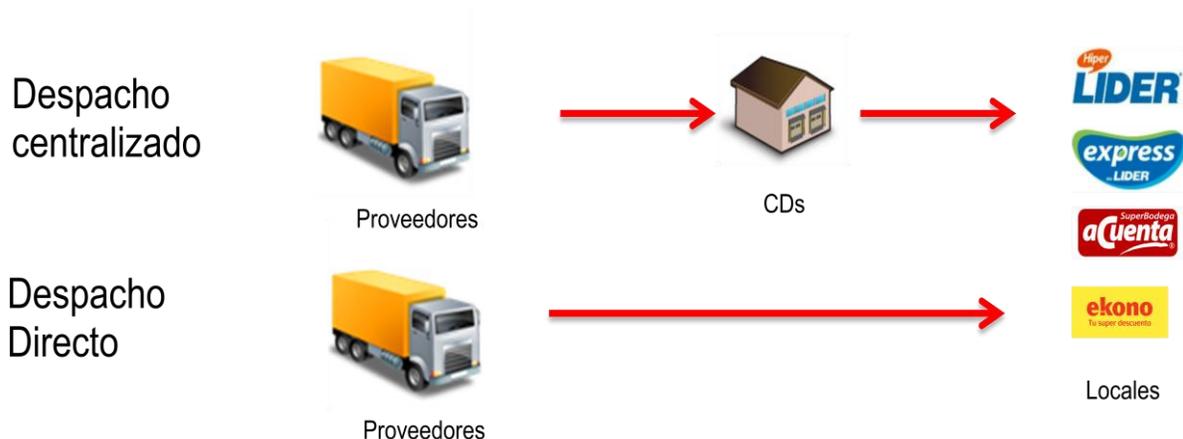
Estos productos son vendidos en los 4 formatos de supermercados anteriormente señalados.

Para que los productos estén disponibles en las tiendas, es necesario tener una red logística bastante sofisticada, de manera que los costos asociados a ésta, permitan mantener su estrategia de precios bajos.

Actualmente se tienen dos formas de despacho:

- Despachos Directos: El proveedor entrega su mercadería directamente al supermercado, donde será vendida al cliente final.
- Despachos Centralizados: El proveedor entrega su mercadería en un Centro de Distribución (CD) de Walmart y éste último, se encarga de distribuirla a los locales donde se venderá al cliente final.

Figura N°1 Tipos de Despacho.



Para los despachos centralizados, Walmart cuenta con una red de 7 centros de distribución a lo largo del país. Uno es exclusivo para las tiendas Ekono, las cuales no se abastecen de ningún otro CD y éste, a la vez, tampoco abastece a los demás formatos. De los 6 CDs restantes, 3 están en Santiago, 1 se encuentra en el norte y hay 2 en el Sur del país.

Walmart Chile espera tener un crecimiento en ventas bastante explosivo en los próximos 5 años, debido a dos razones:

- Las tiendas existentes aumentarán sus ventas.
- Se abrirá un gran número de tiendas en los próximos 5 años.

Sin embargo, a nivel logístico, más que las ventas totales, lo que importa son las cajas transferidas desde el proveedor al CD y desde el CD al local. Por ésta razón, desde ahora en adelante se hablará de cajas transferidas y del crecimiento de las mismas.

Las cajas transferidas aumentarán por las dos razones mencionadas anteriormente, y además se incluirá un tercer factor:

- Mayor cantidad de proveedores centralizados.

Los proveedores centralizados despachan su mercadería a un CD de Walmart para que éste se encargue que los productos lleguen al local. En consecuencia, un mayor porcentaje de centralización implicará un aumento de mercadería que pasará por los CDs de la empresa.

Las tres razones expuestas anteriormente, generarán un aumento de cajas transferidas de 115% para los próximos 5 años (2012-2017).

Este crecimiento no es sustentable con la estructura logística actual, luego es necesario realizar un cambio y/o expansión de la red de Centros de Distribución de la empresa,

con el fin de tener la capacidad necesaria para soportar los flujos que se esperan en el futuro.

Adicionalmente, es importante mencionar que los costos de transporte son una parte fundamental de cualquier cadena logística. En el caso de Walmart Chile, tiene un impacto de cerca del 35% del costo logístico total, por esta razón es fundamental identificar un modelo que no sólo permita diseñar una red logística sustentable, sino que además minimice los costos logísticos, ergo los costos de transporte.

El diseño de la Red de CDs consiste en identificar la cantidad, capacidad y ubicación de los próximos CDs que se necesitan construir o arrendar. Esto es bastante conocido en la logística bajo el nombre de "*Warehousing Location*", que a su vez, es un caso particular de un problema más general conocido como "problema de localización".

La localización de centros de distribución es un problema de complejidad Np-duro. La sigla Np significa que los tiempos de resolución son no polinomiales, es decir, a medida que aumenta la cantidad de decisiones que se debe tomar, los tiempos de resolución aumentan de forma exponencial o incluso más.

Dentro de los problemas Np, existen los del tipo Np-duro, que son los más complejos. Estos problemas no se pueden resolver en tiempos polinomiales o exponenciales y tampoco se puede comprobar su solución en tiempos polinomiales. En consecuencia, requieren de algoritmos y heurísticas complejas o relajaciones y simplificaciones para llegar a una solución [1].

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

2.1 Crecimiento de Transferencias o Cajas Transferidas.

El crecimiento del número de cajas transferidas desde un CD de la empresa a los locales de la misma será alrededor de un 115% para los próximos 5 años.

Esto se explica por tres factores principales:

- **Crecimiento SSS (Same Store Sale):** El crecimiento de ventas que tendrá cada tienda existente será cercano a un 5% anual, dependiendo del tipo de producto y del formato.
Esto depende exclusivamente de la estrategia de la compañía por potenciar más algún formato determinado o alguna categoría específica de productos.
- **Crecimiento en Número de Tiendas:** Hoy Walmart Chile cuenta con 323 tiendas entre todos sus formatos. Este número se espera que crezca en un 52% en los próximos 5 años alcanzando 524 tiendas a finales del año 2017.
Este crecimiento también varía formato a formato, dependiendo del estado de maduración de los mismos.
- **Aumento de Niveles de Centralización:** Walmart al ser una empresa de gran tamaño y con una logística bastante robusta, tiene costos de transporte menores que la mayoría de sus proveedores. Además, al centralizar la mercadería en los CDs de Walmart, se puede consolidar la carga generando una logística más eficiente.

En la figura N° 2 se muestra cómo en la mayoría de los locales la demanda de un proveedor de forma aislada no alcanza para cubrir un camión completo, luego los camiones tendrían que realizar los despachos dejando bastante espacio sin utilizar, o pasar por una gran cantidad de locales para lograr despachar un camión completo.

En la figura N° 3, en cambio, se muestra cómo el hecho de la consolidación de carga hace que los camiones de proveedores se despachen sin dejar holguras, y una vez consolidada la carga de varios proveedores, puedan salir camiones con carga completa de los CDs de la compañía a los locales, sin tener que ir a más de un local por viaje.

Además de lo anterior, es importante mencionar que mediante la centralización resulta más sencillo realizar los despachos a las tiendas y que estas últimas tengan un mejor proceso de recepción, más ordenado y recibiendo un menor número de camiones diarios, ya que estos traen mercadería consolidada de más de un proveedor, generando para la tienda un mejor servicio y además más económico.

La estrategia de la compañía es aumentar la centralización para así disminuir los costos logísticos y tener un mayor control sobre la mercadería y tiempos de respuesta. Sin embargo, también existen proveedores que poseen redes de distribución complejas o centros de distribución regionales que les permiten hacer un despacho más eficiente a ciertos locales de la compañía. Ejemplos de lo anterior son Coca Cola, Agrosuper y PF. Estos proveedores centralizan las ventas de algunas tiendas, sin embargo, cuentan con una logística que en su mayoría permite la entrega directa de forma más eficiente que si es centralizada. Estos casos mantendrán su distribución descentralizada durante el periodo de estudio. Coca Cola por ejemplo, tiene el 100% de sus despachos descentralizados.

Figura N°2 Camiones que no Consolidan Carga

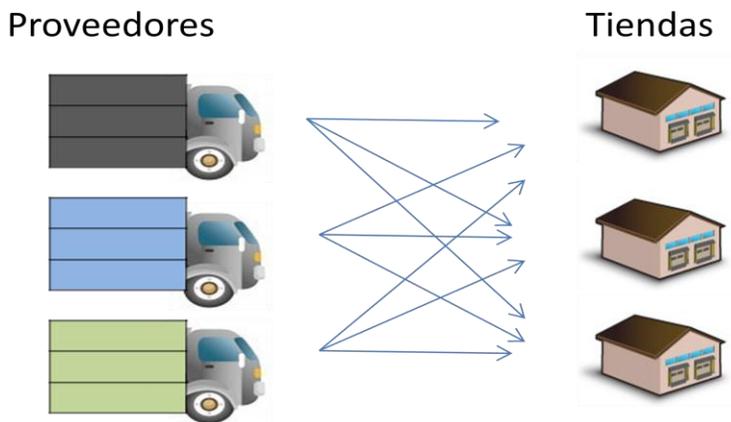
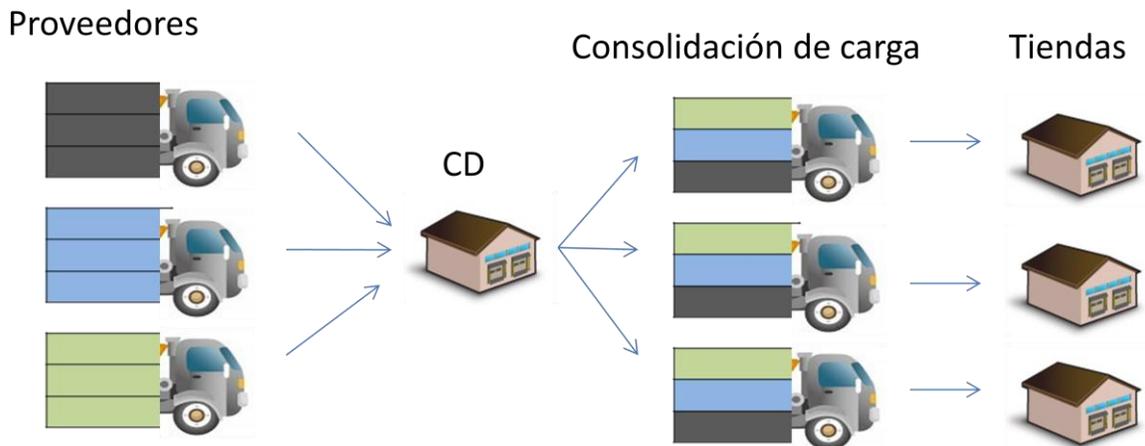


Figura N°3 Camiones que consolidan Carga



Por las razones expuestas se espera que los niveles de centralización suban alrededor de un 20%, en los próximos 5 años.

El crecimiento de cajas presentado anteriormente no es sustentable desde un punto de vista logístico con la estructura de CDs que actualmente tiene la compañía. Es por esto, que es necesario realizar un cambio y/o expansión de los CDs actuales de manera de tener las capacidades necesarias de despacho.

2.2 Red Logística Actual

La compañía cuenta actualmente con 7 centros de distribución a lo largo de Chile para los tres tipos de productos (Frío, Seco, GM), donde su ubicación y propiedad se detallan en la Tabla N°1.

Tabla N°1 Ubicación y propiedad de los CDs de la empresa

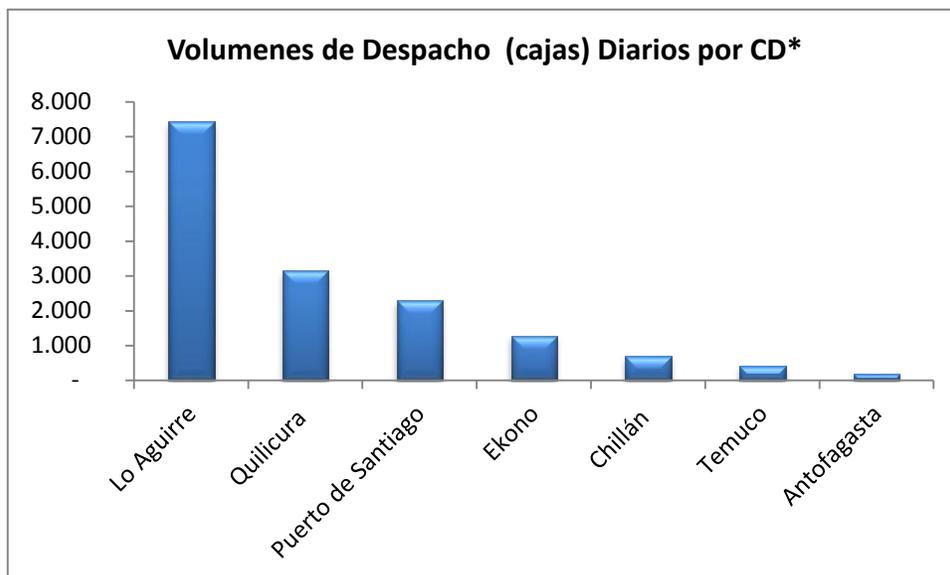
Nombre del Centro	Ubicación	Propiedad
Antofagasta	Antofagasta	Arrendado
Quilicura	Santiago	Propio
Puerto de Santiago	Santiago	Arrendado
Lo Aguirre	Santiago	Propio
Ekono	Santiago	Arrendado
Chillán	Chillán	Arrendado
Temuco	Temuco	Arrendado

De la tabla anterior, es importante destacar que Walmart sólo posee 2 CDs propios y ambos ubicados en Santiago. Todos los CDs regionales son arrendados, lo que le permite a la empresa tener una mayor flexibilidad al momento de querer cambiar la ubicación de los mismos y así, cambiar la red logística sin incurrir en mayores costos. Además, es importante mencionar que actualmente existen sólo dos CDs de Frío, uno para el formato Ekono, y otro para todos los demás formatos. Éste último abastece a todo el país y se encuentra en la ciudad de Santiago.

Chile es un país muy centralizado, donde la mayor concentración de oferta o proveedores y de demanda o tiendas está en la zona centro del país, particularmente en la Región Metropolitana. Esto hace que los centros de distribución que despachan mayores volúmenes estén ubicados en esta zona.

El siguiente gráfico muestra el número de cajas despachadas diariamente de los distintos CDs.

Gráfico N°1 Volúmenes de Despacho (cajas por día) por CD*.



**Las cifras fueron divididas por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.*

En este gráfico se puede apreciar que los tres Centros de Distribución de mayor tamaño y Ekono se encuentran en Santiago, mientras que los tres más pequeños se encuentran en regiones.¹

2.3 Crecimientos por Región

Adicional al gran crecimiento que espera tener la compañía, también existe otro efecto que es interesante analizar, el cual consiste en el cambio en participación que tendrán las distintas zonas del país.

La apertura de nuevas tiendas a lo largo de Chile, implicará que el porcentaje de participación que tiene hoy la zona norte, centro, centro sur y sur del país cambie parcialmente en el horizonte del estudio.

¹ Ver mapa de ubicación de Centros de Distribución por flujo en Anexos.

Dividiendo Chile en 4 zonas, A-B-C-D, los cambios en participación serán los siguientes².

Zona	Cambio de Participación
A	56%
B	16%
C	-3%
D	-10%

Se puede observar que existen zonas que se espera que crezcan mucho respecto de la situación actual, mientras que otras disminuirán su participación en los próximos años.

Lo anterior tiene repercusiones logísticas bastante importantes, ya que no es equivalente despachar al norte, al centro o al sur. La distancia promedio recorrida por los camiones será distinta, dependiendo a la zona a la que despacha, por ende, los cambios en participación podrían significar alteraciones importantes respecto de la estructura óptima de CDs de hoy frente a una estructura óptima en el futuro.

2.4 Costos Logísticos

Los Costos Logísticos de la empresa se dividen en Costos de Almacenamiento y Costos de Transporte.

2.4.1 Costos de Almacenamiento

Actualmente los Costos de Almacenamiento son todos los costos asociados a los Centros de Distribución. Estos incluyen, los salarios del personal, la luz, el agua, el leasing (o arriendo) de la inversión que representa cada centro, el costo de oportunidad del inventario, entre otros.

En Chile, este costo es alrededor de un 66% del costo logístico total y un 3,14% del costo de venta. Estos se reducen a medida que aumentan los niveles de productividad de los trabajadores, disminuyan los días de inventario, se incurra en nueva tecnología que permita aumentar los niveles de productividad, se aprovechen economías de escala y sinergias de los centros con mayor tamaño, entre otras cosas.

En relación a otros países, éste costo es bastante alto como se puede apreciar en la Tabla N°2:

² Las Zonas A, B, C y D no representan un orden geográfico y se han identificado por esta manera debido a la confidencialidad de la información.

Tabla N°2 Costos de Almacenamiento

	Chile	X1	X2	X3
C. Almacenamiento / Costo de venta	3,14%	2,02%	1,22%	1,36%
C. Almacenamiento / C. Logístico	66,38%	64,95%	40,80%	45,33%

La principal razón para esta alta incidencia del costo de almacenamiento en Chile, se debe principalmente a los altos días de inventario, producto del bajo porcentaje de flujo continuo o Cross Dock en relación a los otros países. Chile tiene un 24% de flujo continuo mientras que en X2 y X3, tienen un 92% y un 89,5% (datos 2011) respectivamente, esto hace que los días de inventario de Chile sean mucho mayores y en consecuencia, se incurre en un mayor gasto financiero de capital ocioso y se necesita una mayor cantidad de metros cuadrados de Centro de Distribución para almacenar los mismos niveles de venta, aumentando así los Costos de Almacenamiento.

2.4.2 Costos de Transporte

En el año 2011, Walmart Chile gastó en promedio alrededor de 5 Millones de dólares mensuales en fletes, alcanzando en Diciembre los 5,3 Millones de dólares. Esto representa alrededor de un 34% de los costos logísticos totales y un 1,59% del costo de venta. El costo de transporte respecto al costo de venta, es bastante similar a otros países, como se puede observar en la Tabla N°3.

Tabla N°3 Costos de Transporte

	Chile	X1	X2	X3
C. Transporte / Costo de venta	1,59%	1,09%	1,77%	1,64%
C. Transporte / C. Logístico	33,62%	35,05%	59,20%	54,67%

Ambos ratios se espera que suban debido a una potencial alza en el precio del petróleo. De acuerdo a pronósticos de la compañía, se espera que en los próximos 5 años exista un alza importante en el costo del combustible. Esta es una de las principales variables que determina el costo de flete, en consecuencia las tarifas de transporte también aumentarían proporcionalmente.

2.5 Trabajo a Realizar

En coherencia con lo expuesto anteriormente, la empresa debe realizar un cambio y/o expansión de sus Centros de Distribución de manera que la red logística sea sustentable y capaz de transferir la demanda de cajas requerida en los años futuros.

Además de lo anterior, dicha red tiene que minimizar los costos logísticos de la compañía. Esto es, diseñar una red que minimice la suma tanto de costos de transporte, como costos de almacenamiento.

Esta minimización no es trivial, ya que al abrir una mayor cantidad de Centros de Distribución, ubicándolos de forma óptima, los costos de transporte disminuirán, sin embargo, se dejan de aprovechar las economías de escala, lo que hace que los costos de almacenamiento aumenten. En consecuencia, se debe encontrar un equilibrio sobre la cantidad de CDs, que permita minimizar los costos totales.

Para lograr este equilibrio, se desarrollará un modelo de “Warehousing location” que permitirá hacer dicha optimización de forma eficiente y entregando los resultados requeridos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Diseñar una red logística que sea sustentable con los crecimientos de la compañía y que minimice los costos logísticos.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar la cantidad de Centros de Distribución óptima que tendrá la red logística para cada uno de los 5 años.
- Identificar la ubicación óptima de los Centros de Distribución para los próximos 5 años.
- Identificar la capacidad de cada uno de los Centros de Distribución para los próximos 5 años.

4. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos propuestos, el trabajo se desarrollará como sigue:

4.1 Generar un modelo de “Warehousing Location”

El modelo que se propondrá permitirá minimizar los costos logísticos que tendrá la compañía en el futuro, identificando las capacidades de flujo que deberá tener cada uno de los centros de distribución a instalar, para que posteriormente se pueda determinar el tamaño y diseño de cada CD.

Para realizar lo anterior se conocerá la demanda futura de cada local existente y además se contará con las aperturas de locales por comuna para cada formato. Con la ubicación de los nuevos locales y sabiendo el tipo de tienda, es decir, los metros cuadrados que tendrá y a qué formato pertenece, se puede hacer una estimación de las ventas que tendrá cada local que se abrirá en los años futuros. Esto permitirá determinar dónde estará la demanda en los próximos años, incorporándola en el modelo para así identificar la ubicación óptima de los centros.

Además, es importante mencionar que los CDs propios de la compañía se considerarán un dato para efectos del modelo, esto es, sólo se podrá modificar la ubicación o eliminar los centros arrendados de Walmart³. En forma adicional, existe una serie de iniciativas en curso que se resumen en la Tabla N° 4 y que serán incorporadas a las nuevas medidas que se propondrán en este estudio. Esta información será entregada de forma parcial debido a confidencialidad de la misma.

³ Para detalles sobre propiedad de los CD véase 2.2 Red Logística Actual, Tabla N°1 pág. 8.

Tabla N°4 Cambios en la Red Logística.

Fecha	CD	Cambio	Descripción
2012	Quilicura	Expansión	Comienzo de expansión de Quilicura Frio de 25.140m ² a 42.523m ² . Finalizará el 2014
2012	Quilicura	Cambio	Disminuye el área de Quilicura seco en 17.383 m ²
2015	X ₁	Expansión	Ampliación en CD X ₁
2015	X ₂	Cierre	Se cierra la Bodega X ₂ y se traspasa la mercadería a CD X ₁ y X ₃
2015	X ₃	Nuevo	Se hará un nuevo CD

5. ALCANCES

5.1 Ubicación de los Centros de Distribución.

Dada la gran cantidad de apertura de tiendas que se espera tener en los próximos años, la demanda de éstas será fundamental para identificar la ubicación óptima de los CDs. Sin embargo, considerando que la ubicación de dichas tiendas no se posee con una precisión absoluta en este momento⁴, sólo tiene sentido identificar la ciudad y región dónde estará ubicado el(los) centro(s) de distribución, dejando para estudios posteriores la ubicación exacta de cada uno de ellos.

5.2 Ekono.

El formato de tiendas Ekono sólo tiene presencia en la zona centro del país con locales en las regiones V, RM y VI. En la Región Metropolitana se concentra el 90% de las ventas.

Actualmente las ventas de Ekono representan un 4% de las ventas totales de Walmart y un 2,8% del costo de transporte total de la empresa.

Ekono es un formato de tiendas muy pequeñas que pretende atender a un segmento de la población distinto de los demás formatos. Por esta razón, cuenta con un CD único para tiendas Ekono, que a su vez no atiende a otros formatos.

Por lo expuesto, la solución al problema de Ekono es trivial, ya que concentra el 90% de su venta en la Región Metropolitana y el resto en las regiones adyacentes a ésta, además se abastece sólo de CD Ekono, luego la solución es que este centro esté en la Región Metropolitana. Dado este planteamiento y considerando la complejidad adicional que es incluir Ekono dentro del modelo y la poca participación que tiene dentro de la compañía, se decidió que Ekono quedará fuera de los alcances del estudio.

⁴ Para criterio de ubicación de nuevas aperturas, véase 4.1 Generar un Modelo de “Warehousing location” pág. 13.

5.3 Locales en zonas extremas.

La compañía actualmente cuenta con algunas tiendas en la XII región del país, particularmente en la ciudad de Punta Arenas.

A pesar que la compañía tenga CDs en el sur de Chile, estas tiendas son abastecidas exclusivamente desde Santiago, ya que no existe oferta de transportistas dispuestos a ir desde regiones a esta ciudad. Esto se explica debido a la inexistencia de contratos de retorno para transportistas desde Punta Arenas a regiones. Sin embargo, en Punta Arenas existe una serie de empresas que realizan despachos a Santiago, lo que permite que los retornos de los camiones a Santiago se realicen con mercadería

Debido a lo anterior estos locales se seguirán abasteciendo desde Santiago, independiente de la estructura logística que tenga la compañía, y considerando la poca relevancia que tienen estos locales, no han sido considerados en el alcance de este estudio. Esta situación no ocurre para otras regiones del país.

6. MARCO CONCEPTUAL

Modelos de Localización de Centros de Distribución.

El problema de Localización de Centros de Distribución (*“Warehousing Location”*) es uno de los más complejos y estudiados en la logística, teniendo un nivel de complejidad NP-duro [1], requiriendo de relajaciones o heurísticas para su desarrollo.

Este problema tiene una serie de variantes dependiendo del nivel de complejidad, detalle y flexibilidad que se quiere obtener. A continuación se presentarán algunas formas de tratar el mismo.

6.1 P-Mediana

(Hamiki 1964, 1965)

Este modelo tiene como objetivo determinar la ubicación de P centros de distribución o estaciones de servicio, dada una demanda de N locales finitos conocidos. Esto se puede escribir como:

$$\text{Min } F(\mathbf{x}) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} \quad (0)$$

S.A. :

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3)$$

$$y_{ij}, x_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

Donde:

$Y_{ij} = 1$ si estación de servicio j satisface demanda de local i .

$X_j = 1$ si se localiza la estación de servicio en ubicación j .

$I =$ Conjunto de nodos de Demanda.

$J =$ Conjunto de estaciones de servicio candidatas.

$d_{ij} =$ costo de transporte entre nodo j e i . (Este costo puede ser distancia o tiempo o una combinación de ambos)

$p =$ número de estaciones de servicio a instalar.

Este Modelo ha sido muy estudiado y se le han agregado una serie de variantes. Una de ellas es incorporar variables estocásticas en vez de determinísticas. Esto se puede hacer tanto a nivel de demanda (demanda estocástica) como en el costo de transporte, lo que tiene sentido cuando la variable más importante que determina el costo d_{ij} es el tiempo que demorará el traslado de un nodo a otro. El tiempo de transporte puede variar dependiendo de las condiciones de tráfico y otras variables impredecibles. Para mayor detalle respecto a esto se puede observar [5].

6.2 Modelo Multiproducto.

(Warszawski and Peer, 1973)

El modelo presentado anteriormente (P-Mediana) es un modelo bastante simple, el cual se ha usado como base a una serie de otros modelos. El modelo Multiproducto, como bien dice su nombre, permite discriminar entre distintos productos que se quieran tener en distintos Centros de Distribución o transportar en camiones distintos. Además de lo anterior, el modelo p-mediana sólo tiene clientes y estaciones de servicio, las cuales no tienen una capacidad máxima. El modelo Multiproducto incorpora una capacidad máxima a Centros de Distribución intermedios, y adicionalmente se agrega un tercer agente, la planta productora. Finalmente este modelo se puede observar a continuación.

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} h_{ip} c_{ip} y_{ijp} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} c_{jkp} w_{jkp} + \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (5)$$

S.a. :

$$\sum_{j \in J} x_j = W \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ijp} = 1 \quad \forall i \in I, p \in P \quad (7)$$

$$y_{ijp} \leq x_j \quad \forall i \in I, j \in J, p \in P \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} h_{ip} y_{ijp} \leq V_j \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} h_{ip} y_{ijp} = \sum_{k \in K} w_{ikp} \quad \forall j \in J, p \in P \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} w_{ikp} \leq D_k \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$y_{ijp}, x_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J, p \in P \quad (12)$$

$$w_{ikp} \geq 0 \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (13)$$

Donde:

$Y_{ijp} = 1$ si CD j satisface demanda de producto p de local i .

$X_j = 1$ si se localiza el CD en ubicación j .

$W_{jkp} =$ cantidad de producto p transportada desde planta k a CD j .

$I =$ Conjunto de nodos de Demanda.

$J =$ Conjunto de CDs candidatos.

$K =$ Conjunto de Plantas productivas

$P =$ conjunto de productos

$C_{ijp} =$ Costo de transporte desde CD j a nodo de demanda i para producto p .

$C_{ikp} =$ Costo de transporte desde Planta k a CD j para producto p .

$f_j =$ Costo fijo Instalar CD j .

$h_{ip} =$ Demanda de nodo i de producto p .

$V_j =$ Capacidad de CD j .

$D_k =$ Capacidad Planta k

$W =$ número de CDs por instalar

La función objetivo (5) minimiza 3 términos. El primero consiste en los costos de transporte desde los CDs a los nodos de demanda, el segundo son los costos de transporte desde las plantas productoras a los CDs y el último término, se refiere al costo de instalación de los CDs. Para mayor detalle de este modelo se puede observar [2].

A este modelo también se le han realizado bastantes variantes. En el trabajo de ZUO-JUN MAX SHEN (2005) [6], se resuelve un modelo Multiproducto al cual le agregan la no linealidad de los costos debido a economías de escala, generando una curva cóncava no decreciente de costos respecto de los volúmenes. Al realizar esto, este problema deja de ser un problema de programación lineal y se requiere de otro método para resolverlo.

6.3 Problema combinado de Localización y Rutas (LRP)

(Ward and Wong, 1987)

El problema de localización y rutas o "Location Routing Problem" (LRP) también es un problema que ha sido bastante estudiado, ya que permite no sólo resolver la localización de los Centros de Distribución, sino que adicionalmente genera rutas entre los locales permitiendo visitar más de un local por despacho, generando rutas más eficientes.

Ambos problemas son bastante complejos siendo el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP) un problema de carácter operacional o táctico, mientras que la decisión de localización responde más a un problema estratégico.

En general, la literatura separa dichos problemas por varias razones. En primer lugar, por la problemática que se espera resolver. Dando respuestas a las decisiones estratégicas (de localización) y luego a las decisiones tácticas y operacionales (VRP).

En segundo lugar, por la complejidad que tiene juntar dichos modelos, dada la dificultad de cada uno por separado.

Podemos encontrar una gran cantidad de literatura para cada uno de ellos.

El VRP (problema de ruteo de vehículos) también tiene una serie de variaciones, dentro de las que más se destacan son el VRP con ventanas de tiempo (las cuales pueden ser blandas o estrictas), con uno o múltiples productos, con flota homogénea - heterogénea. Este problema no será tratado en detalle en este trabajo, pero se pueden ver especificaciones del mismo en [7].

A pesar que es sumamente complejo juntar ambos problemas, existen estudios que demuestran que incluir el problema de rutas dentro del problema de localización puede generar ahorros importantes y soluciones distintas a las obtenidas resolviendo los problemas en forma separada. Esto se basa en que la suma de óptimos locales no necesariamente es el óptimo global.

A continuación se mostrará una forma de ver el LRP.

$$\text{Min } Z = \sum_{k \in I} \sum_{a \in A} c_a x_{ak} \quad (14)$$

S.A. :

$$\sum_{k \in I} x_k(\delta^+(s)) = |I| \quad (15)$$

$$\sum_{k \in I} x_k(\delta^-(t)) = |I| \quad (16)$$

$$x_k(\delta^+(v)) = x_k(\delta^-(v)) \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\}, \forall k \in I \quad (17)$$

$$\sum_{j \in J} d_j x_k(\delta^+(j)) \leq \sum_{i \in I} b_i x_{k(s,i)} \quad \forall k \in I \quad (18)$$

$$x_{k(s,i)} = x_{k(i,t)} \quad \forall i, k \in I \quad (19)$$

$$\sum_{k \in I} x_k(\delta^-(j)) = 1 \quad \forall j \in J \quad (20)$$

$$\sum_{k \in I} x_k(A(S)) \leq |S| - \left\lceil \frac{(\sum_{j \in S} d_j)}{b_{max}} \right\rceil \quad \forall S \subseteq J \quad (21)$$

$$x_{k(s,i)} = 0 \quad \forall i \neq k; i, k \in I \quad (22)$$

$$x_{ka} \in \{0, 1\} \quad \forall a \in A, k \in I \quad (23)$$

Donde:

$x_{a,k} = 1$ si arco a se usa en ruta k .

$A =$ Conjunto de Arcos posibles entre nodos (tanto nodos de demanda como de oferta).

$I =$ Conjunto de CDs candidatos.

$J =$ Conjunto de Plantas productivas.

$C_a =$ Costo de transporte del arco a .

$b_i =$ Capacidad de CD i .

$d_j =$ Demanda local j .

Notar que los nodos “s” y “t”, son nodos ficticios que determinan la salida o inicio (s) y termino (t) de la ruta.

La función objetivo (14) minimiza los costos de todos los arcos que se recorren si es que estos efectivamente son recorridos. Las ecuaciones (15) y (16) aseguran la conservación de flujo y que se realizan $|I|$ caminos, lo que se resume en 1 camino ideal por centro de distribución. Notar además que una ruta k , corresponde a un único centro de distribución y a su vez, un centro sólo cuenta con una ruta k (óptima). La ecuación (18) asegura que no se despache de ningún CD que no esté abierto y además verifica que no se sobrepasen las capacidades de las plantas. La ecuación (19) asegura que las rutas comienzan y terminan en la misma planta. Por otro lado (21) asegura que todas las rutas estén conectadas a alguna planta. Esta restricción es muy importante, ya que la cantidad de conjuntos $S \subseteq J$, crece en forma exponencial con la cardinalidad de J , esto hace que la cantidad de restricciones asociadas a esta ecuación sean de orden $O(2^n)$ con $n = |J|$.

Para mayor detalle sobre este modelo y formas de solución revisar [8].

7. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO A REALIZAR

En el capítulo anterior se revisó una serie de modelos de localización. En el caso particular de este estudio, se cuenta con una serie de características que nos permitirán formar una idea de qué modelo utilizar, que variables adicionales agregar y cuáles sacar.

Características principales

7.1 Productos

La compañía posee una infinidad de productos, desde ropa, televisores, refrigeradores a carnes, leche, vegetales y abarrotes. Sin embargo estos pueden ser clasificados en tres grandes familias. Los productos “Frio”, “Seco” y “GM”. Los productos de “Frio” requieren de un almacenamiento bastante particular, necesitando de instalaciones especiales que permitan mantener temperaturas bajas dentro del Centro de Distribución. Esto genera una diferencia importante frente a los otros dos productos, ya que tanto los costos de almacenamiento como la inversión asociada a la construcción de un Centro de Distribución de Frio son mucho más elevados que los costos de un centro para mercadería Seca o GM.

En forma adicional, la mercadería importada por razones lógicas sigue un flujo distinto que la mercadería nacional. Esta es recibida en el puerto y desde ese lugar, debe ser despachada a los distintos Centros de Distribución de la compañía, mientras que la mercadería nacional, la despachan los proveedores a los distintos centros.

Este costo adicional de flete entre el puerto y los Centros de Distribución debe ser considerado dentro del modelo. Actualmente, los únicos puertos que reciben mercadería importada se encuentran en la V región, luego esto genera un desplazamiento natural de la ubicación óptima de los centros en esta dirección, dependiendo de la importancia que tengan estos productos dentro del total de la mercadería despachada. La única forma de incorporar dicho costo es separando los flujos nacionales de los importados.

Dado lo anterior, se realizará un modelo Multiproducto que permita identificar que flujos son Seco, Frio y GM y a su vez los importados de los nacionales.

Los Centros de Distribución podrán tener indistintamente mercadería nacional como importada, sin embargo, al tener los flujos separados se podrá incorporar el costo de transporte adicional en que se incurrirá para la mercadería importada.

Adicionalmente, se podrán diferenciar los centros que permitan mercadería Seca o GM de los centros que permitan mercadería Fría.

Concepto de Long Tail y productos 20/80.

EL concepto de Long Tail, es algo muy estudiado últimamente, especialmente en lo referente a ventas en internet. El modelo de Amazon.com y muchas otras grandes empresas que tienen ventas en internet han usado este modelo para ampliar sus ventas.

Para entender el fenómeno, los productos son clasificados en dos grupos:

Productos Superestrellas o de alta rotación: Son una pequeña variedad de productos que generan gran parte de la venta. Estos son productos que satisfacen las necesidades de la gran mayoría de los consumidores, no son productos premium para un determinado segmento, sino más bien productos clásicos. En el caso de supermercados, estos pueden ser pastas, arroz, leche blanca, pan marraqueta, entre otros. Estos productos generan lo que se llama el cuerpo de las ventas.

Productos de variedad y baja rotación: Son una gran variedad de productos que generan una pequeña proporción de la venta. En general, son productos que rotan poco debido a los clientes específicos que se quiere satisfacer. Estos generan lo que se llama la cola de las ventas o "*Long Tail*", ya que son una gran variedad productos distintos que venden muy poco cada uno. En el caso de supermercados, estos pueden ser la leche de vainilla, el pan con aceitunas, el salame ahumado, entre otros.

Gráficamente, donde el eje "y" representa el volumen de ventas y el eje "x" representa la variedad de productos (SKUs) ordenados de ítems que venden más a ítems que venden menos, las ventas se pueden ver como sigue.

Gráfico N° 2 Ventas v/s Tipo de Productos.



En el gráfico se puede apreciar como el cuerpo o productos superestrellas venden la gran mayoría de las ventas totales teniendo una baja variedad, mientras que el “*Long Tail*”, o los productos de variedad, son muchos y generan una baja proporción de las ventas.

Usualmente el cuerpo de la venta de una tienda física (supermercados) se construye con el 20% de los productos y representa el 80% de las ventas. Esto también se conoce bajo el nombre de 20/80. Por consecuencia, el “*Long Tail*”, se construye con el 80% de los productos y representan el 20% de la venta. Esto se conoce bajo el nombre de 80/20 o “*Long Tail*”.

En los últimos años, este concepto ha sido bastante usado en las grandes empresas de venta por internet, ya que como no tienen una estructura física donde realizar las ventas, son capaces de aumentar en gran medida la variedad o el *Long Tail* de productos sin incurrir en grandes costos. Este es el caso de E-bay y Amazon [9]. A pesar de esto en el retail en tiendas, también se puede aplicar este concepto y es una forma bastante acertada de segmentar productos desde el punto de vista logístico.

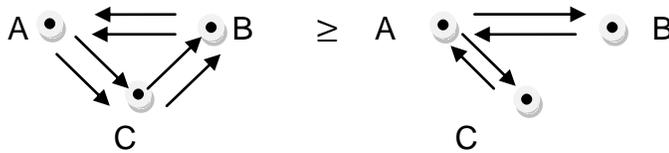
Finalmente, para cada flujo de productos llámese Frio, Seco y GM, existirán 3 subcategorías: productos importados, productos 20/80 y productos 80/20. Teniendo un total de 9 productos.

7.2 Problema de Localización y Ruteo de vehículos (LRP)

A diferencia de otras compañías como lo son Coca-Cola y CCU, Walmart tiene la ventaja de poder consolidar carga de una gran cantidad de proveedores. Esto le permite juntar la demanda de una serie de productos y realizar despachos de camión completo a un local.

Actualmente las demandas de un local cualquiera de un tipo de producto sea Frio, Seco o GM, son suficientes para realizar al menos un despacho de camión completo por semana y llegando a varios camiones diarios, dependiendo del local.

Adicionalmente es fácil notar que:



Sean A, B y C tres puntos cualesquiera y sean $C_{ij} = C_{ji}$ los costos de llegar de i a j,

$$2 * (C_{ac} + C_{cb} + C_{ba}) \geq C_{ab} + C_{ba} + C_{ac} + C_{ca} \quad \forall a, b, c$$

Luego siempre va a ser conveniente realizar despacho de camión completo a un sólo local frente a rutear y realizar varias entregas en distintos locales por viaje.

Actualmente, se realizan ruteos de forma excepcional y son básicamente para suplir emergencias de quiebres de stock o en el caso de algunas tiendas muy particulares, en que su demanda no es suficiente para realizar despachos periódicos de camión completo. Sin embargo, éstos son un porcentaje muy bajo de los despachos diarios realizados.

Por las razones mencionadas no se incluirán ruteos de vehículos en el modelo a realizar.

En caso que la demanda de un local requiera de una cantidad no entera de viajes diarios para algún tipo de producto, se modelará de forma que eventualmente se podrá llegar a algún número entero de viajes a la semana o mes. Esto es, supongamos que se requieren 0,75 viajes diarios, esto equivale a realizar 3 viajes cada 4 días. Luego, esto permite modelar que siempre los despachos se realizarán con camión lleno independiente de la demanda diaria del local.

7.3 Variación Temporal de Costos y Variables

La planificación que se quiere hacer es para los próximos 5 años, generando la estructura para cada uno de los años 2013 hasta el 2017. Esto implica que se requiere incorporar un índice $t \in T$ con $T = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ a cada variable y restricción.

Cierre de Centros de Distribución.

Si bien es cierto, puede ser que desde el punto de vista de los costos sea óptimo abrir y cerrar distintos CDs en cada año, o abrir un centro para un periodo determinado de años menor a 5, esto generaría desorden en los despachos, duplicidad de inventarios y costos de traslado de mercadería difícilmente cuantificable. Además de lo anterior, estos desordenes logísticos repercuten negativamente en los niveles de *Instock* de los locales.

Los niveles de *Instock* son el porcentaje de productos, cuyo stock no está quebrado en la tienda, por lo cual una baja en este indicador puede generar ventas perdidas. Las pérdidas producidas por ventas no realizadas, son mayores a cualquier ahorro posible

desde un punto de vista logístico. Por esta razón no se contemplarán en el modelo aperturas y cierres o cierres y aperturas de un mismo CD.

El año 2017 es el último año del estudio y se asumirá que será representativo del futuro, luego se espera que ese año la red minimice los costos de forma independiente de los años anteriores. Bajo esta premisa, basta con determinar cuál es la red logística óptima para el año 2017 y posteriormente, cuándo abrir los nuevos CDs propuestos o cerrar los antiguos en los años anteriores, de forma de llegar con una estructura óptima para éste último año.

Se espera la apertura de una serie de locales para los años futuros, sin embargo, no está contemplado ningún cierre de los mismos. Esto hace que, sí para un año t es conveniente abrir uno de los Centros de Distribución (que genera la estructura óptima del último año), también será óptimo tenerlo en el año $t + 1$, con $t + 1 \leq 5$.

Esto permite eliminar el índice de temporalidad $t \in T$ con $T = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ de las variables y resolver el modelo de forma iterativa partiendo del año 2017 hasta llegar al año 2013.

7.4 Ubicación de Proveedores

La ubicación de los proveedores es fundamental para la ubicación de Centros de Distribución, sin embargo, debido a que se plantea una solución estratégica de largo plazo y a diferencia de problemas, en que el agente que toma la decisión de la ubicación de la planta productora y el CD es el mismo, la empresa no tiene ningún control sobre las decisiones de instalación de los proveedores. Además, la cantidad de proveedores es muy grande, lo que hace que sea imposible coordinar a todos para una solución en conjunto.

Dado esto, y que además la red de proveedores podría cambiar en el futuro, por cambios en su ubicación o por la rotación constante de proveedores que existe, la empresa no planificará su decisión estratégica de ubicación de CDs tomando en cuenta la ubicación de éstos últimos de forma directa.

Sin embargo, es inevitable considerar que muchos proveedores no tienen la capacidad de realizar despachos a ciertas regiones del país, luego la ubicación de estos será considerada en parte en el modelo (como restricción), pero no se incluirá el costo de transporte desde proveedor o planta productiva a CD.

En el caso particular del modelo en estudio, se sabe que los proveedores que proseen productos 20/80 son proveedores grandes, que poseen la capacidad de despacho a CDs regionales. En el caso de los productos 80/20 o de baja rotación, los proveedores son más pequeños y están ubicados principalmente en la Región Metropolitana. Adicionalmente, los volúmenes a despachar son mucho menores, luego estos proveedores no tienen la capacidad de realizar despachos a CDs regionales, ya que el ratio costo de despacho por caja sería muy elevado, por la baja cantidad de cajas que se necesitan.

Para incorporar esto en el modelo se incluirá una restricción que sólo los productos 20/80 podrán llegar directamente desde el proveedor a CDs regionales. Para el caso de mercadería 80/20, esta tendrá que pasar por un CD en la Región Metropolitana y desde éste se podrá ir a local o a otro CD regional. Esto es solamente una simplificación respecto de los productos que podrán llegar a las bodegas regionales y no una estrategia definida por la compañía.

7.5 Costos de Almacenamiento marginalmente decrecientes

Los costos de inventario o almacenamiento, son todos los costos asociados a un Centro de Distribución. Las principales cuentas asociadas a éstos, son gastos de salarios a personal operacional y soporte, gastos fijos de arriendo o leasing dependiendo de la propiedad del CD, costo de oportunidad del inventario, depreciación, pérdida de mercadería o mermas, gastos en suministros básicos como agua, luz, gas y otros.

Todos los gastos mencionados anteriormente son gastos que al dividirlos por la cantidad de cajas que despacha un CD, pasan a ser costos marginalmente decrecientes, es decir, a medida que el CD es más grande y mueve una cantidad mayor de cajas, el costo de inventario del CD por caja es menor, esto debido a las economías de escala que se pueden aprovechar en el mismo.

Existen modelos que permiten determinar el tamaño óptimo a construir debido a este fenómeno, sin embargo, al poseer costos marginalmente decrecientes, éste deja de ser un problema de programación lineal y se requieren de otras herramientas para su resolución. Para mayor detalle respecto de esto véase el trabajo de *Zuo-Jun Max Shen* (2005) [6].

Otra forma más sencilla de modelar costos marginalmente decrecientes, es incorporando distintas posibles capacidades o volúmenes mínimos a los centros de distribución, generando alzas o bajas discretas a los costos de almacenamiento por caja.

Esto se realizará mediante una estimación asociada a los costos actuales que poseen distintos CDs de la empresa.

8. ESTIMACIÓN DE COSTOS

8.1 Estimación de Costos de Almacenamiento o Costos de Bodegaje.

Los Costos de Almacenamiento en el corto plazo cuentan con dos partes, una son los costos fijos asociado al arriendo de la bodega, seguridad, y otros costos fijos. La segunda parte, son los costos variables, que dependen del volumen que despache mes a mes la bodega en cuestión. Estos son principalmente personal a contratar, costo de oportunidad del inventario, máquinas a arrendar, entre otras cosas.

A pesar de lo anterior, como este estudio se enfoca en decisiones de largo plazo todos los costos anteriormente mencionados pasan a ser costos variables. Esto se modelará parametrizando tanto las cuantías de arriendo, depreciación, seguridad y otros costos fijos de corto plazo como dependientes de la cantidad de cajas despachada.

En el capítulo anterior se comentó la importancia de incorporar costos de almacenamiento marginalmente decrecientes en el modelo. Esto se realizará de forma discreta para que el problema a plantear no pierda linealidad y se pueda resolver mediante programación lineal.

Actualmente, la empresa cuenta con varios Centros de Distribución y todos de distinto tamaño, así se puede hacer un cálculo aproximado de la curva de costos antes mencionada.

A continuación se muestra la tabla de costos por caja de distintos CDs con diferentes flujos de mercadería:

Tabla N° 5. Costos de Almacenamiento por caja.

Centro De Distribución	Cajas diarias procesadas	Costo por caja**
CD 1	7.500	5.392**
CD 2	16.000	3.784**
CD 3	25.000	3.461**
CD 4	250.000	3.090**

***El costo por caja ha sido multiplicado por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Lamentablemente los costos de los distintos CDs de la compañía no son comparables debido a varias razones, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- **Distintos procesos de despacho**

Actualmente en la compañía, existen distintas formas de despachar y almacenar la mercadería que tiene distintos costos porque los índices de productividad, tanto a nivel de cajas despachadas por hora hombre como a nivel de cajas despachadas por metro cuadrado, son sumamente distintos.

Los diferentes procesos de despacho son:

Procesos Staple Stock: Estos son los despachos más comunes y representan alrededor de un 64% de los envíos (año 2012). La mercadería en este proceso es recibida en el CD, luego pasa a estar en inventario como reserva para que después sea recolectada caja a caja para formar nuevos pallets del mix de mercadería que desea el local (proceso de piqueo). Finalmente, este nuevo pallet es despachado. Usualmente este proceso se utiliza en mercadería de mediana rotación y con proveedores que posean malos índices de cumplimiento de entregas en el CD.

Procesos Carrusel y Cross Dock: Estos son los principales procesos de flujo continuo que tiene la compañía y es mercadería que está menos de 24 horas en un CD. Estos procesos representan alrededor de un 34% de los despachos (año 2012) y se caracterizan por no tener un proceso de inventario, es decir, al momento de recibir la mercadería, ésta pasa al proceso de piqueo instantáneamente (Carrusel) o simplemente las recepciones están listas para ser despachadas (Cross Dock). En ambos casos la mercadería no es almacenada en el Centro de Distribución reduciendo fuertemente los costos de bodegaje o almacenamiento.

Para poder realizar estos procesos es necesario que los índices de cumplimiento de los proveedores respecto de las entregas en el CD, sean muy altos, de modo que se puedan programar de forma eficiente los despachos a local y las entregas de los proveedores y que no se produzcan quiebres de stock en la tienda, ni demoras adicionales en los procesos de carga del camión.

Procesos Break Pack: Estos son todos aquellos procesos en los que es necesario abrir o “romper” las cajas y realizar despachos sumamente personalizados en unidades. Esto se realiza para productos muy específicos de alto valor y muy baja rotación o de alta merma, generando alrededor de un 2% de los despachos. También se utiliza este proceso para evitar robos, aplicándolo en cámaras especiales. Otro ejemplo, es en el negocio E-commers, ya que los clientes no son tiendas, sino consumidores finales, que demandan unidades de productos y no cajas de las mismas.

Este proceso tiene muy baja productividad, por lo que resulta sumamente costoso.

Uno de los procesos break pack más utilizados es Put To Light (PTL) que mejora la productividad pero requiere de tecnología y maquinaria muy costosa y utiliza bastante espacio. Sin embargo reduce fuertemente las mermas y por eso se utiliza para productos especiales. Ejemplo de mercadería en PTL son algunas marcas de Whisky, vinos y otros licores, perfumes, colonias, algunos champús y bálsamos, cremas y maquillaje, productos muy específicos y gourmet como mostazas importadas, nutella, surtidos de frutos secos, entre otras cosas.

No en todas las bodegas de la compañía existen todos los procesos señalados anteriormente, En particular, los procesos Break Pack sólo se producen en Santiago, aumentando significativamente el costo promedio de almacenamiento de estas bodegas. Adicionalmente, no todas las bodegas cuentan con los mismos porcentajes de mercadería en flujo continuo y mercadería en Staple Stock, esto hace que sea

necesario identificar cuál es el costo de cada proceso involucrado acorde a cada bodega para poder identificar las economías de escala existentes en cada uno.

- **Distintos Tipos de Mercadería.**

Es sumamente importante señalar que no todas las bodegas de la compañía poseen la misma mercadería. Actualmente las bodegas que no están ubicadas en la Región Metropolitana (Bodegas Regionales) despachan alrededor del 50% de la demanda de los locales a los que llegan, el resto es abastecido de Santiago. Lo anterior, principalmente porque muchos proveedores no tienen la capacidad de llegar a dichas bodegas, además de la capacidad limitada de las mismas.

Las bodegas regionales tienen principalmente productos de alta rotación, esto es, productos con pocos días de inventario. La mercadería de baja rotación está ubicada exclusivamente en Santiago, luego esto hace que aumenten los días de inventario promedio de estos centros respecto de si no estuviera dicha mercadería.

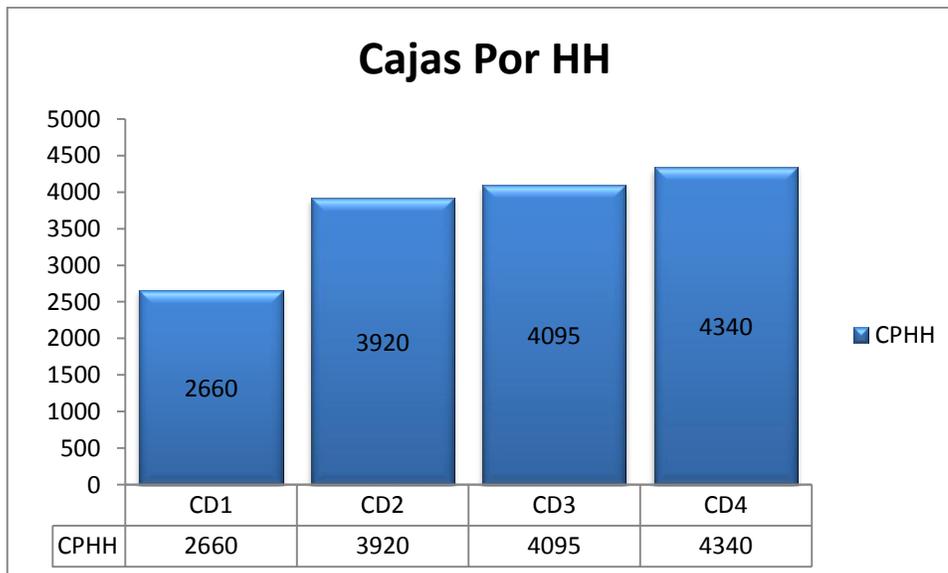
Es importante mencionar que a pesar del efecto anterior, las bodegas regionales poseen mayores días de inventario que las bodegas en Santiago, debido a la menor disponibilidad de los proveedores de llevar mercadería a lugares más lejanos, y a los altos volúmenes de mercadería que mueven los CDs en la Región Metropolitana, aprovechando las economías de escala para la reducción de los mismos.

Lo anterior nos indica que la rotación de mercadería, uno de los principales factores que determinan los costos de almacenamiento, varía dependiendo de la ubicación del CD y del tipo de mercadería a almacenar.

Como consecuencia, el gasto en salarios y personal para las bodegas ubicadas en la región Metropolitana es mayor respecto al de bodegas regionales, proporcional al flujo que mueve cada CD.

A continuación, se puede observar un cuadro de productividades de distintas bodegas; estas diferencias se producen por los efectos mencionados.

Gráfico N° 3 Productividad por CD.



***Las Productividades han sido multiplicadas por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Finalmente, evaluando los costos de bodegaje, que considera los dos factores mencionados (distintos procesos y distinta mercadería), se logró obtener una serie de pares ordenados (capacidad, costo por caja) para un CD con las características que la empresa espera operar en el futuro, es decir, con el tipo de mercadería y los procesos con lo que deberán operar los nuevos CDs. Esto se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla N° 6 Costos de Almacenamiento dependiendo de la Capacidad del Centro.

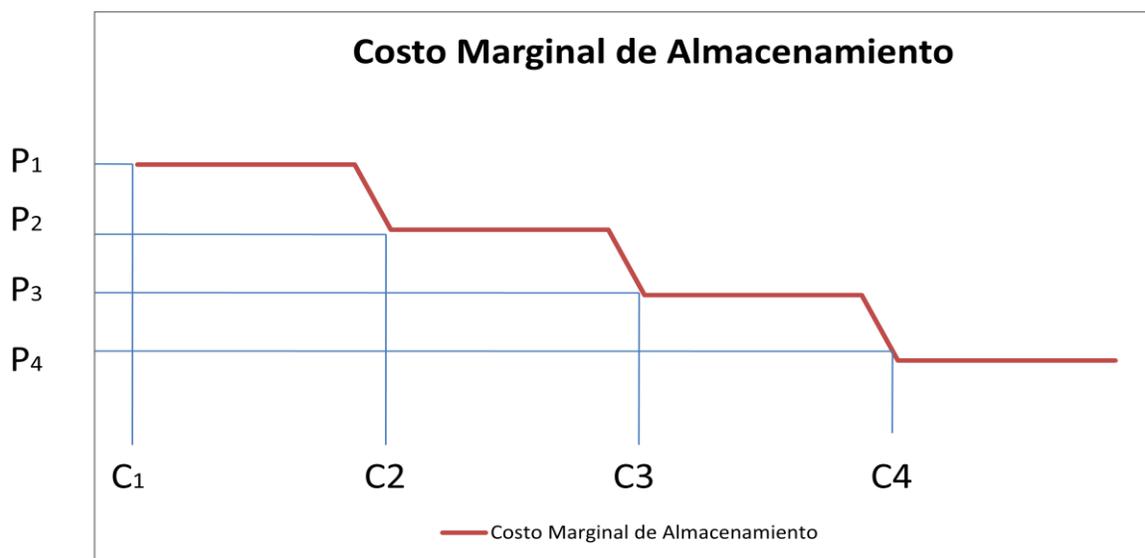
CD	Capacidad (cajas despachadas por día)	Costo de Almacenamiento por caja
CD1	25.000	6.045**
CD2	40.000	5.235**
CD3	60.000	4.605**
CD4	80.000	4.110**
CD5	120.000	3.705**
CD6	160.000	3.330**
CD7	220.000	3.015**
CD8	700.000	2.805**

**El costo por caja ha sido multiplicado por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.

Dado los costos mencionados anteriormente, en el modelo se considerarán 8 puntos de inflexión con 8 capacidades posibles más un mínimo de cajas requeridas para la instalación de un CD.

Un CD sólo se puede abrir si despacha más de X cajas. Si abre, se elegirá su capacidad entre C_1, C_2, \dots, C_8 . Si se elige una capacidad, digamos C_3 , deberá despachar al menos C_2 y un máximo de C_3 cajas diarias. Asimismo se pueden considerar costos constantes distintos por caja para cada uno de los distintos rangos de capacidades, como se puede ver a continuación en un ejemplo de 4 opciones de capacidad.

Gráfico N° 4 Costos Marginales de Almacenamiento



En el gráfico anterior, se puede observar como los costos marginales de almacenamiento P_i van disminuyendo de forma discreta a medida que el volumen total despachado por el centro supera un nuevo nivel de capacidad C_i .

Además es fácil notar que:

Sea n la cantidad de cortes discretos que se realicen, es decir, la cantidad de capacidades a considerar, el $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n$ será una curva continua de costos marginalmente decrecientes, como se puede ver a continuación.

Gráfico N° 5 Costos Marginales de Almacenamiento cuando n tiende a infinito



Una vez definido esto, debido a que las variaciones de costos son discretas, es necesario agregar una constante de ajuste a los costos, de lo contrario la función costo total tendrá zonas de crecimiento lineal (con distinta pendiente en cada intervalo) y en el límite a los cambios de capacidad, tendrá saltos decrecientes de los costos, lo que no es posible.

Agregando las constantes de ajuste, sólo se apreciarán cambios en la pendiente de la curva, pero esta será siempre positiva.

En los gráficos N° 6 y N° 7, se puede apreciar la curva de costos totales con y sin constantes de ajustes.

Grafico N° 6 Costos totales de Almacenamiento v/s Volumen Despachado (Miles de Cajas) con constante de ajuste.

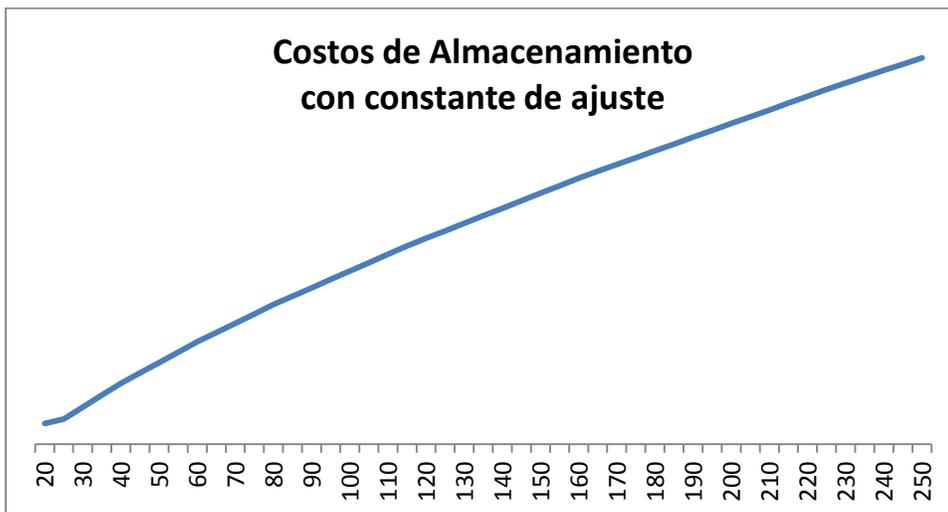
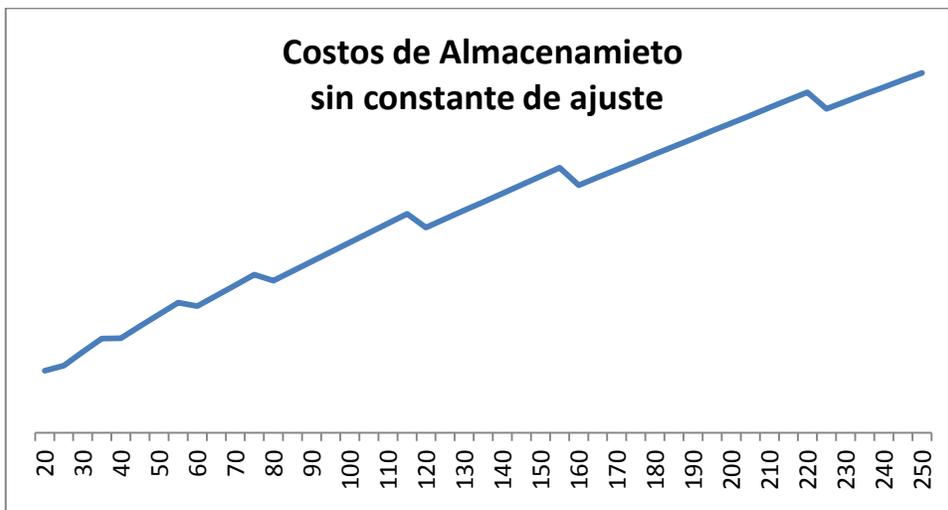


Grafico N° 7 Costos totales de Almacenamiento v/s Volumen Despachado (Miles de cajas) sin constante de ajuste



En el gráfico N° 6 se puede apreciar como la curva de costos de almacenamiento de un CD tendrá crecimientos marginalmente decrecientes respecto del volumen de despacho a pesar de usar rangos discretos que permitirán la resolución del problema mediante programación lineal.

Finalmente, en la tabla N° 7 se pueden apreciar los costos marginales asociados a cada uno de las capacidades y las constantes de ajuste para cada capacidad, debido a cambios discretos en costos marginales.

Tabla N° 7 Costos Marginales de Almacenamiento por capacidad con constantes de ajuste

CD	Capacidad (cajas despachadas por día)	Costo de Almacenamiento por caja	Constante de ajuste
CD1	20.000 – 24.999	6.045**	0**
CD2	25.000 – 39.999	5.235**	20.250.000**
CD3	40.000 – 59.999	4.605**	25.200.000**
CD4	60.000 – 79.999	4.110 **	54.900.000**
CD5	80.000 – 119.999	3.705**	87.300.000**
CD6	120.000 – 159.999	3.330**	130.425.000**
CD7	160.000 – 219.999	3.015**	180.825.000**
CD8	220.000 - 700.000	2.805**	228.075.000**

***El costo por caja ha sido multiplicado por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

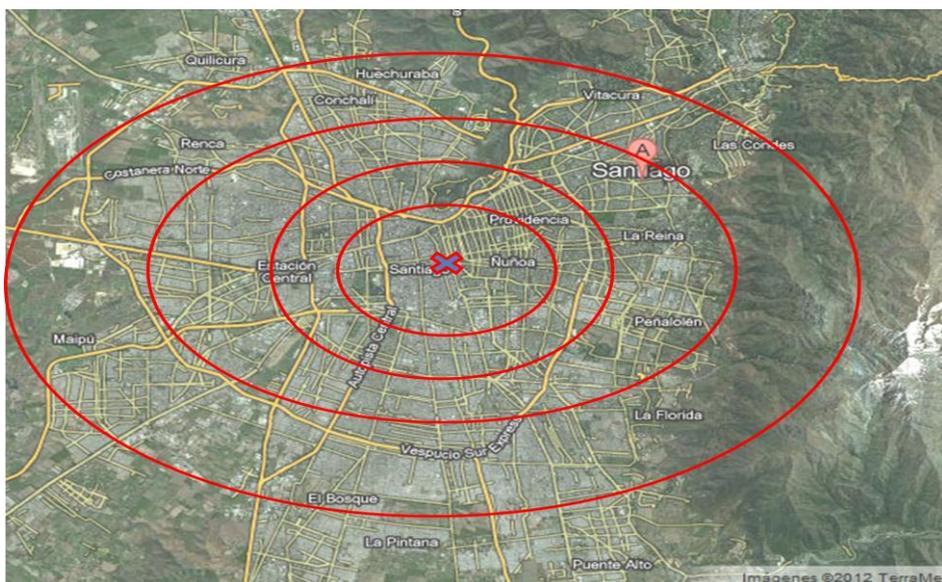
8.2 Estimación de Costos de Transporte.

Los costos de transporte son una parte fundamental de los costos logísticos. En el caso particular de la compañía, representan alrededor de un 34% de los éstos.

Para tener una estimación de los costos de transporte, se realizará en primer lugar una estimación respecto de las tarifas de transporte.

Para la empresa en estudio, las tarifas de transporte entre una ciudad y otra, son independientes del sector de despacho de la ciudad de origen y del sector de recepción de la ciudad de destino, a excepción de despachos dentro de la Región Metropolitana. Para ésta última, se tiene una metodología de anillos, es decir, cada centro ubicado en Santiago posee una red de 6 anillos que tienen radios distintos. Los despachos realizados dentro del perímetro de un anillo más cercano, tienen un menor precio que los realizados a anillos más lejanos.

Figura N°4 Costos Anulares de transporte.



En la figura N°4, se puede observar cómo se crean los distintos anillos permitiendo de esa forma tener una estructura de tarifas de transporte dependiente de la distancia, que se puede observar en la tabla N°8.

Tabla N°8 Costos Anulares de Transporte

Anillos	Tarifa por viaje**
Anillo 1	784.140**
Anillo 2	974.575**
Anillo 3	1.254.680**
Anillo 4	1.814.750**
Anillo 5	2.195.550**
Anillo 6	2.539.145**

***Las Tarifas han sido multiplicadas por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Considerando lo anterior, se puede decir que las tarifas de transporte seguirán un comportamiento lineal a las distancias.

Además, sí se consideran las tarifas promedio que tiene la compañía asociado a la distancia promedio que se recorre para cada región del país, podemos corroborar la dependencia lineal mencionada anteriormente.

Finalmente, dado lo anterior, se puede calcular un costo por kilometro promedio, con lo que será factible tener una estimación, tanto de las tarifas a cualquier localidad como del costo de transporte total en que incurrirá la compañía en el futuro.

De esta forma las tarifas de transporte se pueden representar con la siguiente función:

$$\text{Tarifa} = mx+n$$

Donde, x es la distancia recorrida, m es el costo por kilometro promedio (pendiente de la curva) y n es una constante que representa los costos de ociosidad del camión en cargas en el CD y descargas en el local, los que son independientes de la distancia recorrida.

Considerando las tarifas y distancias promedio por región, se realizó una regresión lineal para estimar las constantes m y n, llegando a la siguiente expresión:

$$\text{Tarifa}_{ij} = 1.617.210^{**} + 25.235^{**} * D_{ij}$$

***Las constantes de costos han sido multiplicadas por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Donde la tarifa entre dos puntos i,j está dada por la distancia entre dichos puntos (en kilómetros) por el costo por kilómetro más una constante de costo de ociosidad del camión para carga y descarga.

En la tabla N°9 se puede observar como los resultados de la regresión lineal y el modelo planteado estiman con bastante exactitud las tarifas de transporte para cada zona del país. Adicionalmente la regresión cuenta con un $R^2 = 0,996$ lo que corrobora que la estimación es estadísticamente fiable

Tabla N°9 Resultados modelo de tarifas de transporte.

Región	Tarifa Transporte prom. Real (CLP) **	Tarifa Transporte prom. modelo (CLP)**
XV	28.888.230**	29.451.870**
I	18.883.760**	18.689.825**
II	18.590.180**	17.539.025**
III	12.698.875**	13.323.030**
IV	8.573.355**	8.336.405**
V	2.770.635**	3.248.770**
RM	1.969.520**	2.114.665**
VI	3.487.155**	3.596.215**
VII	6.240.710**	6.015.940**
VIII	7.832.755**	7.769.790**
IX	8.733.690**	8.583.330**

***Las tarifas han sido multiplicadas por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

9. MODELO A UTILIZAR

Finalmente, considerando las características requeridas para el modelo en el capítulo 7 y con la estimación de costos realizada en el capítulo 8, el modelo construido se puede resumir de la siguiente manera:

Modelo Matemático:

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} \sum_{c \in C} \left(\sum_{p \in P} f_c \text{Total}_{jcp} + \sum_{t \in T} A_c x_{jtc} \right) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \frac{w_{ijp}(G + c_{ij}K)}{Ct_p} + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \frac{z_{jjp}(G + c_{jj}K)}{Ct_p} \quad (23)$$

$$\text{S.a :} \\ \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} x_{jtc} = N_t \quad \forall t \in T \quad (24)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ijt} = 1 \quad \forall i \in I, t \in T \quad (25)$$

$$\sum_{j \in J} w_{ijp} = D_{ip} \quad \forall i \in I, p \in P \quad (26)$$

$$\sum_{i \in I} w_{ijp} \leq \text{Prov. max}_{pj} + \sum_{j \in J} z_{jjp} \quad \forall j \in J, p \in P \quad (27)$$

$$w_{ijp} \leq \sum_{t \in T} M(TP_{tp} y_{ijt}) \quad \forall i \in I, j \in J, p \in P \quad (28)$$

$$y_{ijt} \leq \sum_{c \in C} x_{jtc} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (29)$$

$$z_{jjp} \leq CD \max_{j\hat{j}} \quad \forall j, \hat{j} \text{ con } j \neq \hat{j} \in J, p \in P \quad (30)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} w_{ijp} TP_{tp} + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} z_{jjp} TP_{tp} \leq \sum_{c \in C} v \min_c x_{jtc} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (31)$$

$$\sum_{c \in C} x_{jtc} \leq 1 \quad \forall j \in J, t \in T \quad (32)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} w_{ijp} \geq \sum_{c \in \{c2, c3, \dots, c8\}} Vmin_{c-1} x_{jtc} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (33)$$

$$\sum_{c \in C} x_{jt1c} \geq \sum_{c \in C} x_{jt2c} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (34)$$

$$\sum_{c \in C} x_{jt1c} \geq \sum_{c \in C} x_{jt2c} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (34)$$

$$\sum_{c \in C} Total_{jcp} = \sum_{i \in I} w_{ijp} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (35)$$

$$\sum_{p \in P} Total_{jcp} TP_{tp} \leq M * x_{jtc} \quad \forall j \in J, t \in T, c \in C \quad (36)$$

Donde:

$X_{jtc} = 1$ si se localiza el CD con capacidad c en ubicación j para cluster de productos t .

$Y_{ijt} = 1$ si CD j satisface demanda de cluster de productos t para local i .

W_{ijp} = Cantidad de producto p transportada desde CD j a local i .

$z_{j\hat{j}p}$ = Cantidad de producto p transportada desde CD j a otro CD \hat{j} con $j \neq \hat{j}$.

$Total_{jcp}$ = Cantidad total que despacha CD j (con capacidad c) de mercadería p .

$Prov.max_{pj}$ = Máxima cantidad de producto p que despacharán los proveedores a CD j .

$Vmin_c$ = Volumen mínimo $c-1$ y volumen máximo c a despachar por CD tipo c .

C_{ijp} = Distancia entre Nodo i a nodo j con $i, j \in \{JUI\}$.

G = Constante del Costo de transporte para cualquier despacho.

K = Costo por Kilometro para cualquier despacho.

Ct_p = Cajas por trailer promedio para camión de mercadería tipo p .

N_t = Número de CDs con productos tipo t a instalar.

f_c = Costo de inventario y almacenamiento de CD con capacidad c por caja.

A_c = Constante de ajuste para cambios discretos en costos de almacenamiento.

D_{ip} = Demanda de producto p de local i .

$TP_{tp} = 1$ si producto p esta en cluster de productos t .

M = Numero suficientemente grande (1.000.000).

$CDmax_{j\hat{j}p}$ = Máxima Cantidad de producto p a transportar de CD j a otro CD \hat{j} .

I = Conjunto de Clientes o locales i .

J = Conjunto de posibles ubicaciones de CD j .

P = Conjunto de productos p .

T = Conjunto de cluster de productos t .

C = Conjunto de volúmenes mínimos posibles de CD c .

En la ecuación (23) se puede observar que se minimizan 3 términos. El primero, representa los costos de operar un Centro de Distribución, aquí están contemplados los

costos de inventario y mantención que tendrá un centro de distribución con capacidad c . Es evidente que mientras mayor sea el CD, menor será este costo por caja, debido a economías de escala.

En el segundo término, se minimizan los costos de transporte desde un CD a un local y finalmente en el tercer término, se minimizan los costos de transporte entre Centros de Distribución. Es importante notar que en estas dos expresiones, los cuocientes (w_{ijp} / Ct_p) y (z_{jjp} / Ct_p) representan el número de viajes a realizar desde CD j a local i , o desde CD j a otro CD \hat{j} , de producto p .

La ecuación (24) limita la cantidad de centros de distribución a N_t , donde este último depende del tipo de flujo (Seco y Frío).

La ecuación (25) hace referencia a que un local sólo debe ser abastecido desde un Centro de Distribución.

Para satisfacer la demanda se incorpora (26), y para limitar los flujos de los CD esta (27), (28), (29) y (31), donde (28) y (29) indican que sólo se podrá despachar flujo si el CD está abierto, por otra parte en (27) se limita que el máximo a despachar por un CD j no puede ser superior a lo que despachan los proveedores más lo que otros CD \hat{j} con $\hat{j} \neq j$ le despachan al CD j , y finalmente en (31) se hace referencia a que no se supere la capacidad c del mismo.

La ecuación (30) limita el flujo de mercadería entre CD, esto es necesario ya que no todos los centros tendrán la capacidad de realizar despachos a otros CDs. Sólo se realizarán este tipo de despachos para mercadería 80/20, ya que los proveedores despacharán sólo a CDs en la Región Metropolitana, pero a su vez un local no puede ser abastecido de más de un CD, luego para que los CDs regionales despachen esta mercadería a los locales (de su región) tendrá que ser enviada desde otro CD de la Región Metropolitana.

Además la ecuación (32) limita que sólo se puede instalar un CD por ubicación, es decir, para una localidad específica puede haber sólo un CD por flujo de productos con sólo una capacidad c .

La ecuación (33) restringe los volúmenes mínimos de despacho de un CD j del tipo t , para forzar el concepto de costos marginales decrecientes.

En (34) se fuerza que para abrir un CD de mercadería Fría (t_2) en una ubicación dada, debe haber un CD de mercadería Seca - GM (t_1) por requerimientos de la empresa.

Finalmente en las ecuaciones (35) y (36) se construye la variable $Total_{jcp}$ a partir de las variables W_{ijp} y X_{jtc} , donde W_{ijp} determina el flujo que tendrá $Total_{jcp}$ y X_{jtc} asocia dichos flujos a la capacidad c escogida para dicho centro.

En resumen, el modelo entrega en cada corrida, los siguientes resultados principales:

- La función objetivo, que representa el costo logístico total.
- La ubicación de cada CD que tendrá la red.
- El flujo de mercadería que despachará cada CD.

Para obtener los resultados anteriores se entrega en cada corrida la cantidad de CDs Seco-GM y Frío que tendrá la red.

Comparando los resultados obtenidos en cada corrida, se determina la solución óptima global de mínimo costo logístico total.

Como se explicó anteriormente, este proceso se realizó primero para el último año del estudio (2017) y luego iterativamente para los años anteriores (2016 y 2015).

10. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la creación de cualquier modelo es fundamental realizar una validación de los resultados entregados por el mismo, de modo de asegurar que al momento de utilizarlo, se pueda confiar en los resultados entregados.

Para lograr lo anterior, se creó un modelo igual al que se utilizará, sin embargo, se redujo la cardinalidad de los conjuntos a un número muy pequeño y se alteraron los valores de los parámetros por números que permiten determinar con facilidad si el resultado entregado por éste, era realmente el óptimo buscado.

Se realizó una serie de pruebas, cambiando en varias ocasiones los costos, de manera de asegurar el funcionamiento adecuado de la optimización

Adicionalmente, se realizó el mismo ejercicio para validar el funcionamiento de las distintas restricciones como se menciona a continuación:

Ecuación	Proceso de validación
26	Se consideró que todos los locales tuvieran una demanda sencilla igual a 1000 y se corroboró que los despachos realizados a dichos locales fueran exactamente 1000.
27	Se limitó el parámetro <i>Prov. max_{pj}</i> a 0 y se corroboró que los despachos no superaran la variable Z_{ijp} . Análogamente se hizo lo mismo forzando Z_{ijp} a 0.
28	Debido a la baja cardinalidad de los conjuntos para esta prueba, se observó si efectivamente todos los $w_{ijp} > 0$; tenían $y_{ijt} = 1$ para los respectivos productos p en t.
29	Se observó si se realizaban despachos desde CDs no abiertos
31	1.- Se dejó sólo una capacidad mayor a 0 y fue la única a considerar. 2.- Se consideró la capacidad igual a la demanda con sólo un local (demanda y capacidad 1000) y luego, la demanda una unidad mayor a la capacidad, comprobando infactibilidad.
33	1.- Se consideró capacidad mínima mayor a la demanda provocando infactibilidad. 2.- Se observó comportamiento de variables y capacidad para demandas y capacidades simples (0, 10, 100, 1000,...)

Las demás ecuaciones fueron validadas con simple observación tanto en el modelo de prueba como con el definitivo, agregando los datos reales al mismo.

11.RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos por el modelo, dando respuesta a los tres objetivos específicos planteados en un inicio.

Recordemos que inicialmente se buscará la red de distribución óptima para el último año, esto es, una red que minimice los costos logísticos para el año 2017 independiente de los años anteriores. Luego, en segunda instancia se identificará la mejor estrategia para llegar a dicha red año a año.

11.1. Número de Centros de Distribución a instalar.

El número de Centros de Distribución a instalar que se propondrá, se clasificará acorde a los distintos flujos que posee la compañía, esto es, se entregará una respuesta respecto a los centros de mercadería “Seca y GM”, y otra respecto de la mercadería “Fría”. Es importante mencionar que a pesar de ser decisiones independientes, poseen una dependencia implícita, debido a la restricción que nos prohíbe abrir un CD de “Frio” sí es que en esa ubicación no se abre un CD de mercadería “Seca y GM”.

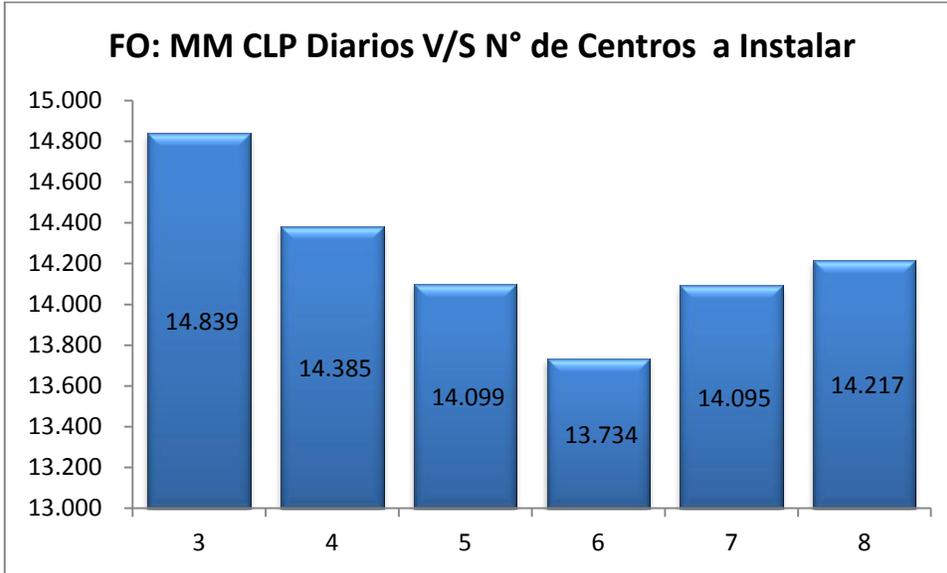
Debido a esta dependencia implícita, es necesario identificar en primer lugar el número óptimo de CDs “Seco-GM” y en segunda instancia los centros de mercadería “Fría”, a pesar de que el modelo entregue respuestas en conjunto.

Además de lo anterior, es importante recordar que en el modelo ya existen CDs que están abiertos desde un inicio (no existe decisión al respecto), que son los centros propios de la compañía. Estos centros son 2 para el caso de mercadería “Seca y GM” y 1 para el flujo de “Frío”

Para identificar tanto la cantidad como ubicación de los CDs, se consideraron 22 posibles ubicaciones de CDs a lo largo del país en las ciudades más importantes de cada región. Estas se representarán mediante la letra J más un número que determinará la ubicación de dicho Centro, es decir los 22 centros posibles a abrir para cada flujo se representarán desde J1 a J22. Lo anterior debido a la confidencialidad de la información.

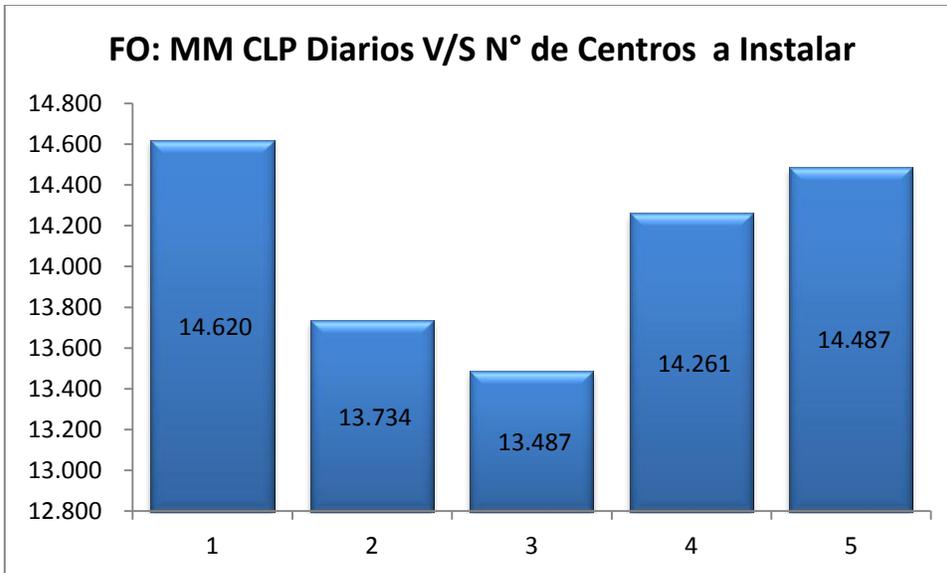
En los gráficos N°8 y N°9 se puede observar como varía el resultado de la función objetivo minimizada con distintos número de CDs a abrir.

Gráfico N°8 Costo Logístico en Millones de CLP diarios v/s el número de Centros de Distribución a instalar de mercadería Seca y GM.



*** Los costos han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes*

Gráfico N°9 Costo Logístico en Millones de CLP diarios v/s el número de Centros de Distribución a instalar de mercadería Fría



*** Los costos han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes*

Respecto a la Red de Frio, se puede observar en el gráfico N°9 que el número óptimo respecto de este flujo son 3 CDs, generando un ahorro de un 1,8% respecto de la segunda mejor opción (2 CDs).

La mercadería Fría o mercadería perecible representa una serie de dificultades operacionales adicionales respecto de la mercadería que no requiere refrigeración, ya que la rotación de ésta es mucho mayor, teniendo menos días de inventario, debido a la perecibilidad de la misma. Estos altos niveles de rotación son bastante difíciles de alcanzar en locaciones regionales alejadas de los proveedores.

Considerando el ahorro que se logra con el tercer CD (1,8%); la gran dificultad operacional que representa este flujo; que actualmente la red de distribución cuenta con sólo un centro de distribución Frio y que hacer un cambio tan drástico de pasar de 1 a 3 Cds Frios puede tener repercusiones tanto de nivel de servicio a los locales como de problemas con los proveedores, se considera mejor tener 2 Centros de Distribución para este tipo de mercadería en un inicio, dejando abierta la posibilidad de la apertura de un tercero, sujeto al funcionamiento del segundo, y a la disponibilidad de los proveedores. De todas formas abriendo el segundo centro se logran ahorros importantes de un 6,1% respecto de la situación actual de tener sólo un CD que abastezca todo el país.

A continuación, todos los análisis se realizarán acorde a esta consideración.

En el gráfico N°8 se puede observar claramente que la solución óptima para la mercadería "Seca y GM" es tener 6 Centros de Distribución, proporcionando un ahorro de un 2,6% respecto de la segunda mejor opción. Esto se realizó considerando una cantidad constante de 2 Centros de distribución de mercadería "Fría".

11.2 Ubicación de los Centros de Distribución a instalar.

La ubicación de los CDs es uno de los resultados más importantes de este estudio, ya que éstos son los que permitirán tener una red logística que minimice los costos de transporte de la compañía.

Considerando lo expresado en el punto 4.1, tres de los CDs resultantes, fueron localizaciones fijas y sólo se optimizó los flujos de estos CDs.

Los resultados respecto a la ubicación se mostrarán en forma parcial debido a la confidencialidad de la información.

Segmentando Chile en 4 Zonas, A-B-C-D, el número de centros que tendrá cada zona se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla N°10 CDs en cada zona⁵ del País.

Zona del país.	Nº de Centros de Mercadería Seco-GM	Nº de Centros de Mercadería Fría
A	2 : J3 y J9	0
B	1: J14	0
C	1: J12	1: J12
D	2: J4 y J17	1: J7

La distancia promedio que recorre cada camión (Weighted Average Distance, WAD) es uno de los principales indicadores que maneja la empresa y que depende principalmente del origen de los flujos, es decir, la ubicación que tienen los Centros de Distribución.

Considerando la red que posee hoy la compañía ampliada, en comparación con la red propuesta, ésta última permitirá tener una reducción de WAD de 164 a 132 millas lo que representa una reducción de un 19%. Es importante mencionar que éste es un WAD teórico, que no incluye ineficiencias operacionales que ocurren en la realidad.

La solución propuesta genera ahorros logísticos de un 6,9%% que se traducen en 14,7 Millones de dólares respecto de la solución trivial de ampliar los Centros Actuales para los flujos del año 2017. Esto se debe principalmente debido a la reducción de la distancia promedio que recorrerán los camiones, correspondiente a un 19%, producto de tener una red logística óptima. Los principales agentes que producen este cambio son la incorporación de un segundo CD de mercadería Fría en la ubicación J12 y los centros de “Seco GM”, J12 – J14 – J3 y J17.

⁵ Las Zonas A,B,C,D no representan un orden geográfico.

11.3 Tamaño de los Centros de Distribución a instalar.

Una vez identificado el número de Centros de Distribución operacional y estratégicamente óptimos, es importante definir el tamaño que tendrán los mismos.

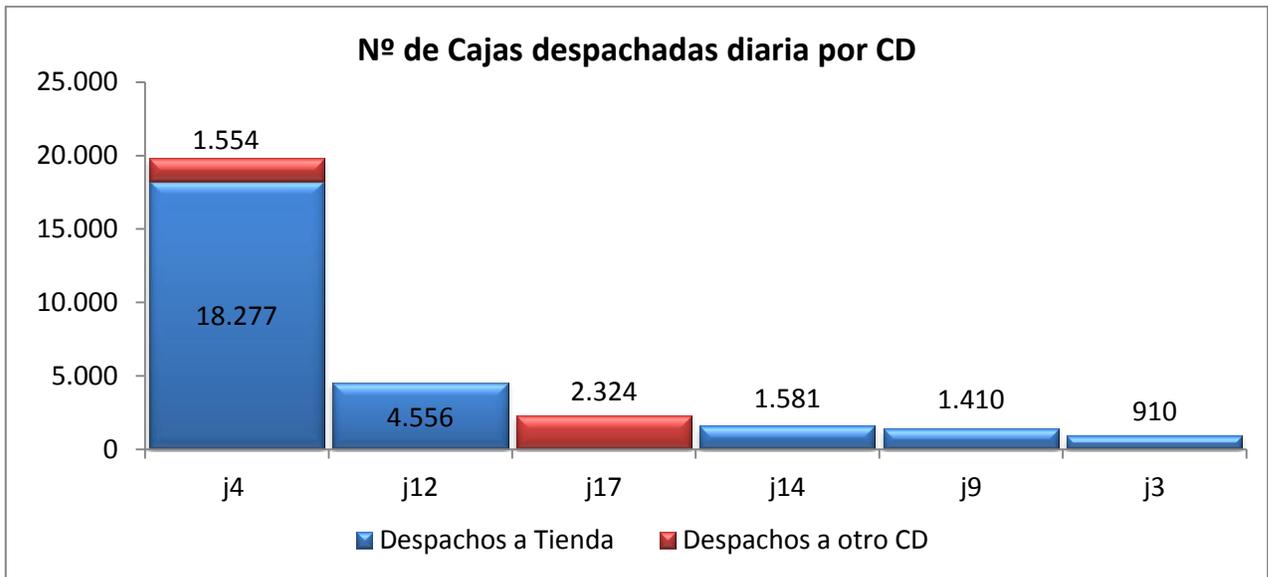
Para definir lo anterior, se determinará cuál es la cantidad de cajas óptima a despachar de cada uno de los centros a instalar. Esto dependerá de la cantidad de tiendas a las que se quiera abastecer desde cada centro de distribución, considerando que cada tienda sólo puede ser abastecida de un único CD.

Una vez definido esto, se podrán realizar los estudios pertinentes para determinar el diseño de los CDs que considera los metros cuadrados necesarios de terreno y de construcción, la cantidad de ubicaciones de reserva y la cantidad de puertas de despacho y recepción que deberá tener cada centro, que dependerá de la cantidad de tiendas que abastecerá el mismo.

El diseño del Centro de Distribución esta fuera de los alcances de este estudio, luego sólo se determinará la cantidad óptima a despachar por día y la cantidad de tiendas a atender de cada centro dejando a estudios posteriores el diseño en detalle del mismo.

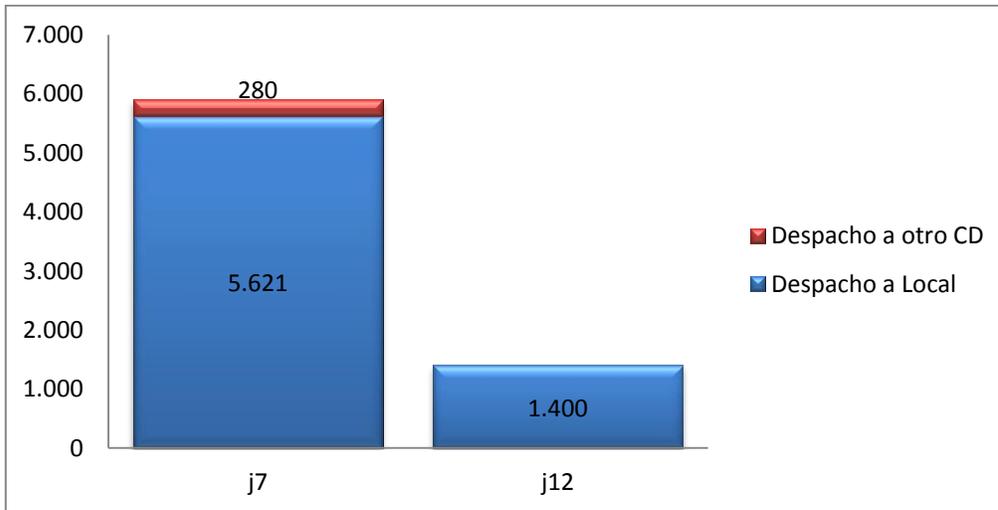
Dado el número de centros previamente definido, la cantidad óptima a despachar diariamente por cada centro se puede observar en los gráficos N°10 y N°11.

Gráfico N°10 Número de cajas despachadas diaria por cada CD "Seco GM".



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes

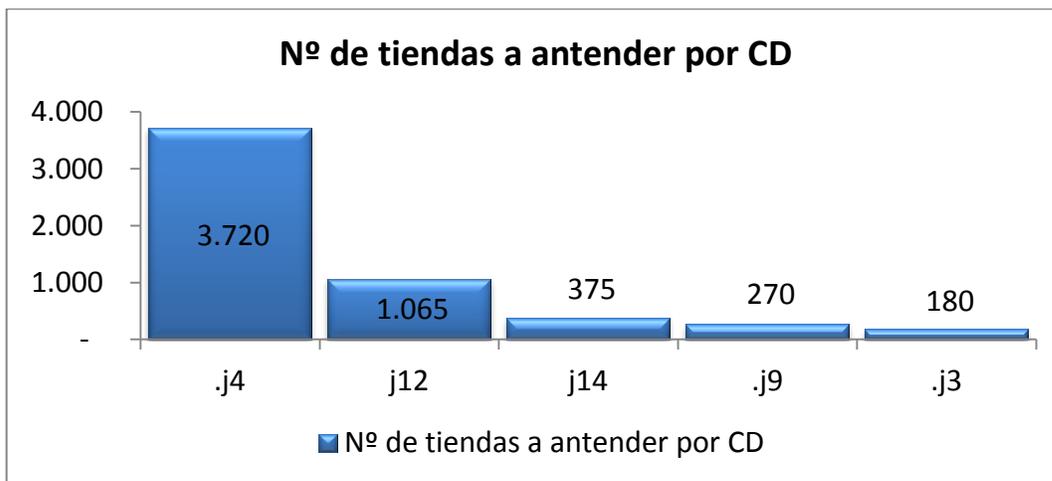
Gráfico N°11 Número de cajas despachadas diaria por cada CD "Frio".



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

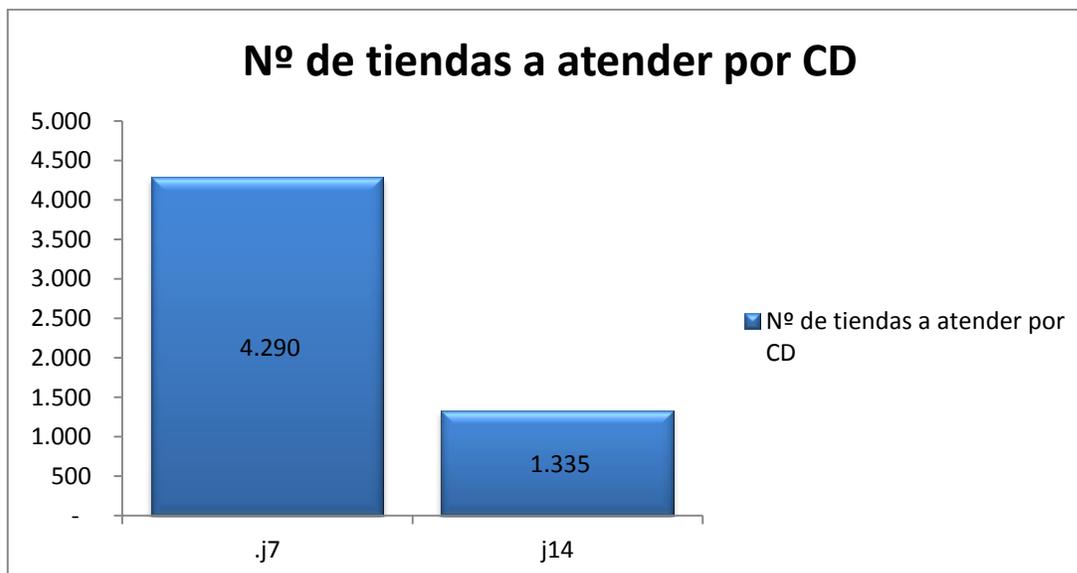
Debemos recordar que dos de los CDs del gráfico N°10 y uno del gráfico N°11 son centros propios de la compañía a los cuales se les podría hacer alguna ampliación de ser necesario, si el diseño actual no satisface los requerimientos de despacho requeridos en el futuro.

Gráfico N°12 Número de tiendas abastecidas desde cada CD "Seco-GM".



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Gráfico N°13 Número de tiendas abastecidas desde cada CD "Frío".



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

En los gráficos anteriores se puede observar la cantidad de tiendas que abastecerá cada Centro de Distribución. Se puede ver que estos gráficos tienen una gran relación con los gráficos N°10 y N°11 de despachos diarios por CD.

Es importante notar que el centro J17 (Mercadería Seca-GM) no abastece a ninguna tienda, y que tendrá el único propósito de despachar mercadería a otros CDs, siendo ésta una de las localizaciones fijas mencionadas en el punto anterior

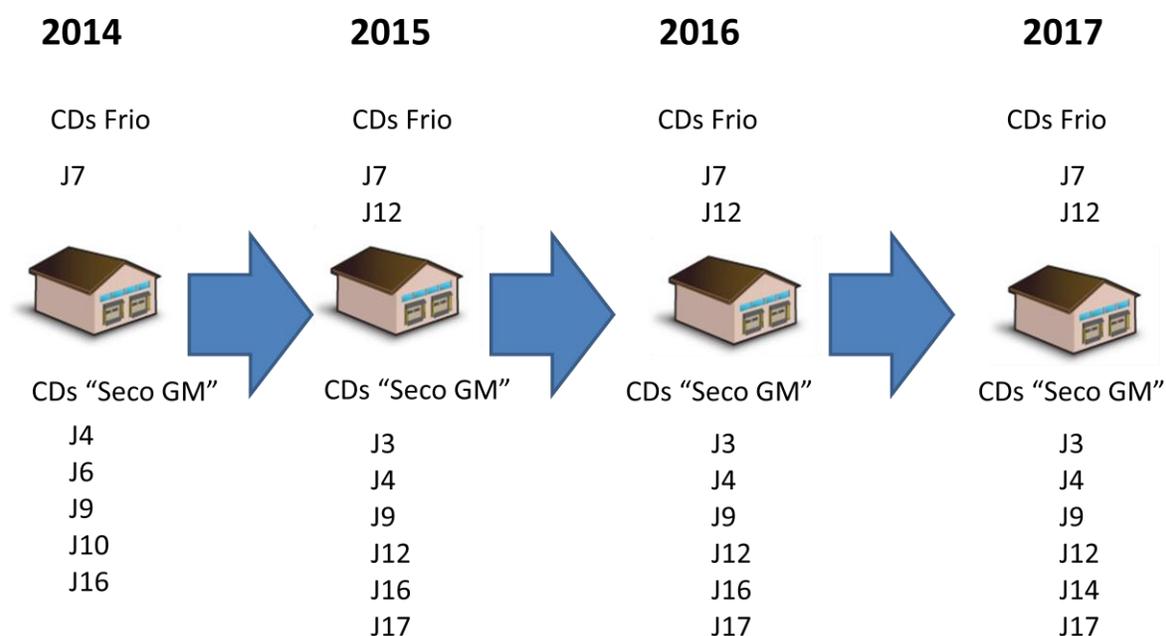
Además, se puede observar del gráfico que existe una varianza bastante grande respecto de la cantidad de tiendas atendidas por CD. La razón principal es que distintas partes del país concentran una distinta densidad de tiendas, luego dependiendo del lugar donde este el CD, éste puede atender un número muy distinto de tiendas.

11.4 Estrategia temporal para estructurar la red de los Centros de Distribución.

Actualmente la compañía cuenta con 3 Centros de Distribución Regionales. Estos están en Antofagasta, Chillán y Temuco y no pueden ser cerrados en el corto plazo debido a contratos vigentes. Por esta razón, no se puede hacer ningún cambio en la red en los próximos 2 años.

A partir de esta fecha se propone comenzar a realizar los cambios en la red. Observando los resultados del modelo para los años 2015 y 2016, sujeto a que sólo se pueden abrir los centros óptimos para el año 2017 (J3-J4-J9-J12-J14-J17 para Seco-GM y J7-J12 para Frio) o cerrar los centros actuales que tiene la empresa, se llegó a la conclusión que lo óptimo desde el punto de vista de costos logísticos, es realizar 4 aperturas y 2 cierres el año 2015, ningún cambio el año 2016 y una apertura y un cierre el año 2017. Esto se puede observar en la figura N°5.

Figura N°5 Cierre y apertura de Centros a lo largo de los años.



La estructura mostrada en la figura anterior es la estructura óptima año a año con la condición que se debe tener la estructura óptima el último año de forma independiente a los años anteriores y que no se puede abrir y cerrar o cerrar y abrir un mismo CD. Sin embargo, desde un punto de vista operacional, puede resultar sumamente complicado tener 4 aperturas y dos cierres de centros de distribución en un mismo año (2015). En base a esta consideración, y a las iniciativas en curso expresadas en 4.1, se realizarán algunas sugerencias respecto del orden y prioridad de los CD a abrir el año 2015:

- El CD J17 es un centro que ya está en los planes de la compañía, luego este será el CD con mayor prioridad,
- El CD que representa mayores ahorros desde un punto de vista logístico es J12, que además es tanto Seco-GM como Frío, lo que representa un ahorro de 5,9 Millones de Dólares para el año 2015.
- El CD J3 representa un ahorro de 3,5 MMUSD, para el año 2015. Además, como se podrá apreciar en el capítulo 12 de Sensibilidad de Resultados, en caso que los pronósticos de apertura de tiendas no cumplan las expectativas de la empresa, el centro J3 deja de ser parte de la red logística óptima, luego es aconsejable que éste sea el Centro de Distribución de menos prioridad de los 4 que se deberían abrir el año 2015.

Por lo tanto, la prioridad de cambios en la red tiene el siguiente orden:

Año 2015:

- Nuevos CDs: J17, luego J12 Seco-GM y Frio y finalmente J3
- Cierre de CDs: J6 después que abra J17 y luego J10 después que abra J12.

Año 2016:

- No habría ningún cambio en la red

Año 2017:

- Nuevo CD: J14
- Cierre de CD: J16 después que abra J14

Es importante mencionar que el orden propuesto es netamente una sugerencia del estudio y no una decisión final de la empresa. Esta decisión es bastante estratégica e involucra más temas de los que abarca este estudio, luego no se cuenta con la información suficiente para tomar la decisión final al respecto.

12. SENSIBILIDAD DE RESULTADOS

Los crecimientos de venta que espera la compañía para los próximos 5 años son bastante explosivos como se explica en el capítulo número dos. Estos tienen su razón debido a los índices macroeconómicos que tiene el país en este momento junto con otras proyecciones de la empresa.

Los bajos índices de desempleo y los altos índices de crecimiento interno bruto que ha tenido el país en los últimos años en conjunto con una serie de iniciativas estratégicas de la empresa, han logrado que ésta haya tenido un crecimiento muy grande en el último periodo. Sin embargo, nada asegura que la estabilidad económica nacional se mantenga de esta forma en el futuro, por lo que es indispensable saber cuáles serían los resultados del estudio en caso que los crecimientos de la empresa no alcanzaran los niveles proyectados.

Uno de los principales factores que potencia el crecimiento de las empresas de retail, son las nuevas aperturas de tiendas. Las proyecciones de nuevas aperturas en la empresa forman un pilar fundamental en el crecimiento de la misma, sin embargo, en caso de que exista una crisis o simplemente la economía nacional decaiga, estas también se verán reducidas fuertemente.

Para modelar lo anterior se generarán 2 escenarios adicionales al original, en los cuales se reducirán las aperturas de tiendas que proyecta la compañía.

En el primer caso se considerará un 75% de las aperturas de tiendas planeadas originalmente, esto es, se reducirán las aperturas en un 25%. En el segundo caso sólo se abrirá un 50% de las tiendas planeadas.

12.1 Criterios de selección de locales a abrir y no abrir.

Es importante mencionar que la proyección de apertura de locales es un dato para efectos de este estudio, lo único que se hará en este capítulo será restringir la cantidad de aperturas proyectadas acorde a ciertos criterios.

Uno de los principales criterios que determina la ubicación de nuevas tiendas es referente al poder de compra que posea la zona de ubicación, es decir, la cantidad de clientes dispuestos a comprar los productos ofrecidos. Esto tiene una directa relación con los ingresos que reciba dicha región o zona.

12.1.1 Ingresos de la población y PIB per cápita.

Para este análisis se considerará el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita de cada región del país y se cancelarán las aperturas en las zonas con menor PIB per cápita, proporcional a la cantidad de aperturas que se quiera realizar.

Por ejemplo, en caso que el PIB per cápita de 3 zonas (A, B, C) sean 1, 2 y 3, y se quiera cancelar 6 aperturas de tiendas, se cancelarán 4 aperturas de la zona A y 2 de la zona B, ya que la zona A tiene un 50% del PIB per cápita de la zona B, luego se

cancelarán el doble de aperturas en ésta zona. La zona C al ser la con mayores ingresos, tendrá todas las aperturas propuestas.

12.1.2 Años en que se realizan las aperturas.

El segundo criterio utilizado hace referencia a los años en los que se planea abrir las tiendas. Se cuenta con la información de apertura de tiendas año a año desde el 2013 hasta el 2017.

Los pronósticos para años más cercanos, son mucho más acertados que pronósticos para años más adelante, ya que existe mayor certeza de las tiendas a abrir en un año más, respecto del plan de aperturas a 5 años, el cuál puede cambiar bastante en el tiempo, debido a distintos escenarios que afronte la compañía y el país.

Para considerar este efecto, se construyó una tabla que permitirá distribuir el número de “no aperturas” a realizar para cada año en forma proporcional al escenario a estudiar.

Tabla N°11 Porcentaje de tiendas a “no abrir” por año.

Años	2013	2014	2015	2016	2017
% de tiendas a “no abrir”	5%	15%	20%	30%	30%

Esto es, si decido no abrir 100 tiendas para un determinado escenario, dejaré de abrir 5 el primer año, 15 el segundo, 20 el tercero y 30 para últimos 2 años.

Finalmente juntando los dos efectos tanto la distribución anual, como la distribución por región acorde al PIB per cápita, se llega a la matriz⁶ que permitirá seleccionar el número de tiendas por año y región que no abrirán para cada escenario. Los resultados obtenidos evidentemente no serán enteros, luego se realizó una aproximación entera para que el resultado tenga un sentido lógico.

Además en caso que la cantidad de “no aperturas” sea mayor a la cantidad de posibles nuevos locales de dicha región, la diferencia se traspasará a la siguiente peor región respecto a ingresos per cápita, de esta forma se logrará tener una cantidad entera y factible de “no aperturas” para cada año.

⁶ Ver matriz de criterio de Selección de locales a “no abrir” en Anexo N°15.3

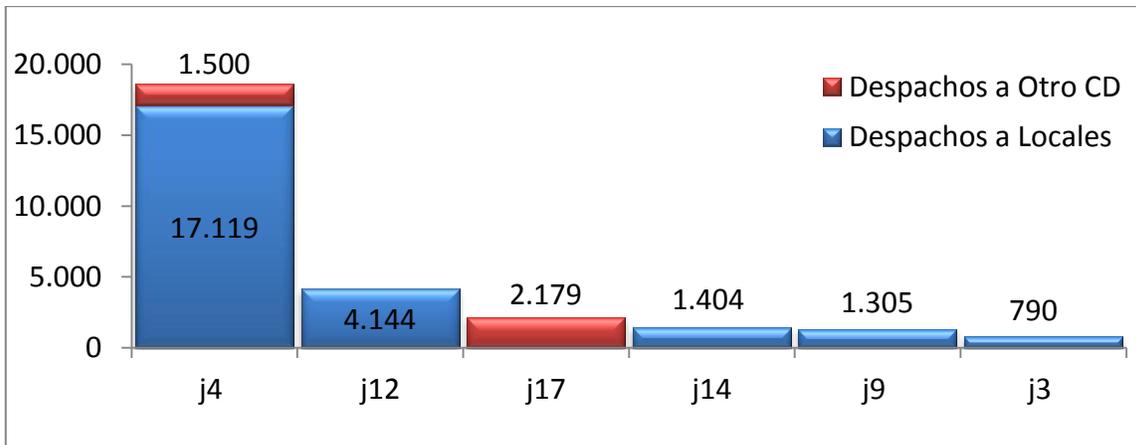
12.2 Resultados del Análisis de Sensibilidad.

12.2.1 Resultados Escenario 75% de aperturas de tiendas.

En el análisis que se considera un 75% de aperturas, la cantidad de tiendas que no se abren son distribuidas según la metodología explicada al comienzo de este capítulo.

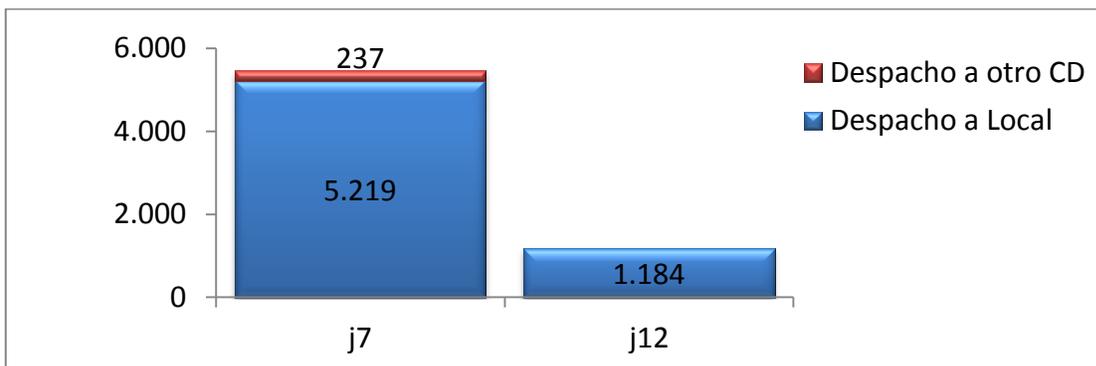
Los resultados de ubicaciones y capacidades obtenidos de este análisis con 6 centros de mercadería “Seca-GM” y 2 centros de “Frio” se pueden observar en los gráficos N°14 y N°15, donde la ubicación está representada con números que acompañan a la letra J, es decir J4 significa que el CD está en la ubicación 4, y la capacidad, por el flujo de mercadería despachada.

Gráfico N°14 Despachos diarios por cada CD “Seco-GM”, Escenario 75% aperturas.



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.

Gráfico N°15 Despachos diarios por cada CD “Frio”, Escenario 75% aperturas.



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.

Se puede observar, que en este caso a pesar que se deja de abrir un 25% de las tiendas, las ubicaciones de los CDs siguen siendo las mismas que en el escenario base analizado. Para los flujos de “Seco-GM” se tiene: J3-J4-J9-J12-J14-J17, y para el caso

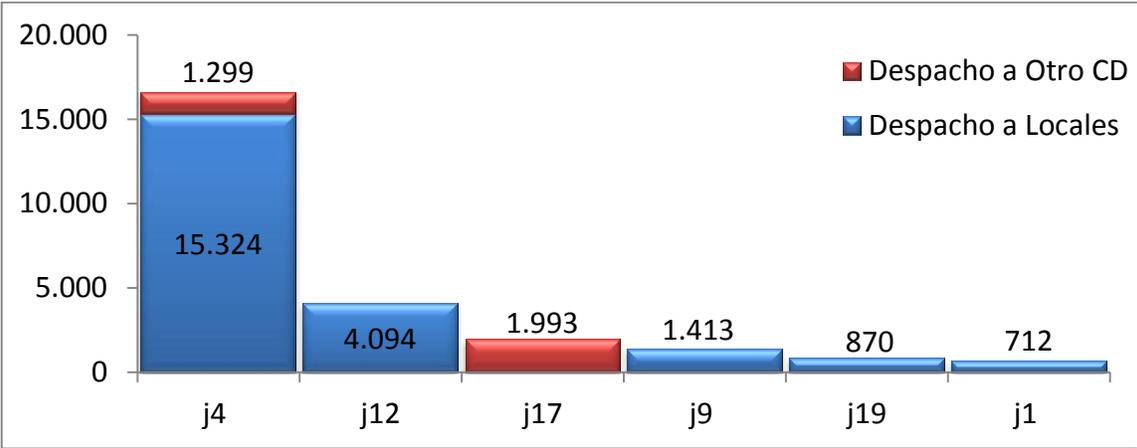
de mercadería “Fría” se tiene: J7 y J12. Si bien es cierto cambian los flujos que moverá cada Centro de Distribución, lo que es lógico debido a que al haber menos locales cambia la demanda a satisfacer, las ubicaciones óptimas para instalar los CDs permanecen constantes.

12.2.2 Resultados Escenario 50% de aperturas de tiendas.

En el análisis que considera un 50% de aperturas, la cantidad de tiendas que no se abren se distribuyen según la metodología explicada al comienzo de este capítulo.

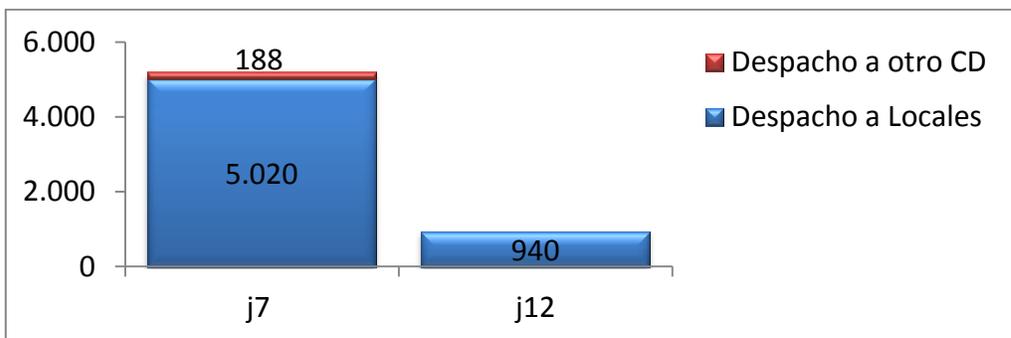
Los resultados de ubicaciones y capacidades obtenidos de este análisis con 6 centros de mercadería “Seca-GM” y 2 centros de “Frio” se pueden observar en los gráficos N°16 y N°17, donde la ubicación está representada con números que acompañan a la letra J y la capacidad por el flujo de mercadería a despachar que se requiere.

Gráfico N°16 Despachos diarios por cada CD “Seco-GM”, Escenario 50% aperturas.



***Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.*

Gráfico N°17 Despachos diarios por cada CD “Frio”, Escenario 50% aperturas.



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los Ratios constantes.

De los gráficos N°16 y N°17 se puede observar que para la mercadería “Seco-GM” se mantienen 4 de los 6 CDs en la misma ubicación que en el escenario base (J4-J9-J12-J17) y 2 que cambian su ubicación (J1-J19). Respecto al flujo “Frio” podemos ver que no existe ninguna diferencia en la ubicación de los centros a instalar, se mantiene tanto J7 como J12.

Recordemos que de los centros que no cambian su ubicación para “Seco-GM” (J4-J9-J12-J17), 2 son centros que estarán en todo escenario debido a su propiedad y a los supuestos utilizados.⁷ Lo mismo ocurre con J7 para mercadería “Fría”.

Como se mencionó anteriormente en los flujos “Seco-GM” existen 2 centros que cambian su ubicación, sin embargo, dividiendo Chile en las mismas 4 zonas divididas en el Capítulo N° 11 podemos observar que existirá la misma cantidad de centros por zona del país.

Tabla N°11 Cantidad de CD a instalar por zona de País.

Zona del país.	Nº de Centros de Mercadería Seco-GM	Nº de Centros de Mercadería Fría
A	2	0
B	1	0
C	1	1
D	2	1

En otras palabras los Centro J1 y J19 reemplazan en este nuevo escenario a los centros J3 y J14 del escenario original respectivamente.

En resumen, podemos decir que sí la estrategia de apertura de tiendas cambia y se realiza un 25% menos de aperturas de lo planeado, la red óptima de Centros de

⁷ Más detalle respecto a los supuestos y propiedad de los CD ver Tabla N°1.

Distribución propuesta sigue siendo la misma del escenario base. En caso que la estrategia de aperturas cambie a un 50% respecto del plan original, la estructura del caso base deja de ser óptima. El tener J3 y J14 en vez de J1 y J19 en el caso de 50% de aperturas, refleja una pérdida de un 2,5% en los costos totales lo que significa 4,2 Millones de dólares en el año 2017. Esto viene dado principalmente por transporte, donde la red con J3 y J14 tiene una distancia promedio por camión 11% mayor que la red con J1 y J19.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La primera conclusión es que el modelo propuesto representa adecuadamente la logística de la compañía en estudio y pudo ser validado con diferentes pruebas.
2. La red logística propuesta genera ahorros calculados por 14,7 millones de dólares el año 2017, lo que representa un ahorro de un 6,9% de los costos logísticos de la empresa, respecto de mantener la red actual aumentando solamente su capacidad de despacho. Esto principalmente debido a la incorporación de un segundo Centro de Distribución de mercadería Fría en la ubicación J12, que despacharía alrededor de un 20% de este flujo y a los cambios en la red de Centros de Distribución Seco-GM. Esta propuesta representa un cambio bastante importante en la red logística.
3. En caso que los pronósticos de demanda no cumplan las expectativas de la empresa, y las aperturas de tiendas se vean reducidas en un 25%, la estructura óptima de la red seguirá siendo la misma a la propuesta en el escenario base. En caso que las aperturas se vean reducidas en un 50%, la estructura propuesta originalmente deja de ser óptima, y genera pérdidas de alrededor de 4,2 millones de dólares el 2017, que representan 2,5% de los costos logísticos, respecto de una solución en que cambien 2 de los CDs, J3 y J14, por J1 y J19 respectivamente. Esta situación se mitiga con la prioridad de los cambios propuestos, en que se sugiere que tanto los CDs J3 como J14 sean los últimos en abrir de todos los CDs a instalar.
4. Para poder llegar con la estructura propuesta al último año, se recomienda que se realicen 4 aperturas de Centros de Distribución, 3 Seco-GM (J17-J12-J3) y 1 Frío (J12) y además, 2 cierres de CDs Seco-GM (J6-J10) el año 2015, y una apertura (J14) y un cierre (J16) el año 2017. En el caso que abrir 4 CDs en un año sea operacionalmente complejo, se recomienda considerar la siguiente prioridad de aperturas:
 - En primer lugar abrir J17, que es un CD ya en evaluación por la empresa.
 - En segundo lugar abrir, J12 Seco-GM y Frío, de esta manera se pueden aprovechar los ahorros de Frío que son los más significativos.
 - En tercer lugar abrir J3, ya que abrir este centro representa un 66% menos de ahorro que abrir primero J12 y en caso que cambien las aperturas de locales y éstas se vean reducidas en el futuro, J3 deja de pertenecer a la estructura óptima.
5. Como recomendación, se sugiere que los CDs nuevos a instalar por la compañía sean arrendados, esto debido a la flexibilidad que le permitirá a la empresa cambiar la ubicación de los mismos en el futuro. Esta recomendación no tiene un análisis de costos, si no netamente estratégico.

6. Respecto a la red de Frío, dependiendo del funcionamiento del nuevo CD J12, se recomienda evaluar nuevamente en el futuro la posibilidad de abrir un tercer CD de este flujo en la ubicación J9, considerando la disposición de los proveedores y los ahorros que podría significar.

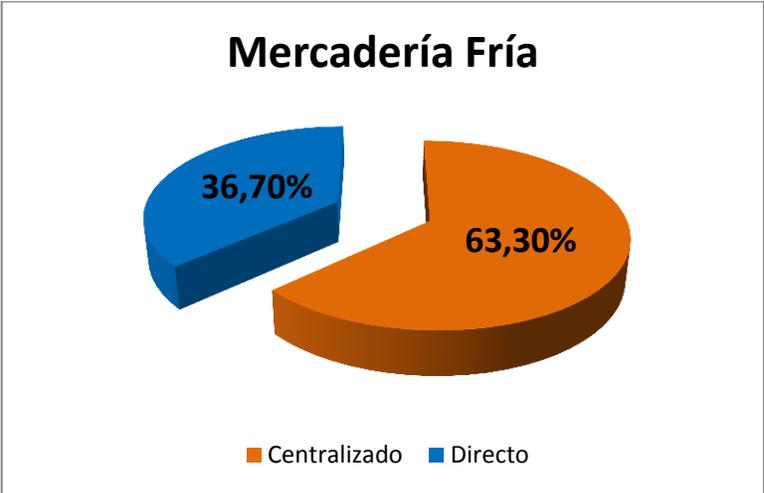
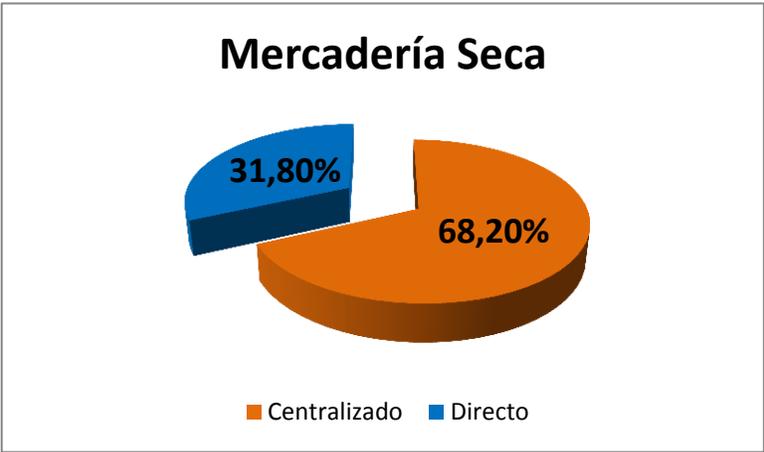
14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARNALDO REBELLO DE AGUILAR, NICOLAU D. FARES GUALDA. 2006. Distribution Center Location: Adding value to the Supply Chain.
- [2] RAUL H. ARANEDA MARTINEZ, REINALDO J. MORAGA SUAZO. 2004. La decisión de Localización en la cadena de Suministro.
- [3] JUAN ANDRES MUÑOZ SAAVEDRA. 2006. Un Modelo de Generación de Columnas para un Ruteo de Camiones en la Industria Forestal Chilena. Santiago, Chile. Universidad de Chile.
- [4] BELEN MELIAN, J. MARCOS MORENO-VEGA, NITESH VASWANI, RAYCO YUMAR. 2007. Búsqueda Dispersa para el Uncapacitated Plant-Cycle Location problem. España. Universidad de la Laguna.
- [5] MARIA JOSE CANOS DAROS, MANUAL MOCHOLI ARCE. [s.a]. Técnicas de optimización robustas aplicadas al problema de la p-mediana en condiciones de incertidumbre. Departamento de Economía Financiera y Matemática. España. Universidad de Valencia.
- [6] ZUO JUN MAX SHEN. 2005. A multi-commodity supply chain design problem. Departamento de Ingeniería Industrial y Gestión de Operaciones. Berkeley, USA. University of California.
- [7] BLAS ERNESTO DUARTE ALLEUY. 2009. Heurística basada en Generación de Columnas para el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo y flota homogénea caso: Cervecerías Chile S.A.. Tesis para optar al grado de magister en gestión de operaciones. Santiago. Universidad de Chile.
- [8] MARIA ALBAREDA SAMBOLA, ELENA FERNANDEZ, JUAN ANTONIO DIAZ, CARLOS MARTINEZ OJEDA. [s.a]. Problemas combinados de localización y rutas. Madrid, España. Departamento de Estadística, Universidad Carlos III, Universitat Politècnica de Catalunya.
- [9] TREVOR FENNER, MARK LEVENE, GEORGE LOIZOU. [s.a]. Predicting the long tail of book sales: Unearthing the power-law exponent. Londres, Inglaterra. Department of Computer Science and information Systems, Birkbeck, University of London.

15.ANEXOS

Anexo 15.1

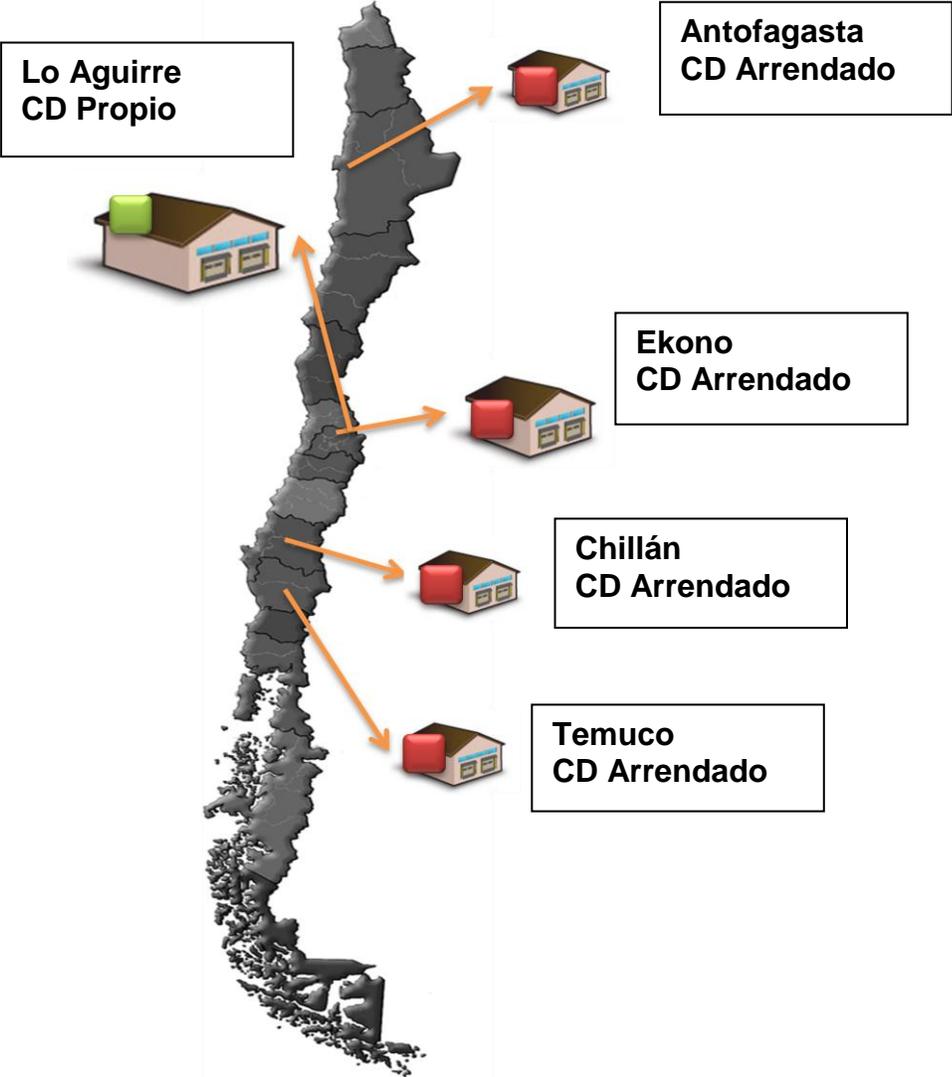
Centralización actual de distintos flujos de Productos.



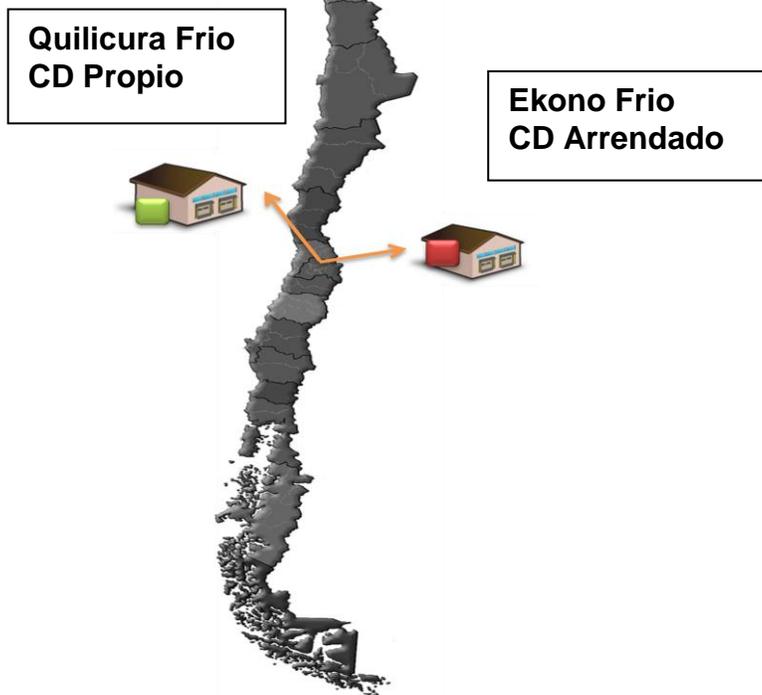
Anexo 15.2

Mapa de centros de Distribución actuales de la Compañía por flujo de productos.

Mapa de CDs de Mercadería Seca



Mapa de CDs de Mercadería Fría



Mapa de CDs de Mercadería General (GM)



Anexo 15.3

Matriz de no apertura de locales por región y año para análisis de sensibilidad

Región	2013	2014	2015	2016	2017	Total
XV	0,5%	1,4%	1,9%	2,8%	2,8%	9,4%
I	0,3%	0,8%	1,1%	1,6%	1,6%	5,3%
II	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
III	0,3%	0,8%	1,1%	1,6%	1,6%	5,5%
IV	0,4%	1,3%	1,7%	2,6%	2,6%	8,6%
V	0,4%	1,3%	1,7%	2,6%	2,6%	8,6%
RM	0,3%	1,0%	1,4%	2,1%	2,1%	7,0%
VI	0,4%	1,2%	1,6%	2,5%	2,5%	8,2%
VII	0,5%	1,4%	1,9%	2,8%	2,8%	9,3%
VIII	0,4%	1,3%	1,8%	2,7%	2,7%	8,9%
IX	0,5%	1,5%	2,0%	3,0%	3,0%	10,1%
XIV	0,5%	1,4%	1,9%	2,8%	2,8%	9,5%
X	0,5%	1,4%	1,9%	2,9%	2,9%	9,7%
Total	5%	15%	20%	30%	30%	100,0%

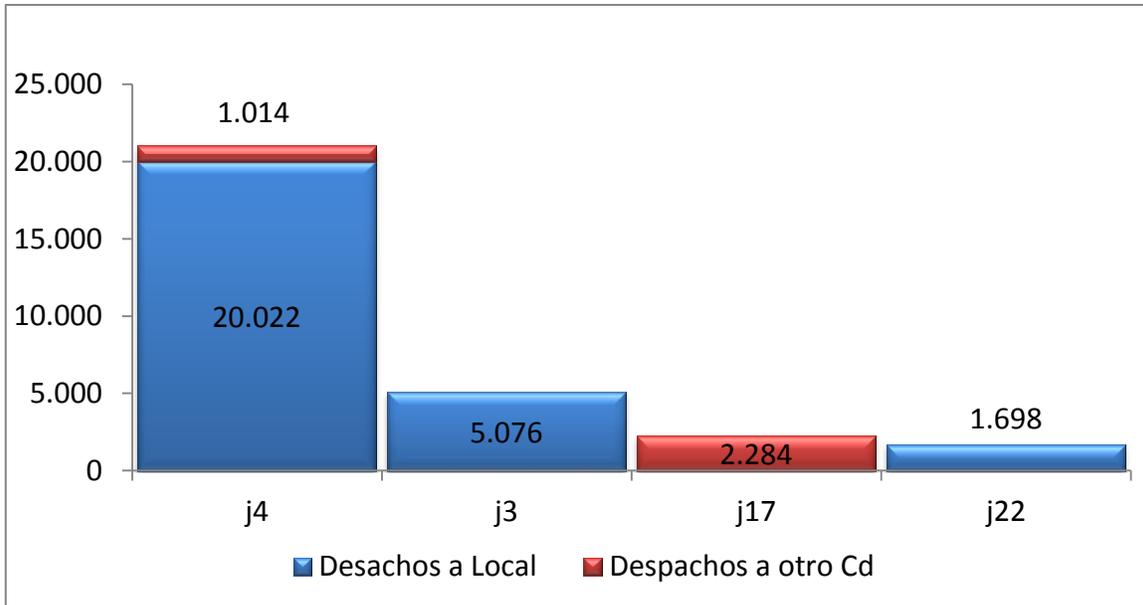
Esta matriz muestra el criterio utilizado para la “no apertura” de locales en el capítulo de análisis de sensibilidad. Los porcentajes representan la cantidad de no aperturas por región y año.

Como se puede observar en la fila “**Total**”, el año 2013 se cancela un 5% del total de no aperturas, el 2014 un 15%, el 2015 un 20% y el año 2016 y 2017 se cancela un 30% cada uno. Adicionalmente se utilizó el PIB per cápita de cada región para identificar cuantos locales no abrir por región. Para lograr esto, se tomó el PIB per cápita de la II región como base (mayor PIB per cápita del país), y se distribuyó cuanto peor eran las otras regiones y cuantos locales les corresponde “no abrir” porcentualmente. De esta forma esta matriz sirve para los 2 escenarios planteados en el capítulo 12 Sensibilidad de Resultados.

Anexo 15.4 Resultados otros escenarios

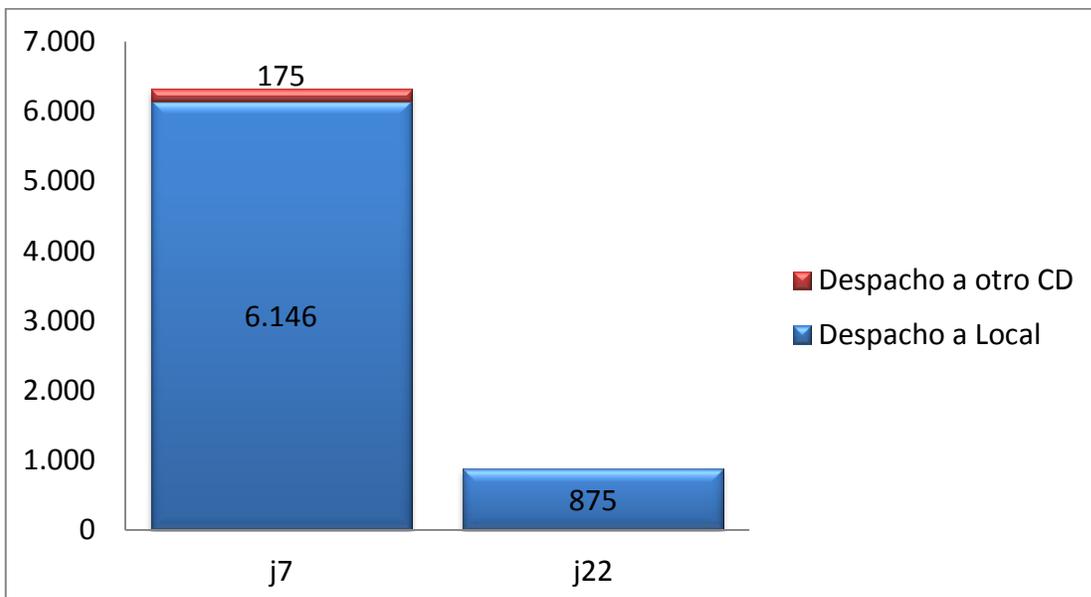
Escenario 4 Cds de “Seco GM” 2 CDs “Frio”

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco – GM



**Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes

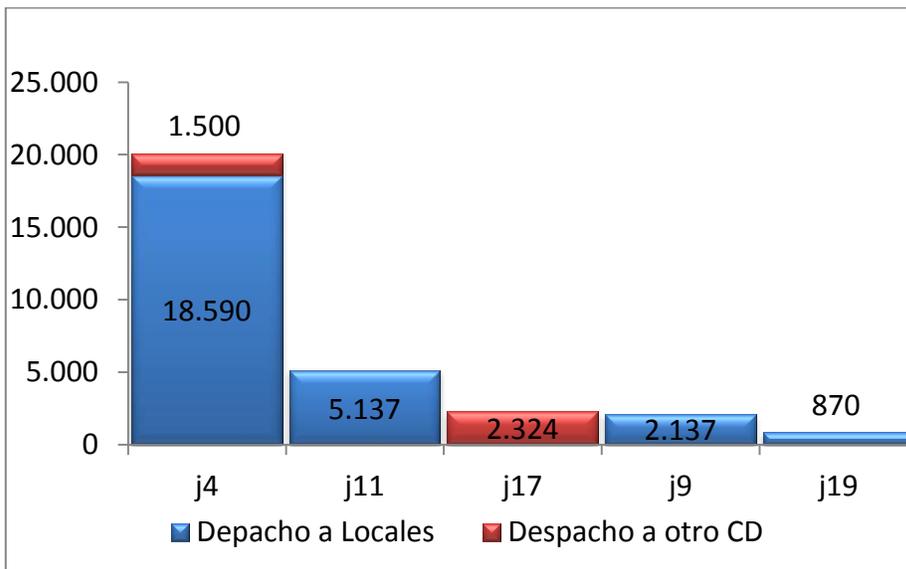
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío



**Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes

Escenario 5 Cds de "Seco-GM" 2 CDs "Frio"

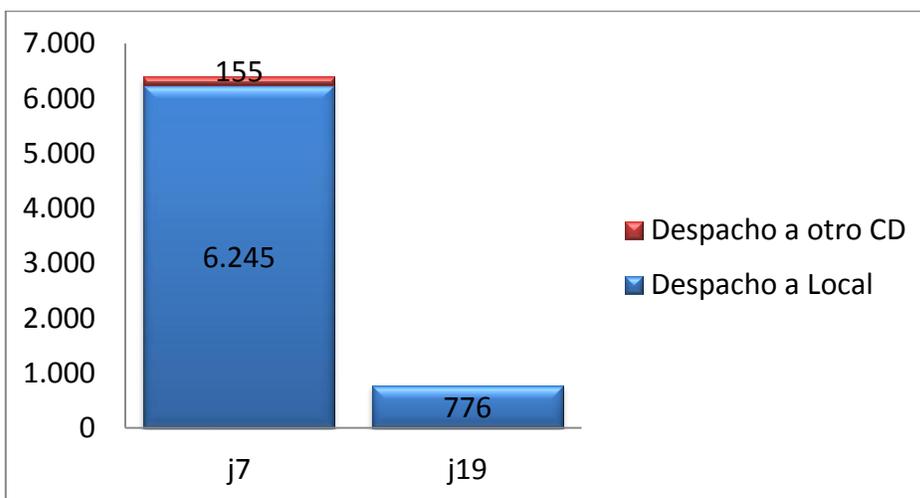
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco-GM



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de de información, manteniendo los ratios constantes.

confidencialidad

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío

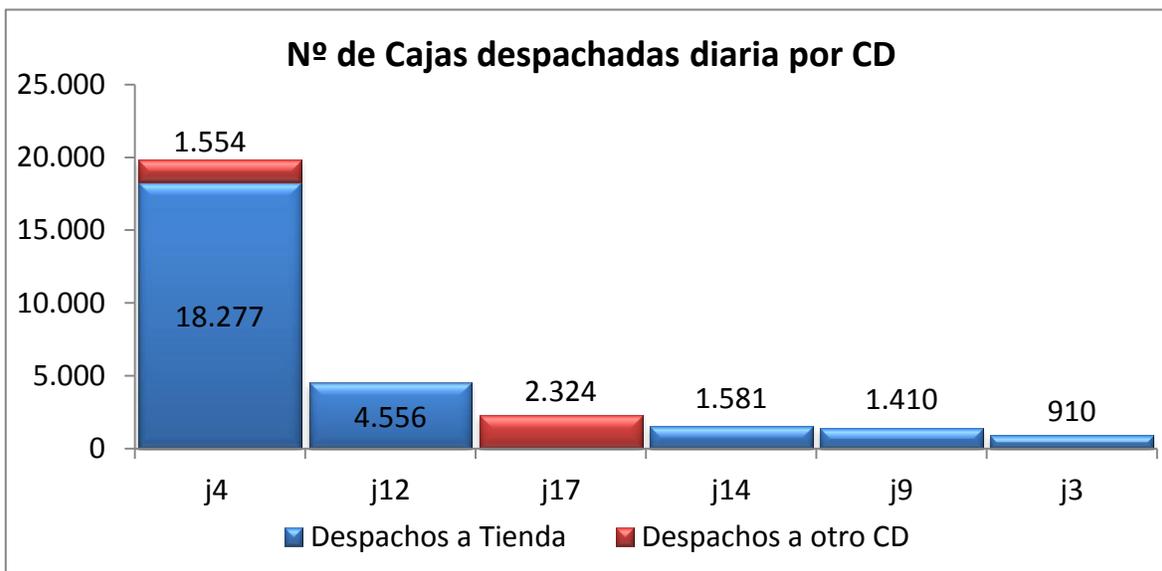


** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de de información, manteniendo los ratios constantes

confidencialidad

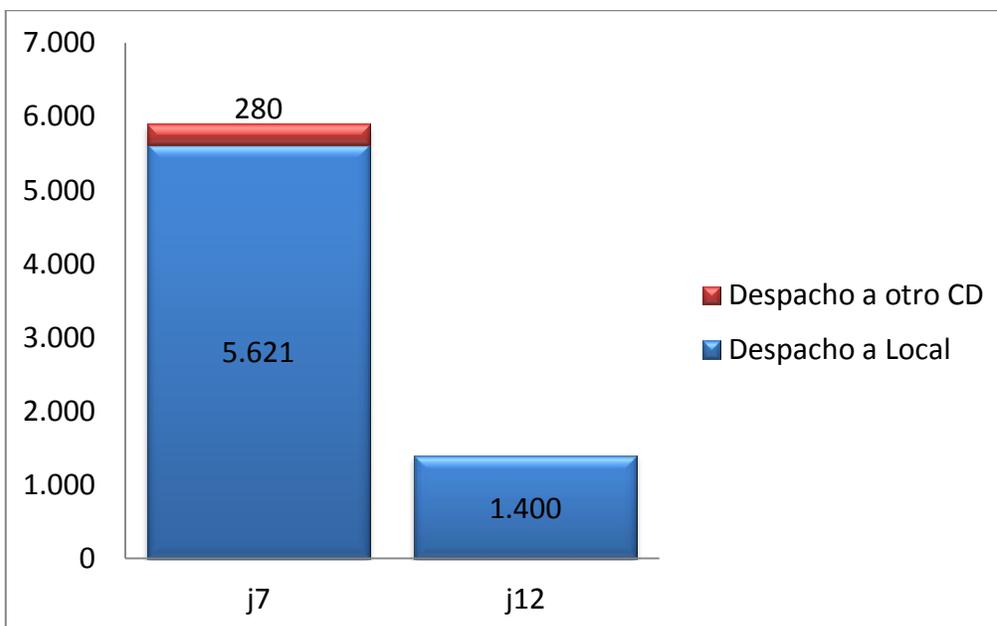
Escenario 6 Cds de "Seco-GM" 2 CDs "Frio"

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco-GM



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes*

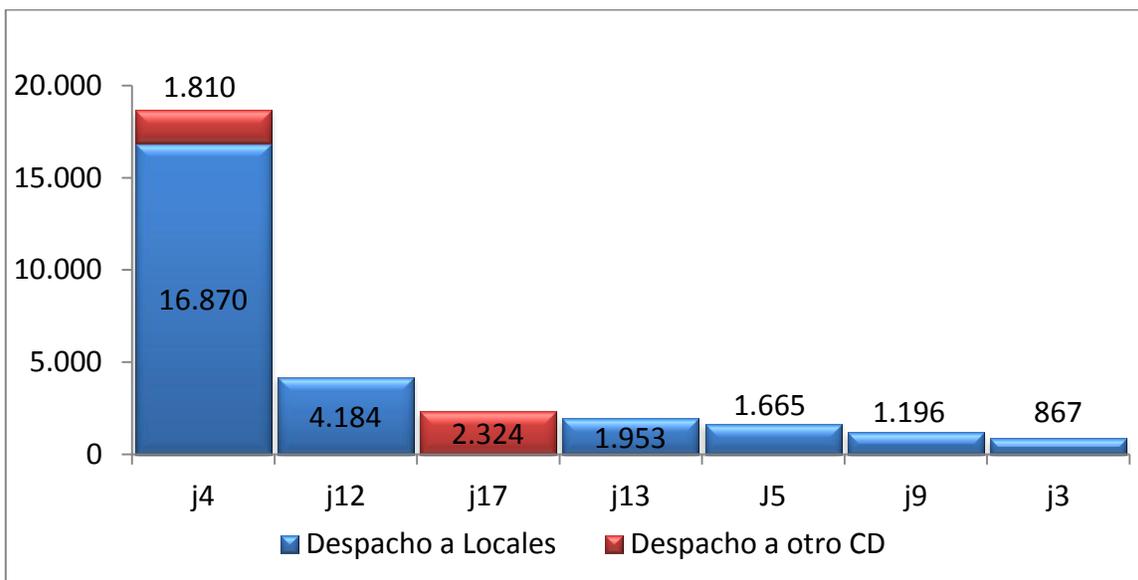
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes*

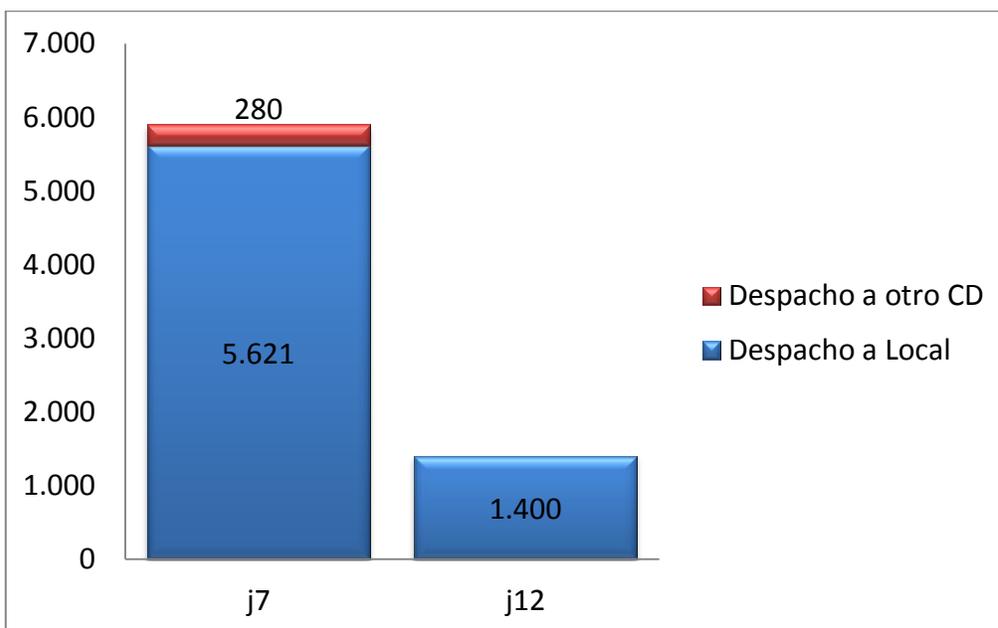
Escenario 7 Cds de “Seco-GM” 2 CDs “Frio”

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco-GM



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.*

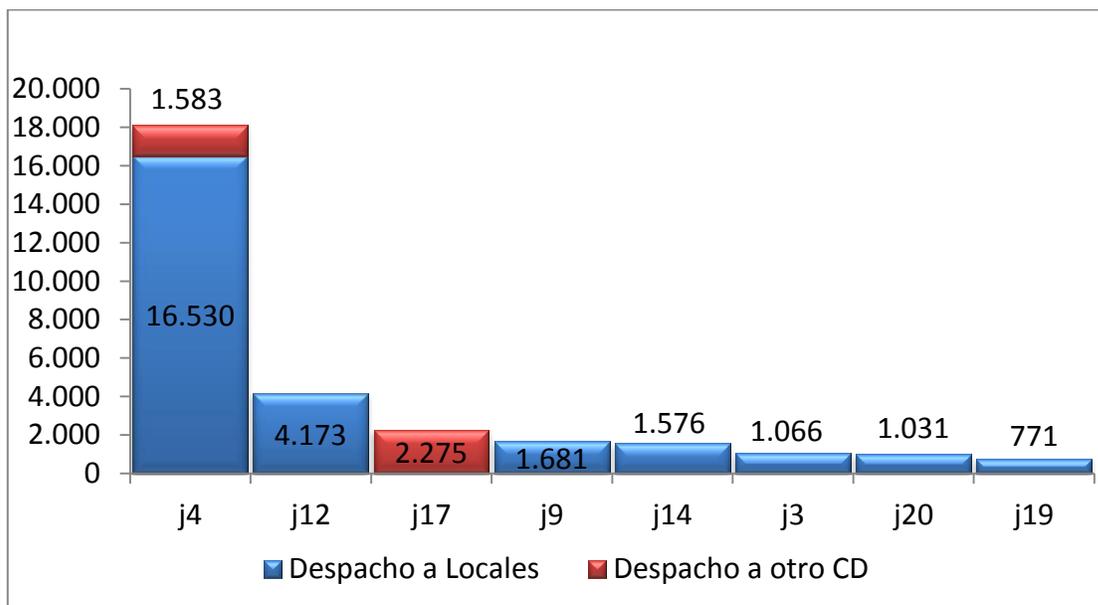
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.*

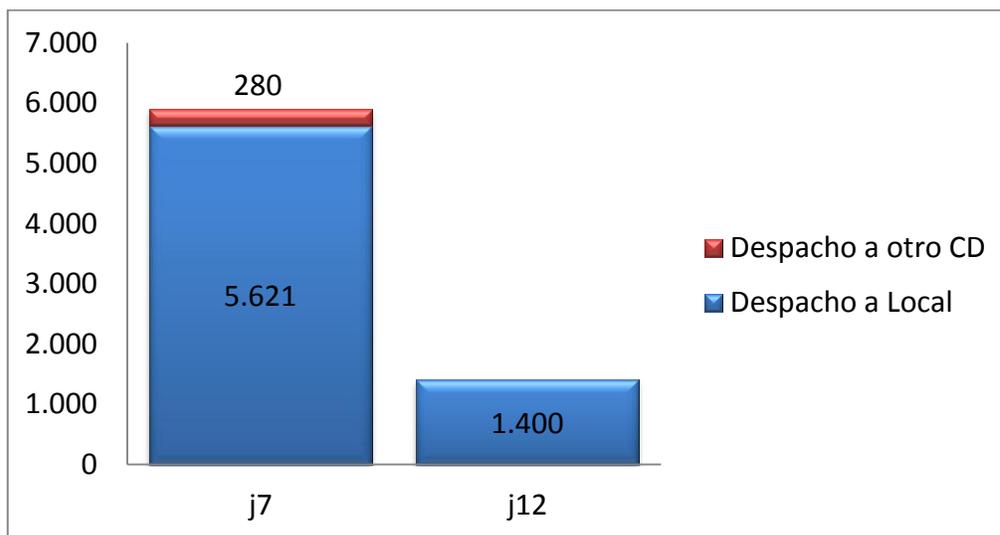
Escenario 8 Cds de “Seco-GM” 2 CDs “Frio”

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Sec –GM



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes

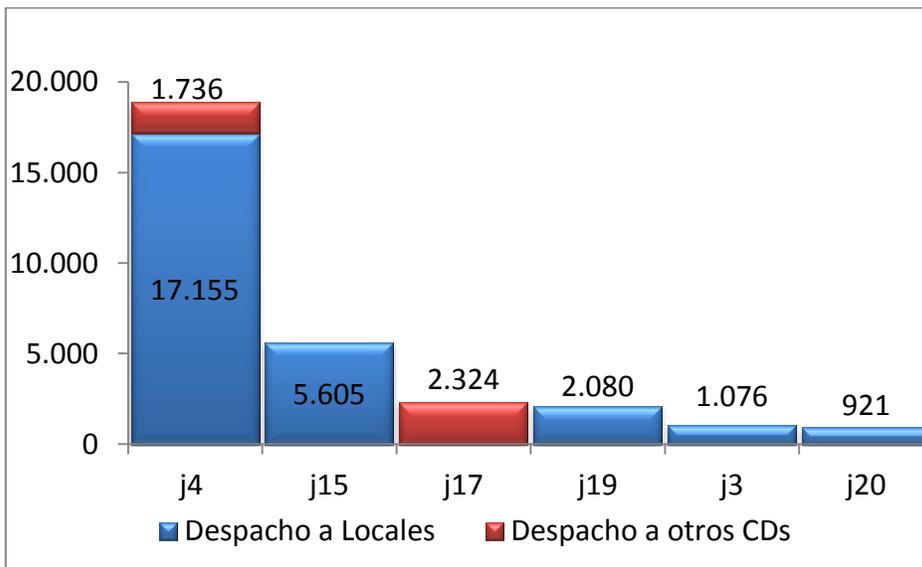
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes

Escenario 6 Cds de “Seco-GM” 1 CDs “Frio”

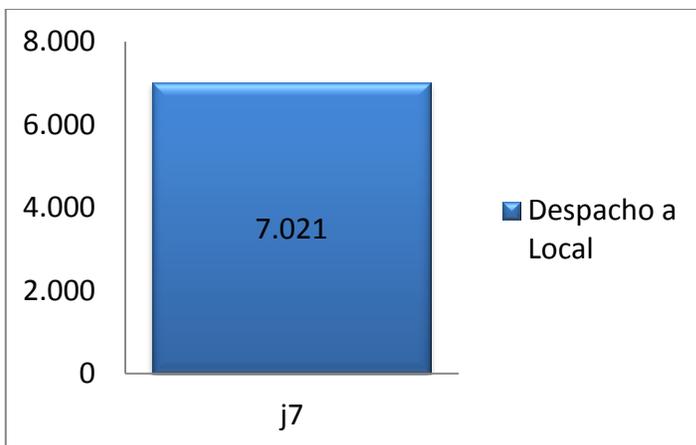
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco-GM



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de de información, manteniendo los ratios constantes

confidencialidad

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío

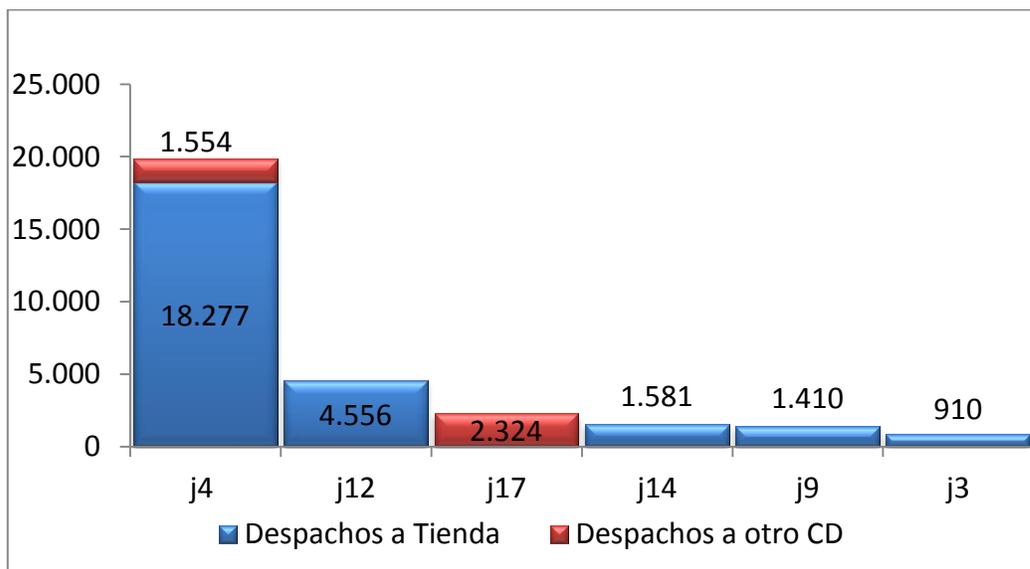


** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de de información, manteniendo los ratios constantes

confidencialidad

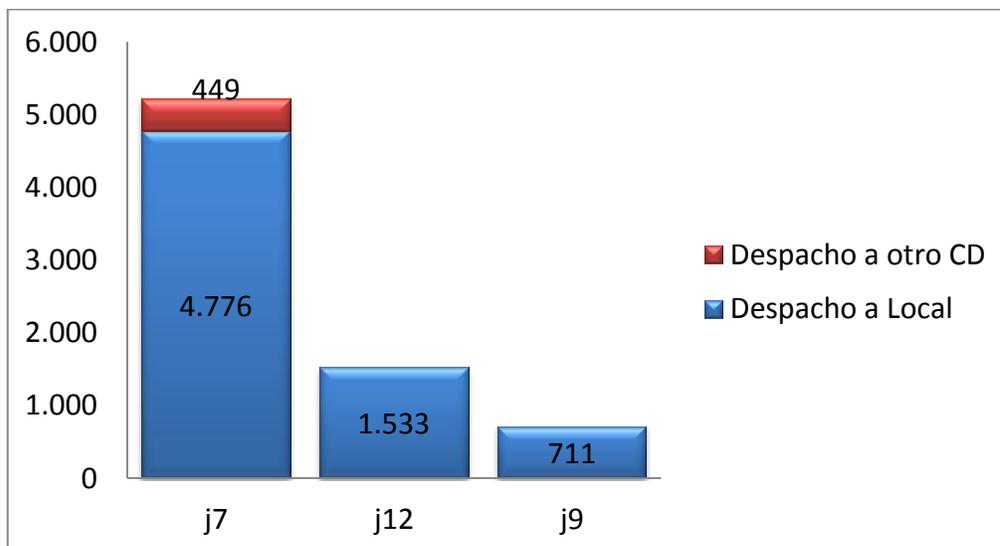
Escenario 6 Cds de “Seco-GM” 3 CDs “Frio”

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco- GM



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.

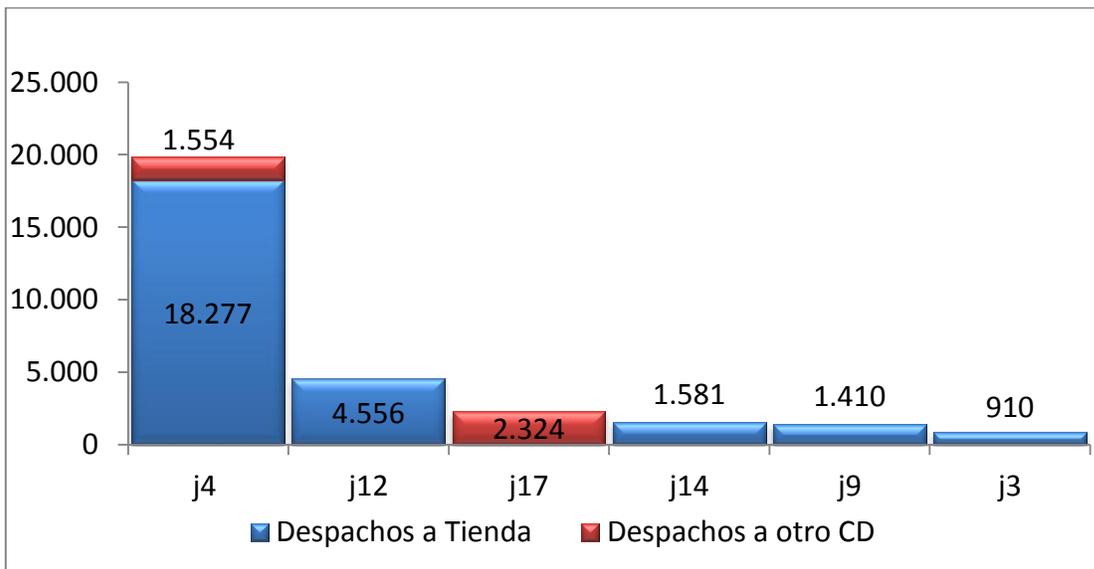
Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frio



** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.

Escenario 6 Cds de “Seco-GM” 4 CDs “Frio”

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Seco-GM



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes*

Ubicaciones y cajas despachadas óptimas para Frío



*** Los números han sido multiplicados por una constante k por efectos de confidencialidad de información, manteniendo los ratios constantes.*