



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y ORGANIZACIÓN  
EMPRESARIAL

**DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE TRANSPORTE Y  
CONSOLIDACIÓN DE MERCANCÍA**

Por:

Leonella Pilar Ritter Lista

**INFORME DE PASANTÍA**

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar  
Como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero de Producción

**Sartenejas, Julio de 2018**



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y ORGANIZACIÓN  
EMPRESARIAL

**DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE TRANSPORTE Y  
CONSOLIDACIÓN DE MERCANCÍA**

Por:

Leonella Pilar Ritter Lista

Realizado con la asesoría de:

Tutor Académico: Prof. Gerardo Febres

Tutor Industrial: Lic. Antonio Kasabdjji

INFORME DE PASANTÍA

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar

Como requisito parcial para optar al título de

Ingeniero de Producción

**Sartenejas, Julio de 2018**

# DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE TRANSPORTE Y CONSOLIDACIÓN DE MERCANCIA

Realizado por: Leonella Pilar Ritter Lista

## RESUMEN

Aktiva Brands es una casa de marcas que tiene como objetivo desarrollar productos para la vida activa, maneja marcas tanto a nivel nacional como internacional. Entre sus marcas principales están Ecology, dedicada a artículos de camping y aventura, y K6-K6-Fitness especializada en artículos que mejoran la salud y composición física. Es una empresa familiar del sector comercio que manufactura sus productos a través de terceros en China y luego los envía al almacén ubicado en Panamá, donde son distribuidos a los clientes. La empresa comenzó a incursionar en nuevos mercados a nivel internacional a partir del año 2011, por lo que las La ventas de sus productos, se extendió a Colombia, Centroamérica y el Caribe, lo que ha implicado un aumento significativo tanto en el personal de la compañía como en las operaciones. Además, la empresa se encuentra trabajando en el desarrollo de nuevas líneas de productos con la finalidad de captar nuevos mercados. La inclusión de nuevos productos en el portafolio de la empresa implica a su vez, un aumento en el número de proveedores. China, al ser un país clave en el comercio internacional, cuenta con una gran cantidad de fábricas distribuidas en diferentes provincias las cuales envían desde puertos diferentes.

El problema principal está relacionado con el transporte de la mercancía a los diferentes puertos involucrados y la consolidación de dicha mercancía en diferentes tipos de fletes. En la empresa no se maneja un modelo para la realización de estas operaciones que esté estructurado, y por lo que al enviar volúmenes de mercancía moderados, en desde diferentes puertos por separado, se incurre en altos costos asociados a las operaciones logísticas. Estos costos representan un porcentaje importante en el precio final del producto y pueden hacer la diferencia entre un precio que es competitivo en el mercado y otro que no lo es. El proyecto se estructuró en 5 cinco fases que definieron su metodología, y Se utilizó utilizaron herramientas de programación lineal para estimar el impacto en los costos de distribución desde los proveedores hasta los puertos, así como también las distintas opciones de fletes, tomando en cuenta considerando además los costos asociados y restricciones. Al finalizar el proyecto, se obtuvo un modelo de optimización de transporte y consolidación de mercancía que variando el volumen de mercancía enviado a cada puerto, y el tipo de flete que se contrata, puede disminuir los costos logísticos hasta un 8% con respecto a la situación actual. Sin embargo, este ahorro será proporcional al número de proveedores con el que se plantee la simulación.

**Palabras clave:** Modelo de optimización de transporte, gastos logísticos.

Formatted: Space After: 3 pt

Formatted: Space After: 0 pt

Formatted: Space Before: 0 pt

Formatted: Space After: 0 pt

Commented [GF1]: Quite todos los espacios entre párrafos y títulos para lograr que el salto de pagina al final de esta pagina no provoque una pagina en blanco. ... no me funcono.. intenta tu algo mas... el resumen debe quedar en una sola pagina..... Este resumen me gusta mucho... Excelente!!!!

|

**Formatted:** Justified, Space After: 0 pt, Line spacing: 1.5 lines

Formatted: Justified

*A mi mamá,  
Por ser mi mayor apoyo*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme vida, salud y una bella familia que siempre apoyó mis sueños.

A mi mamá, la persona más importante y el pilar de mi vida, por estar siempre para mí, brindándome su amor y comprensión. Por tantas veces que me brindó su ayuda cuando perdí el ánimo.

A mi papá, que a pesar de las difíciles circunstancias nunca ha dejado ni un segundo de brindarme su amor, creer en mí e impulsarme a perseguir mis sueños.

A mi hermano y a mi abuela, personas muy importantes en mi vida que han apoyado mis decisiones, siendo otro apoyo importante a lo largo de mi carrera.

A mi tía, que me cuida desde el cielo y guía mis pasos desde hace 8 años.

A la Universidad Simón Bolívar, por brindarme 6 años llenos de experiencias inolvidables, aprendizaje, excelentes profesores y muy buenos amigos. Siempre buscando mantener la excelencia a pesar de las difíciles circunstancias del país.

A Lolli, porque sin ella literalmente no hubiera sido posible terminar este proyecto, brindándome su ayuda incondicional a lo largo de toda mi carrera, convirtiéndose en una amiga para toda la vida.

A Maikely, la cual en los últimos años se ha convertido prácticamente en mi hermana, acompañante de innumerables noches de desvelo, dándonos ánimo para alcanzar nuestras metas y celebrando por cada logro obtenido.

A Sabrina y Daniella, mis amigas incondicionales del colegio que no dejaron ni un segundo de apoyarme, a pesar de la distancia y caminos diferentes por los que nos llevó la vida.

A Las Lollis, con las cuales compartí experiencias que recordaré el resto de mi vida y con las que saque el mejor provecho de mis primeros años universitarios.

A Grucheska, Mariana, Bruni, el gocho y Valería, personas valiosas con las cuales compartí momentos especiales a lo largo de mi carrera universitaria, especialmente en esta última etapa.

A mi equipo de trabajo en Aktiva Brands, de los cuales aprendí muchísimo y a los que les tengo mucho aprecio.

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE GENERAL .....	viii
INDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del Problema .....	1
Justificación .....	1
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
MARCO EMPRESARIAL.....	3
1.1 Descripción de la empresa.....	3
1.2 Historia de la empresa .....	3
1.3 Misión.....	4
1.4 Visión .....	4
1.5 Valores.....	4
1.6 Marcas .....	4
1.6.1 Ecology.....	4
1.6.2 K6 Fitness.....	5
MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Definiciones referentes a la Gestión de Compras.....	8
2.1.1 Proveedor.....	9
2.1.2 Trading Company.....	9
2.1.3 Cotización.....	9
2.1.4 Orden de Compra .....	10
2.1.5 Inventario.....	10

2.1.6 Inspección.....	10
2.1.7 Negociación.....	10
2.1.8 Sistema Operativo Odoo.....	11
2.2 Definiciones referentes a la Gestión de Operaciones .....	11
2.2.1 Operador logístico o “Freight Forwarder”.....	11
2.2.2 Solicitud de Reserva o “Booking” .....	12
2.2.3 Contenedor .....	12
2.2.4 Gastos de exportación.....	13
2.3 Información referente a China, sus negocios y exportaciones. ....	13
2.3.1 División Administrativa de China .....	13
2.3.2 Desarrollo económico en China .....	14
2.3.3 Puertos y exportaciones en China.....	15
2.4 Definiciones Referentes al método de estudio. ....	15
2.4.1 Modelos de Investigación de Operaciones .....	15
2.4.2 Fases de un Modelo de Investigación de Operaciones .....	16
2.4.3 Programación Lineal.....	17
2.4.4 Solución por Computadora: Excel Solver .....	17
2.4.5 Modelo de Transporte.....	17
2.4.6 Optimización .....	18
2.4.7 Indicadores de Gestión .....	18
2.4.8 Diagramas BPMN .....	19
MARCO METODOLÓGICO .....	20
3.1 Conocimiento de estructuras y prácticas de la organización.....	20
3.2 Levantamiento de Información.....	23
3.2.1 Entrevistas con el personal involucrado para conocer el estatus actual de consolidación y transporte de mercancía.....	23
3.2.2 Obtención de información de fábricas y puertos con los que se trabaja actualmente, modo de trabajo y ubicación geográfica.....	23

3.2.3 Obtención de datos de costos de transporte en las rutas involucradas a los diferentes puertos .....	23
3.2.4 Obtención de información referente a las operaciones logísticas en el puerto.....	24
3.2.5 Levantamiento de información de costos de productos.....	24
3.2.6 Levantamiento de requerimientos, beneficios y mejores prácticas .....	25
3.2.7 Levantamiento de Indicadores de Gestión .....	25
3.3 Análisis de Datos.....	25
3.3.1 Realización, análisis y validación de diagramas de flujo del proceso de transporte y consolidación de cargas .....	25
3.3.2. Análisis de alcance y factibilidad de los requerimientos y priorización de estos.....	26
3.3.3. Estructuración de puntos de partida y llegada junto con todas las rutas posibles .....	26
3.3.4. Definición de restricciones y costos del problema de programación lineal .....	26
3.4 Diseño del modelo de optimización .....	26
3.4.1 Definición de parámetros del modelo y función objetivo .....	26
3.4.2 Diseño de un modelo matemático de optimización mediante programación lineal.....	28
3.4.3 Análisis del modelo con incorporación de nueva ruta o proveedor. ....	28
3.4.4. Diseño de indicadores de gestión para el control del modelo. ....	28
3.4.5. Diseño de herramienta en la que será presentado el modelo. ....	28
3.5 Ejecución del modelo, prueba de aceptación y análisis de resultados.....	28
DESARROLLO, RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	30
4.1 Levantamiento de Información.....	30
4.2 Análisis de Datos.....	34
4.2.1 Realización, análisis y validación de diagramas de flujo del proceso de transporte y consolidación de cargas .....	34
4.2.2 Análisis de alcance y factibilidad de los requerimientos y priorización de estos.....	34
4.2.3 Estructuración de puntos de partida y llegada junto con todas las rutas posibles .....	37
4.2.4 Definiciones de restricciones y costos del problema.....	40
4.3 Diseño del modelo .....	42
4.3.1 Definición de parámetros del modelo y función objetivo. ....	43

4.3.2	Diseño de un modelo matemático de optimización mediante programación lineal.....	46
4.3.3	Análisis del modelo con incorporación de nueva ruta o nuevo proveedor.....	48
4.3.4	Diseño de indicadores de gestión para el control del modelo .....	49
4.3.5	Diseño de reportes y herramientas en la que será presentado. ....	51
4.3.6	Diseño de un plan de implementación.....	52
4.4	Ejecución del modelo, prueba de aceptación y análisis de resultados.....	52
4.4.1	Análisis de Resultados.....	53
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
	BIBLIOGRAFÍA .....	69
	Anexos .....	71
	Anexo A Diagrama de Flujo de procesos de transporte y consolidación de carga .....	71
	Anexo B Interfaz de la “Herramienta para Consolidación de Mercancía”.....	72

## INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Variables de transporte de mercancía .....	37
Tabla 4.2 Información de proveedores que trabajan con cada puerto .....	38
Tabla 4.3 Variables de Consolidación de Mercancía .....	39
Tabla 4.4 Costo logístico final presente en la interfaz de la herramienta .....	53
Tabla 4.5 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 1. ....	54
Tabla 4.6 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo LCL en la prueba de ejecución 1.....	54
Tabla 4.7 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo FCL en contenedores de 20 pies en la prueba de ejecución 1. ....	54
Tabla 4.8 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo FCL en contenedores de 40 pies en la prueba de ejecución 1 .....	55
Tabla 4.9 Cantidad de CBM asignadas desde cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 1.....	55
Tabla 4.10 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 1.....	58
Tabla 4.11 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 1.....	59
Tabla 4.12 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 2.....	60
Tabla 4.13 Cantidad de CBM asignadas desde cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 2.....	61
Tabla 4.14 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 2.....	61
Tabla 4.15 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 2.....	62
Tabla 4.16 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 3. ....	63
Tabla 4.17 Cantidad de CBM asignadas desde cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 3.....	64
Tabla 4.18 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 3.....	64
Tabla 4.19 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 3. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Logotipo de Aktiva Brands .....	4
Figura 1.2 Logotipo de la marca Ecology .....	5
Figura 1.3 Logotipo de la marca K6 Fitness .....	7
Figura 2.1 Interfaz de la pestaña “Proveedores” del módulo de Compras del Sistema Operativo Odoo .....	11
Figura 2.2 División administrativa de China .....	13
Figura 2.4. Regiones Económicas de China.....	14
Figura 2.5 Representación del modelo de transporte con nodos y arcos.....	18
Figura 3.1 Fases de la metodología del proyecto .....	20
Figura 3.2 Diagrama de actores involucrados en el proceso de compras.....	21
Figura 4.1 Localización de los proveedores en provincias y municipios.....	31
Figura 4.2 Distribución de los puertos seleccionados para el modelo.....	31
Figura 4.3 Distribución de puertos predeterminados de proveedores seleccionados.....	32
Figura 4.4 Distribución de puertos con los que trabajan los proveedores seleccionados.....	38
Figura 4.5 Complemento Solver de Excel .....	46
Figura 4.6 Ventana emergente de Solver “Agregar restricción” .....	47
Figura 4.7 Opciones del complemento Solver.....	47
Figura 4.8 Asignación de tipo de contenedor según cantidad de CBM a enviar.....	56
Figura 4.9 Asignación de combinaciones de contenedores según cantidad de CBM a enviar.....	57
Figura 4.10 Influencia de tipos de fletes en ahorro generado.....	66

## INTRODUCCIÓN

Aktiva Brands es una empresa comercializadora que se encuentra en pleno crecimiento, actualmente maneja alrededor de 300 SKU y se encuentra constantemente trabajando en el desarrollo de productos nuevos que complementen sus líneas de marcas actuales así como el lanzamiento de nuevas líneas, al igual que los productos el número de proveedores va en aumento y de la misma forma las operaciones logísticas con los mismos.

A medida que aumentan las operaciones se complican las redes de distribución y debe conseguirse la manera en la que toda la mercancía llegue a su destino sin que los costos referentes a las operaciones logísticas aumenten de forma que comience a afectar el negocio.

Por otro lado, las herramientas de programación lineal, pueden ser la clave para encontrar la solución a un problema de operaciones, de forma que minimiza los costos asociados a estas.

### **Planteamiento del Problema**

El principal problema en el que radica la empresa, está directamente relacionado al hecho de la ampliación en sus líneas de productos y desarrollo de nuevas líneas ya que esto implica trabajar con gran cantidad de proveedores, pero con volúmenes no tan altos de mercancía, esto implica que en muchas ocasiones se deba enviar la mercancía bajo la modalidad de carga suelta, la cual implica un costo mucho mayor por metro cúbico a enviar un contenedor completo. La consolidación de la mercancía puede suministrar una solución a este inconveniente. El extenso territorio de China y el gran comercio internacional presente en este país, inciden en que exista otro factor perjudicial, la existencia de gran cantidad de proveedores de diferentes categorías a lo largo de todo el territorio. Esto le ofrece variedad al comprador pero al mismo tiempo puede generar escenarios en el que las órdenes de compra sean finalizadas al mismo tiempo y las fábricas se encuentren a más de 400 Km de distancia entre sí, dificultando que sea posible la opción de consolidar.

### **Justificación**

Aktiva Brands se encuentra en constante crecimiento desde el año 2011. Sus operaciones y clientes en el ámbito internacional han aumentado significativamente desde entonces. Debido a esto la empresa ha querido atacar nuevos segmentos del mercado, el equipo trabaja arduamente en el desarrollo de nuevas líneas de productos así como también busca agregar productos nuevos a las líneas existentes. Esta ampliación en el portafolio implica trabajar con nuevos proveedores, ya que es posible que los proveedores existentes no ofrezcan un producto con las características deseadas y más aun si son de una línea de una nueva categoría de productos. Por otro lado, una mayor cantidad de proveedores implica una mayor cantidad de

operaciones. La empresa coordina sus operaciones con una empresa logística ,los costos relacionados a los fletes en general no son económicos e influyen en gran medida sobre el precio final de venta al público, si estos costos se logran minimizar un producto puede aumentar su carácter de competitividad en el mercado sin afectar los márgenes de ganancia de la compañía.

### **Objetivo general**

Diseñar un modelo de transporte y consolidación de mercancía que logre minimizar los costos logísticos de la empresa.

### **Objetivos específicos**

- Conocer los procedimientos y prácticas de la empresa comercializadora Aktiva Brands.
- Familiarizarse con las actividades y responsabilidades del Departamento de Compras y Operaciones.
- Levantar la información referente a los procesos actuales de transporte y consolidación
- Recopilar la información necesaria de proveedores, puertos, operadores logísticos y cualquier otro factor que incida en el problema
- Realizar un análisis de la información obtenida y diagnosticar fallas principales
- Diseñar un modelo de optimización de transporte y consolidación de mercancía
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas de ejecución del modelo y plantear posibles soluciones a inconvenientes con el mismo.

Este libro se desarrolla en cuatro capítulos, el primero presenta una descripción de la empresa donde se desempeña el proyecto, el segundo contiene el marco teórico utilizado, el tercero aplica la metodología realizada para alcanzar los objetivos planteados y el cuarto capítulo que incluye el desarrollo, los resultados obtenidos y el análisis de los mismos. Por último, se plantean las conclusiones y recomendaciones a la empresa a partir del proyecto realizado.

## **CAPITULO 1**

### **MARCO EMPRESARIAL**

En esta sección se realiza una breve descripción de AKTIVA BRANDS como organización en la que se incluyen su misión, visión, estructura, historia y objetivo. Así como también por tratarse de una casa de marcas se introducirán cada una de estas con sus respectivos productos.

#### **1.1 Descripción de la empresa**

Aktiva Brands es una casa de marcas cuyo objetivo es desarrollar productos para la vida activa, maneja varias marcas tanto a nivel nacional como internacional. Se dedica principalmente a comercializar artículos de camping y aventura, así como también productos deportivos y relacionados con el fitness. En estos dos sectores del mercado posee marcas consolidadas y se encuentra constantemente trabajando en el desarrollo de nuevos productos de estas áreas y otras. La empresa se encarga de manufacturar dichos productos en China, trasladarlos al almacén ubicado en la Zona Libre de Panamá, donde posteriormente son distribuidos a los diferentes clientes en Latinoamérica (Venezuela, Colombia, Centroamérica y el Caribe).

#### **1.2 Historia de la empresa**

Aktiva Brands comenzó como una empresa familiar del sector comercio con operaciones únicamente en Venezuela, manufacturando productos desde China a sus clientes en el país. Una vez que sus marcas se encontraban establecidas a nivel nacional decidieron en el año 2011, comenzar a incursionar en nuevos mercados a nivel internacional. Por consiguiente la empresa ha crecido significativamente los últimos 7 años. El personal en Venezuela ha incrementado considerablemente así como también en el exterior. Actualmente, la empresa cuenta con representantes en Panamá, Colombia, El Salvador, Guatemala y China, con un aproximado de 60 empleados.

En el año 2017 los ingresos netos de la empresa fueron alrededor de \$1.000.000, con pronósticos optimistas debido al lanzamiento de nuevas marcas e incursión en el mercado colombiano.



Figura 1.1 Logotipo de Aktiva Brands. [Fuente: aktbrands.com]

### 1.3 Misión

“Ser la empresa comercializadora por excelencia, con marcas reconocidas en su categoría”

### 1.4 Visión

“Ser la comercializadora líder de productos para la vida activa, tanto en Venezuela como en los mercados de América Latina. Orientados al mercado con una presencia predominante en el punto de venta y un completo portafolio de productos y marcas de reconocida calidad”

### 1.5 Valores

- Compromiso
- Desempeño
- Trabajo en Equipo
- Integridad
- Excelencia en el servicio
- Emprendimiento
- Pasión

### 1.6 Marcas

#### 1.6.1 Ecology

La marca Ecology se creó hace más de trece años especializada en productos de campamento, asegurando una experiencia sustentable y segura atacando el segmento de mercado viajero, amante de viajar y explorar tanto en experiencias en playa como en montaña. La idea se originó al potencial de mercado existente en el país y la poca competencia en este tipo de productos. La marca se compone de las siguientes categorías:

- Carpas: Integrada por tiendas de campaña de diferentes tamaños, modelos y con diferentes tecnologías, entre ellas la “Blackout” que impide el paso de luz al interior de la tienda.
- Sleeping Solutions: Categoría constituida por bolsas de dormir, hamacas, camas plegables y colchones inflables.

- Sillas y Mesas: Conformada por una variedad de sillas y mesas tanto para playa como para montaña.
- Protección Solar: Línea de toldos y sombrillas de diferentes tamaños con protección UV.
- Cavas Vasos: Conformada por vasos térmicos en diferentes tamaños y modelos, que mantienen la temperatura de las bebidas.
- Cavas Blandas y Bolsos de Playa: integrada por bolsos de playa y bolsos cava o “soft coolers” que mantienen estabilidad térmica del contenido.
- Morrales de excursión: Morrales resistentes especializados para actividades al aire libre.
- Piscinas y otros inflables: Línea de artículos para actividades acuáticas, piscinas, snorkel, botes y kayaks.



Figura 1.2 Logotipo de la marca Ecology [Fuente: tuecology.com]

### 1.6.2 K6 Fitness

Las siglas de la marca K6, conceptualizan el objetivo de esta marca, la K hace referencia a “Kinestesia”, rama de la ciencia que estudia el movimiento humano y el 6, por su parte se refiere a “6 elementos”, los cuales son los siguientes:

- Agilidad y Velocidad
- Construcción Muscular
- Salud física y Recuperación
- Resistencia Cardiovascular
- Flexibilidad y Balance
- Composición Física

Esta marca proporciona la experiencia de trabajar con equipos especializados en las 6 áreas mencionadas anteriormente, las cuales se entrelazan para lograr un excelente estado físico. La marca tiene como principal objetivo “incrementar la resistencia física contribuyendo de manera eficiente, efectiva y placentera a las demandas de actividades diarias”(K6, 2018). Siguiendo esta idea K6 busca especializarse en el diseño y comercialización que hacen del

hogar, la oficina o cualquier otro ambiente en un espacio personalizado de entrenamiento. Además busca ofrecer productos de alto rendimiento, cumpliendo con las exigencias de calidad y estándares de seguridad, tomando en cuenta las tendencias del mercado.

La marca se compone de las siguientes categorías:

- Medical +: Esta categoría se conforma de productos médicos como muñequeras, rodilleras, coderas con y sin soporte, mangas y medias de compresión y tapes kinesiológicos.
- Máquinas cardiovasculares: Línea de productos que tienen como finalidad aumentar la resistencia cardiovascular, existen una gran cantidad de productos en esta categoría que se dividen principalmente en caminadoras, bicicletas estáticas y elípticas.
- Máquinas Musculares: Constituida por equipos de alto rendimiento cuya finalidad es la construcción muscular. Estos equipos son principalmente bancos de pesas, multifuerzas y ejercitadores de abdominales.
- Accesorios Cardio: Línea de artículos deportivos que complementan las actividades cardiovasculares como cuerdas de saltar, bases aeróbicas, bandas portacelulares, entre otros. Esta categoría se caracteriza por ser bastante amplia en cuanto al número de SKU y por añadir productos nuevos a la misma constantemente.
- Accesorios Tonificación: Categoría integrada por artículos que complementan los ejercicios destinados a mejorar composición física, recuperación y construcción muscular. Entre estos productos se encuentran las almohadillas para abdominales, bandas para TRX, ligas de resistencia, discos de equilibrio, aros de pilates, entre otros. Al igual que las otras categorías dentro de accesorios se caracteriza por una gran cantidad de SKU.
- Accesorios Medicinales: Se conforma de artículos que complementen los ejercicios de recuperación para lesiones. Entre estos productos se pueden encontrar balones medicinales, bandas elásticas para yoga.
- Bolsos de Gimnasio: Constituida por maletines deportivos de diferentes tamaños y modelos.
- Guantes y Guantines para Pesas: Comprende variedad de modelos de guantes diferenciados según su género, diseño, material y funcionalidad.
- Cinturones: Al igual que la categoría anterior, estos productos son complemento para mejorar el desempeño de la actividad muscular.
- Barras y Discos: Constituida principalmente por artículos de hierro que contribuyen a los ejercicios de construcción muscular, entre estos artículos se pueden encontrar

mancuernas, pesas rusas, así como barras y discos de pesas en diferentes tamaños y pesos.

- Flexibilidad: Esta categoría comprende artículos que complementan las actividades físicas relacionadas con la flexibilidad como el yoga.
- Reducción de Peso: Esta categoría está constituida básicamente por accesorios que intensifican el ejercicio trabajando en la disminución de peso en agua por medio de la sudoración.



Figura 1.3 Logotipo de la marca K6 Fitness [Fuente: k6fitness.com]

Actualmente se encuentran en desarrollo nuevas marcas, así como también se trabaja constantemente en la creación de nuevas categorías y ampliación del portafolio de productos en las marcas ya existentes.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explican los fundamentos teóricos que fueron utilizados para el desarrollo de este proyecto, los cuales ayudan a una mejor comprensión del mismo.

#### **2.1 Definiciones referentes a la Gestión de Compras.**

Para definir a que nos referimos con compras en este trabajo y cuáles son los términos normalmente utilizados por todos los actores involucrados en este proceso para que se lleve a cabo exitosamente, debemos empezar por la palabra “comercio” ya que esta es la actividad principal que está directamente relacionada con las compras.

El comercio consiste en intercambiar bienes y servicios entre varias partes para obtener a cambio bienes y servicios diferentes de un valor equivalente (el caso del trueque en la antigüedad) o a cambio de dinero, la cual es la herramienta de cambio por excelencia. El comercio existe en distintas regiones por el hecho de que en algunas zonas existen ventajas comparativas sobre un producto. Debido a esto existe la necesidad de realizar el análisis respectivo [1]. La Gestión o Administración de Compras comprende las siguientes actividades:

- Selección y Localización de Proveedores.
- Adquisición de Productos (materias primas, componentes o productos terminados).
- Negociaciones sobre Precio y Condiciones de Pago.
- Seguimiento del Proceso y Garantía del Cumplimiento de las Condiciones Acordadas.
- Control y Reabastecimiento de Inventario.

Ninguna de estas funciones es autónoma, cada una se encuentra interrelacionada con la otra. Por lo tanto, el Departamento de Compras tiene repercusiones directas en la obtención de utilidades debido a que el costo del producto repercute de forma directa en el precio final. [2]

A continuación, definimos algunos de los conceptos utilizados comúnmente en el Departamento de Compras y por consiguiente en el desarrollo de este proyecto.

### **2.1.1 Proveedor**

Un proveedor es toda aquella persona u organización que proporciona un producto. Estos proveedores deben estar registrados para un mejor manejo según la norma ISO 9001:2008 “La organización debe establecer un procedimiento documentado para definir los controles necesarios para la identificación, el almacenamiento, la protección, la retención y la disposición de los registros” El registro de los proveedores debe ser de carácter accesible y debe ser actualizado con regularidad.

Por otro lado, es importante ser cuidadoso en la selección de proveedores ya que de esta dependerá que se respondan las exigencias de las empresas respecto a los productos o servicios adquiridos, tomando en cuenta los parámetros de calidad y las condiciones establecidas. [3]

Por lo general, los proveedores se seleccionan después de haber realizado una o varias visitas a China, para así afianzar la relación con los mismos. Existen otros medios de búsqueda de proveedores, que utilizan los recursos en línea, el más famoso de estos es la página web Alibaba. [4]

La empresa trabaja con dos tipos de proveedores, de forma directa con la fábrica o a través de un “ Trading Company” o intermediario.

### **2.1.2 Trading Company**

Son compañías cuya función es localizar proveedores de productos con los que firma contratos de suministro que venden por medio de su red comercial en su país u otros países.

También se conocen como trading companies a los agentes comerciales o intermediarios que facilitan la venta de los productos poniendo en contacto al vendedor y al comprador y cobran una comisión que normalmente se encuentra en el rango de 5% y 10% por producto vendido.[5]

### **2.1.3 Cotización**

Se conoce como el establecimiento de la cantidad a pagar, así como la forma y el plazo de pago por la adquisición de un bien o servicio, es la valorización que los proveedores le dan a los artículos que ofrecen, representada en dinero. Normalmente se solicitan 3 cotizaciones por producto. [2]

#### **2.1.4 Orden de Compra**

Es un documento en el cual se conviene la cantidad y calidad requerida a entregar por parte del proveedor al solicitante. Existen diferentes formatos de órdenes de compra, pero coinciden con un objetivo único que es hacer la solicitud de algún bien o servicio.[2]

Las órdenes de compra contienen, entre otros datos los siguientes: Número de referencia, fecha, proveedor asignado, condiciones de pago, cantidad, unidad, descripción del producto e importe total.

#### **2.1.5 Inventario**

Inventario es la acumulación de cualquier artículo o producto que haya sido comprado o usado por la organización. Entre sus posibles funciones están: Separar a la empresa de las fluctuaciones de la demanda y proporcionar un inventario de bienes que pueda ofrecer variedad a los clientes de la compañía, tomar ventaja de los descuentos por grandes cantidades y protegerse contra la inflación y el aumento de precios. [4]

El Departamento de Compras utiliza un sistema de inventario para determinar los niveles que deben mantenerse, la fecha de reabastecimiento y el tamaño de los pedidos a realizar.

#### **2.1.6 Inspección**

Es el medio utilizado para asegurarse de que una operación está produciendo en el nivel de calidad esperado. El administrador de compras y operaciones debe construir sistemas de control para verificar que los procesos se desempeñen de acuerdo con el estándar. Dicha inspección se lleva a cabo realizándole diversas evaluaciones al producto, para determinar errores en el proceso. Al final de la misma se debe entregar un reporte, en el que se evidencien los resultados.

Para verificar la calidad de un producto, además de realizar inspecciones también se solicitan muestras del producto tanto de pre-producción y post-producción al proveedor.

#### **2.1.7 Negociación**

Para que se alcance el producto con los estándares de calidad deseados y a un precio razonable es necesario pasar por una etapa de negociación con el proveedor, la cual este orientada a generar beneficios para ambas partes.

### 2.1.8 Sistema Operativo Odoo

Odoo es uno de los software de gestión empresarial más usados alrededor del mundo. Es un sistema de planificación de recursos empresariales integrado de código abierto, el cual ayuda a la integración de los sistemas y la optimización de las operaciones.[6]

El Departamento de Compras hace uso específico del módulo de Compras y en ocasiones los módulos de Contabilidad y Almacén. El módulo de Compras, además de brindar las herramientas para agilizar algunos procesos contiene la siguiente información:

- Órdenes de Compra y Solicitudes de Presupuesto
- Productos con sus especificaciones
- Proveedores

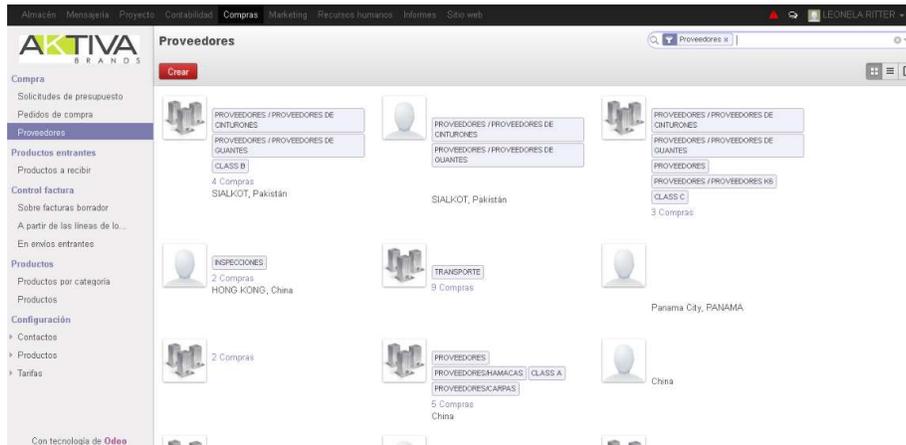


Figura 2.1 Interfaz de la pestaña “Proveedores” del módulo de Compras del Sistema Operativo Odoo

## 2.2 Definiciones referentes a la Gestión de Operaciones

### 2.2.1 Operador logístico o “Freight Forwarder”

Este operador, también conocido como Agente de Carga (FF), tiene como función prestar sus servicios expertos a los importadores y exportadores, las empresas utilizan este servicio gracias a la complejidad de las cadenas de transporte y dichos agentes tienen un amplio conocimiento de éstas, incluyendo las reglas y regulaciones en el país de origen y los países destino, los métodos de envío y los documentos relacionados con el comercio exterior. [7]

### 2.2.2 Solicitud de Reserva o “Booking”

Se conoce con este nombre a la etapa de la reserva en la que el agente de aduanas coordina con la naviera y envía al Departamento de Compras y Operaciones un cronograma con fechas de fletes disponibles al destino solicitado. Después de haber coordinado que la producción de la mercancía haya finalizado y la disponibilidad del proveedor se puede proceder a determinar esta fecha. Para planificar dicho “Booking” se debe determinar primero bajo que términos se hizo la cotización del proveedor, FOB ó CIF.

Términos de Comercio Internacional (Incoterms)

- FOB: Free On Board (Franco a bordo en el puerto convenido), significa que la mercancía es enviada a bordo del barco con todos los gastos, riesgos y derechos a cargo del vendedor hasta que la misma haya pasado la borda del barco y solo se excluye el flete. Bajo estos términos el vendedor es el encargado de realizar el despacho de la mercancía a exportar.
- CIF: Cost, Insurance and Freight (Costo, seguro y flete), significa que están incluidos los costos de puesta a bordo, flete y seguro para la mercancía. El vendedor está en la obligación de contratar estos servicios. [8]

### 2.2.3 Contenedor

Un contenedor es un equipo de transporte de capacidad interior no menor a un metro cúbico, el cual se usa repetidamente para transportar carga. Es de manejo sencillo y fácil llenado y vaciado. Los tamaños más comunes son 40, 30, 20 y 10 pies los cuales tienen una capacidad de 30, 25, 20 y 10 toneladas respectivamente.

Tipos de Contenedores de acuerdo a la composición de la carga:

FCL (Full Container Load): Es un contenedor completo, se usa cuando la carga completa la capacidad de un contenedor.

LCL (Less than Container Load): También se conoce como contenedor de grupaje y se completa su capacidad por medio de cargas parciales agrupadas de distintos remitentes para completar la capacidad de un contenedor.[9]

Antes de comenzar el proceso de negociación se debe conocer la cultura y la idiosincrasia del país, así como también el estatus y la condición del proveedor con el que se va a negociar, ya que esto brindará agilidad y practicidad al proceso. [10]

## 2.2.4 Gastos de exportación

Un gasto se refiere a “todo pago que se realiza como contrapartida de un servicio que se brinda”. [11] Por otra parte, el precio de exportación comprende un precio de venta que permite recuperar los costos vinculados a la exportación, obteniendo una utilidad razonable. Estos gastos pueden ser directos o indirectos y la diferencia entre ellos se refiere a si están dados por un valor determinado o por un porcentaje sobre el valor FOB de la mercancía.

Entre los gastos de exportación directos se encuentran: la obtención de la documentación, el embalaje, almacenaje, transporte interno, gastos aduaneros, entre otros. Los gastos de exportación indirectos pueden ser los gastos bancarios y la comisión del agente.

## 2.3 Información referente a China, sus negocios y exportaciones.

### 2.3.1 División Administrativa de China

De acuerdo a la Constitución de China, su división administrativa se articula en tres niveles:

- Provincial: Provincias, regiones autónomas y municipios bajo jurisdicción central.
- Distrital: Prefecturas autónomas, distritos, distritos autónomos y ciudades
- Cantonal: Cantones, cantones de minorías étnicas y ciudades.

La división administrativa de China consiste en 4 municipios bajo jurisdicción central, 23 provincias, 5 regiones autónomas y 2 regiones administrativas especiales.

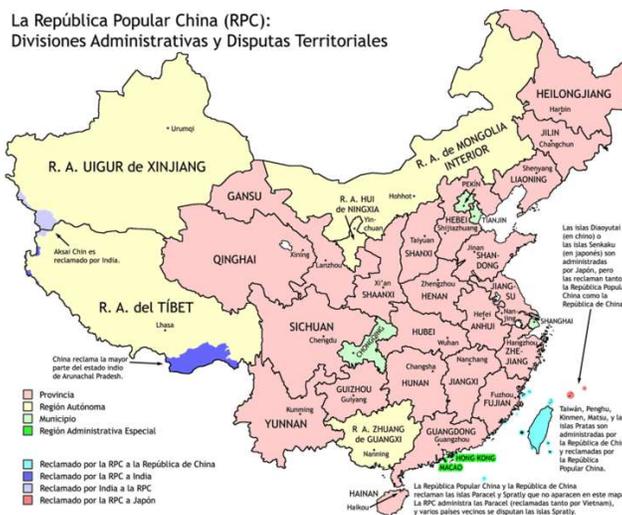


Figura 2.2 División administrativa de China [Fuente: es.wikipedia.org: Organización Territorial de la República Popular China]

### 2.3.2 Desarrollo económico en China

China es un país que ocupa un territorio muy grande, con una superficie de 9.596.961 kilómetros cuadrados, además de ser el primer exportador del mundo. El PIB de China constituyó un 9,5% del total mundial en 2010, ubicándose en el segundo lugar después de Estados Unidos. [12]

La economía de este país es de mercado y hay un predominio notable de algunas áreas sobre otras en cuanto a su influencia y desarrollo económico. Las principales áreas geográfica-económicas son:

- El golfo de Bohai, con el eje Beijing- Tianjin y su área de influencia económica (Liaoning, Shandong, Hebei,...).
- El delta del río de Yangtsé, con centro en Shanghai y su área de influencia económica (Jiangsu, Zhejiang).
- El Delta del río de la Perla con la provincia de Guandong como eje principal y su área de influencia económica (Shenzen, Zhuhai, zonas económicas especiales de Guangzhou). [13]

En la figura 2.4 se muestran las zonas mencionadas anteriormente, ubicadas en el mapa de la República de China. Incluyendo también la zona norte y la zona sur.

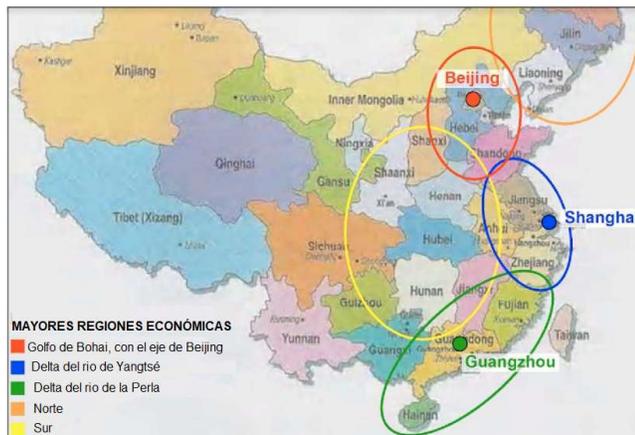


Figura 2.4. Regiones Económicas de China Fuente: [areapyme.cl: Donde hacer negocios en China]

### 2.3.3 Puertos y exportaciones en China

Los cuatro puertos más grandes del territorio chino son a su vez los cuatro puertos más grandes del mundo. El transporte de contenedores es el responsable del 90% del comercio mundial, por lo que la influencia que tiene este país sobre las operaciones de transporte marítimo y el comercio mundial es masiva. Por estas razones es importante conocer los puntos de entrada y salida de la mercancía: Los puertos.

- Puerto de Shanghai: Es el mayor puerto de China y el mundo. Posee la mayor terminal de contenedores automatizada del mundo, en las aguas profundas de Yangshan junto con una ubicación privilegiada debido a su cercanía a los centros industriales de las provincias de Zhejiang y Jiangsu.
- Puerto de Shenzhen: Ubicado en la provincia de Guandong, conecta al sur del territorio chino con el resto del mundo. Es conocido por estar en un entorno de alta tecnología, gracias a la cantidad de fábricas de este tipo de productos que se encuentran Guandong.
- Puerto de Ningbo-Zhoushan: Se encuentra localizado en la provincia de Zhejiang y es atractivo a proveedores ya que cuenta con líneas de transporte marítimo-ferroviario combinado con las que ofrece servicios de tren a 36 ciudades de China.
- Puerto de Hong Kong: Era el principal puerto de China en el año 2004 pero debido a que se impulsaron los servicios de los puertos de Shenzhen y Shanghai, los proveedores y clientes optan por dirigirse a China directamente sin pasar por la isla de Hong Kong.

Entre otros puertos de gran importancia se encuentran: Guangzhou, Qingdao, Tianjin, Dalian, Xiamen y Yingkou. Hay otros puertos menores que no entran en esta lista pero no por eso dejan de ser relevantes para este proyecto. [14]

## 2.4 Definiciones Referentes al método de estudio.

### 2.4.1 Modelos de Investigación de Operaciones

Un modelo de investigación de operaciones, debe responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las alternativas de decisión?
- ¿De acuerdo a qué restricciones se está tomando esta decisión?
- ¿Cuál es el criterio objetivo indicado para evaluar las alternativas?

Estas preguntas conforman los componentes principales de un modelo de investigación de operaciones: alternativas, criterio objetivo y restricciones.

Ahora bien, una solución será factible si logra satisfacer todas las restricciones y será óptima si además de ser factible produce el mejor valor, ya sea máximo o mínimo, de la función objetivo. La calidad de la solución del modelo de investigación de operaciones dependerá de la exactitud con la que el modelo represente al sistema real. Si se omite alguna de las alternativas del modelo, su solución pasaría a ser óptima únicamente en relación a las opciones que sí fueron representadas en el modelo. Esta solución podría calificarse como subóptima.

La solución de los modelos de investigación de operaciones se puede obtener de diversas maneras, la técnica a utilizar dependerá del tipo y complejidad del modelo matemático, algunas de estas son:

- Programación Lineal
- Programación Entera
- Programación Dinámica
- Programación de Red
- Programación No Lineal

Estas técnicas hacen uso de algoritmos para llegar a la solución, los cuales proporcionan reglas fijas de cálculo que se aplican en forma repetitiva al problema y cada iteración acerca al problema a obtener la solución óptima.

Es importante resaltar, que un modelo matemático se puede volver tan complejo que sea imposible llegar a una solución utilizando los algoritmos de optimización disponibles.[15]

#### **2.4.2 Fases de un Modelo de Investigación de Operaciones**

- Descripción del Problema: En esta fase se define el alcance del problema en cuestión. Se debe estar en capacidad de poder describir las alternativas de decisión, determinar el objetivo de estudio y especificar cuáles son las limitaciones que posee el sistema modelado.
- Construcción del Modelo: En esta etapa se traduce la información obtenida en la fase anterior en lenguaje matemático. Si el modelo es demasiado complejo como para aplicar un algoritmo de programación lineal para su resolución, se opta por simplificar el problema o utilizar un método heurístico.
- Solución del Modelo: En esta fase se usan algoritmos pre-definidos. Cuando no se puede estimar con precisión algunos parámetros del modelo, es necesario incluir en esta etapa un

análisis de sensibilidad en el que se estudie el comportamiento de la solución al realizar ciertos cambios en el modelo.

- Validez del Modelo: En esta fase se comprueba si el modelo está funcionando de manera correcta y predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia, es decir, se observa si la solución tiene sentido. Es válido utilizar la simulación como una herramienta para comprobar el resultado obtenido.
- Implementación de la Solución: Esta etapa se resume en la transformación de la solución en instrucciones de operación que se comunicarán a todos los actores involucrados en el proceso de administrar dicho sistema. [15]

### **2.4.3 Programación Lineal**

Es una técnica de modelización matemática. Se puede clasificar como un caso particular de la programación diferenciable con restricciones de desigualdad, cuando todas las variables que tienen lugar en ésta son de carácter lineal.[16]

### **2.4.4 Solución por Computadora: Excel Solver**

Los modelos de Programación Lineal pueden implicar muchas restricciones y variables, así que en algunos casos el único método viable para encontrar una solución es haciendo uso de la computadora. Aunque en este proyecto Solver se utilizará para la resolución de un problema lineal, también se puede utilizar para la resolución de modelos enteros y no lineales.[15]

En Excel Solver, el medio de entrada y salida será la hoja de cálculo. Este programa se utiliza para hallar un valor óptimo para una fórmula en una celda, llamada celda objetivo. Dicha celda está sujeta a restricciones en los valores de otras celdas en la hoja de cálculo.

Solver ejecuta la acción de ajustar los valores de las celdas de variables de decisión de forma que puedan cumplir con los las celdas de restricción y se obtenga la solución deseada.[17]

### **2.4.5 Modelo de Transporte**

Un modelo de transporte es un problema de optimización que se trata de una red que consta de m orígenes y n destinos, todos representados por nodos. Por otro lado, las rutas son representadas por medio de arcos o líneas, estas son las encargadas de unir los orígenes con los destinos. El objetivo principal de los modelos de transporte es minimizar el costo de transporte satisfaciendo las restricciones de oferta y demanda. En la figura 2.5 se puede ver

ejemplificado una red de transporte, las variables ahí mencionadas se definen a continuación.[15]

$C_{ij}$  = Costo de transporte por unidad desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$

$X_{ij}$  = Cantidad transportada desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$

$a_i$  = Oferta en el origen  $i$

$b_j$  = Demanda en el destino  $j$

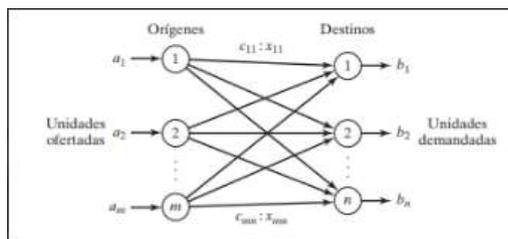


Figura 2.5 Representación del modelo de transporte con nodos y arcos [Fuente Taha: Investigación de Operaciones]

#### 2.4.6 Optimización

La optimización está directamente relacionada con la determinación del “mejor resultado” ó la solución óptima de un problema. Los ingenieros se encuentran limitados por las restricciones de la física y se encuentran constantemente en la búsqueda de obtener los menores costos. Con la ayuda de los problemas de optimización estos serán capaces de equilibrar el funcionamiento y las limitaciones[18]

#### 2.4.7 Indicadores de Gestión

Para que un proceso logístico se lleve a cabo con éxito, se necesita un sistema de medición de las diferentes etapas de dicho proceso. Por esta razón se seleccionan diferentes indicadores y se implementan para medir la gestión de cada proceso. Se busca establecer estos indicadores de forma que reflejen un resultado óptimo en el mediano y largo plazo. Lo que puede ser medido puede ser controlado y por ende lo que no es medido no es administrado de forma adecuada.

Para implementar dichos indicadores, solo se deben tomar en cuenta aquellas actividades o procesos relevantes al objetivo logístico de la compañía.[19]

Otra herramienta importante que será utilizada en la etapa de análisis son los diagramas de flujos de procesos, por lo que es necesario tener conocimiento previo de la notación adecuada para estos.

#### **2.4.8 Diagramas BPMN**

Las siglas BPMN significan Modelo y Notación de Procesos de Negocio [20], estos diagramas capturan la secuencia de actividades de un negocio y su información de soporte. Por lo general los diagramas BPMN se utilizan generalmente para reflejar los niveles más bajos del proceso desglosado, identificar el responsable de las actividades, definir a los gerentes involucrados en el proceso y reflejar el punto en el que el proceso interactúa con los clientes y proveedores.

Estos diagramas utilizan la notación BPMN estándar que permite agregar los detalles necesarios para generar un código dentro de un sistema de Gerencia de Procesos.

Los objetos de flujo principales son los siguientes:

- Eventos, los cuales son representados por un círculo (Inicio o fin de un proceso)
- Actividades, las cuales se representan con un rectángulo redondeado
- Compuertas, representadas por un diamante
- Objetos conectores, si es una flecha representa secuencia y si es una flecha punteada representa mensaje
- Canales, utilizados para representar las diferentes capacidades funcionales o responsabilidades
- Bases u objetos de datos, representados por un cilindro.

## CAPITULO 3

### MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo describe la metodología utilizada en la realización de este proyecto para cumplir con los objetivos planteados. Además es el sustento de los resultados y conclusiones que se discutirán más adelante.

Con la finalidad de cumplir el objetivo de diseñar el modelo que optimice el proceso de transporte y consolidación de mercancía se siguieron cinco fases, las cuales están presentes en la figura 3.1.



Figura 3.1 Fases de la metodología del proyecto.

#### 3.1 Conocimiento de estructuras y prácticas de la organización

Antes de empezar con la realización del proyecto es importante estar al tanto de cuáles son los procesos actuales y modo de trabajo de la organización, considerando que la jerarquización varía dependiendo de la empresa, así como la distribución de responsabilidades de cada departamento.

En esta fase se aprendió acerca de la misión, visión, valores y organización de la empresa. Específicamente el área de la empresa dedicada al ámbito internacional, que comprende los siguientes departamentos, que se encuentran relacionados:

- Departamento de Compras y Operaciones Internacionales
- Departamento de Ventas Internacionales
- Departamento de Finanzas
- Departamento de Desarrollo de Productos.
- Gerencia General

La buena relación inter departamental es fundamental para lograr los objetivos, independientemente del área en la que se desempeñe el trabajo. Por esto, se organizaron reuniones con todos los departamentos del área internacional para adquirir un conocimiento general de sus actividades en la empresa y de las actividades que realizan en conjunto con el Departamento de Compras y Operaciones.

En los procesos del área internacional los actores involucrados desempeñan un papel importante y es vital la buena comunicación inter-departamental. En la figura 3.2 se indican las principales responsabilidades de cada departamento, específicamente en relación al proceso de compras de la compañía. Las responsabilidades del Departamento de Compras y Operaciones se encuentran resaltadas.

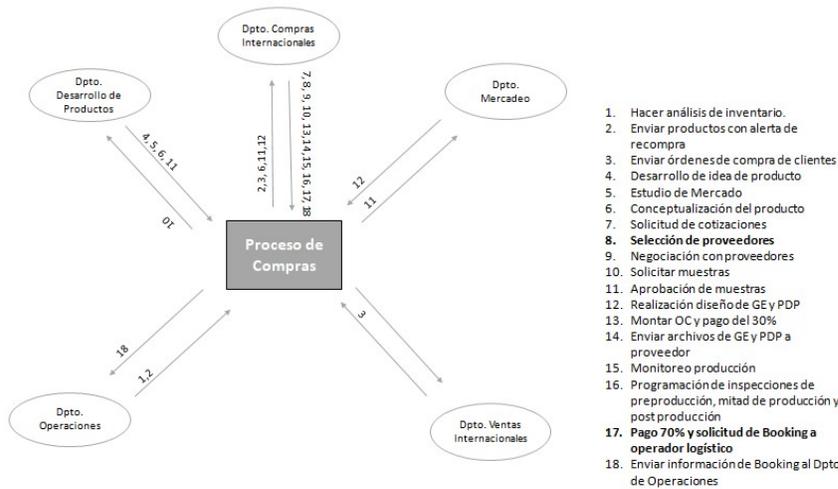


Figura 3.2 Diagrama de actores involucrados en el proceso de compras.

En la inducción se le brindó al pasante la información referente al departamento en el que desarrollará su proyecto, haciendo énfasis en aspectos como:

- La modalidad de trabajo (Procesos, sistema operativo, formatos, bases de datos, herramientas)
- El alcance del Departamento (Responsabilidades, objetivos)
- El estatus actual de los procesos (Proyectos, proveedores, productos, inspecciones, incidencias, operadores logísticos)

Se presentaron las bases de la negociación con los proveedores. Se instruyó acerca de las distintas maneras de conseguir un proveedor, ya sea mediante previas negociaciones de los directores de la compañía con estos o realizando una búsqueda en la plataforma de Ali Baba. Seguidamente, se presentó el nuevo integrante del equipo a los proveedores.

Es importante que el pasante esté en completo conocimiento de los procesos que analizará en su proyecto, por lo que se hizo hincapié en la definición de los procesos de cotizaciones, solicitudes de reserva, estatus de proveedores y operadores logísticos y su modo de trabajo.

El Departamento de Compras y Operaciones no está siendo eficiente en el ahorro de costos, específicamente en el relacionado con los gastos en fletes, manejos en destino y otros gastos logísticos. Actualmente, no cuentan con un procedimiento que les permita reducir estos costos sin que se afecten otras variables como el inventario o la cotización del producto. El único método utilizado para ahorrar costos es la comparación de las cotizaciones iniciales de los proveedores, en donde no se comparan costos logísticos..

Además, el Departamento está al tanto de que los costos se incrementan cuando se trabaja con fletes de tipo LCL, es común que la empresa trabaje con estos, ya que al ser una empresa familiar, las órdenes de compra que maneja no son de gran volumen, en su mayoría.

China, al ser un país exportador con gran variedad de proveedores y puertos brinda la posibilidad de que existan proveedores de un mismo producto ubicados en distintas provincias que trabajen con diferentes puertos. Del mismo modo, puede ocurrir que varios proveedores que trabajan con diferentes categorías de productos se concentren en la misma provincia, lo que puede ser útil para mejorar el proceso.

Por estas razones, la Gerencia cree necesario realizar un estudio en el que se determine la mejor opción para minimizar los costos logísticos, continuar con la misma modalidad de trabajo o consolidar la mercancía de varios proveedores en un puerto y así enviar la mercancía en contenedores llenos al almacén, para esto se necesita desarrollar un modelo matemático.

El área comercial de la empresa tiene una reunión semanal en la cual se verifica el estatus actual de todos los proyectos, en esta se puede tener una visión general de todas las operaciones en proceso en la compañía y los proyectos que desean desarrollarse a corto y mediano plazo.

Esta reunión es importante para el Departamento de Compras especialmente porque en esta se recibe la información acerca los productos nuevos que se quieren desarrollar, las órdenes de compra de clientes y las alertas de inventario lo que presenta el panorama de las

actividades a realizar para la satisfacción de los otros departamentos. A su vez, se reciben indicaciones de la Gerencia General de cómo llevar a cabo estas actividades.

En la primera reunión comercial se discutió el problema presentado y se dio una breve explicación del proyecto y el alcance del mismo a los demás departamentos, para generar un mayor entendimiento dentro de la empresa.

### **3.2 Levantamiento de Información**

Para entender la problemática que a resolver y la forma de resolverla, es necesario conocer los factores involucrados y levantar la data relacionada a cada uno de ellos. Debe verificarse toda la data que se encuentre disponible y determinar el modo de recopilar la información que falte. Ya que estos datos sustentarán el resultado final y definirán la toma de decisiones.

#### **3.2.1 Entrevistas con el personal involucrado para conocer el estatus actual de consolidación y transporte de mercancía**

El Coordinador de Compras fue el encargado de instruir acerca de la metodología actual para el transporte y la consolidación de la mercancía. El estatus actual de estos procesos suele ser de carácter intuitivo, si varias órdenes de compra tienen una fecha de finalización de producción similar y además están cotizadas con salida desde el mismo puerto, se verifica que la suma del volumen de las órdenes sea menor o igual a la capacidad de un contenedor FCL, si la respuesta es afirmativa las órdenes se consolidan en el puerto y se envían. Por otro lado, si alguno de estos factores no se cumple las órdenes se envían por separado en el tipo de contenedor que corresponda dependiendo del volumen de la orden.

#### **3.2.2 Obtención de información de fábricas y puertos con los que se trabaja actualmente, modo de trabajo y ubicación geográfica.**

Es importante recopilar toda la información referente a los proveedores que trabajan con la compañía, se requieren datos como el nombre, la clasificación del proveedor, la localización de la fábrica y los tipos de productos que vende. Se verificó que esta información estuviera actualizada en la Intranet de la compañía (sistema operativo Odoon), se descartaron proveedores con líneas discontinuadas de productos, así como también a los proveedores que se encuentran fuera de la República de China.

#### **3.2.3 Obtención de datos de costos de transporte en las rutas involucradas a los diferentes puertos**

Como el modo de trabajar de cada proveedor es distinto, en este punto se confirmó con cada proveedor involucrado la posibilidad de consolidar la mercancía en un puerto diferente al

habitual o un puerto diferente al de la última orden. En caso de existir dicha posibilidad, se consultó si esta implicaba un costo asociado y cuál sería su valor.

### **3.2.4 Obtención de información referente a las operaciones logísticas en el puerto**

Para el diseño del modelo de transporte y consolidación es necesario conocer los costos asociados a los tipos de fletes, así como especificaciones de costos de manejo en origen y destino.

El operador logístico con el cual trabaja la compañía debe suministrar un tarifario mensual o quincenal en el que indique los costos asociados a las rutas. Estos varían según el puerto de origen y destino y dependen del tipo de contenedor con que se trabaje. Actualmente la naviera incluye en su tarifario los costos para los siguientes tipos de cargas:

- Carga LCL
- Carga FCL, contenedor de 20 pies
- Carga FCL, contenedor de 40 pies

### **3.2.5 Levantamiento de información de costos de productos**

Como se mencionó anteriormente, la compañía posee diferentes marcas, a su vez estas poseen diferentes categorías en la que se pueden clasificar los productos.

Para realizar una gestión de compras eficiente cada tipo de producto debe cotizarse con al menos 3 proveedores distintos para obtener el mejor costo posible y contar más herramientas para el proceso de negociación. Por esta razón, la compañía ha mantenido relación con más de un proveedor por tipo de producto, lo que le brinda opciones para comprar el mejor producto al menor precio.

Para recopilar esta información, se puede recurrir al histórico de compras en la intranet que guarda los costos de cada producto en cada orden que se ha realizado. Sin embargo, es recomendable contactar al proveedor y cotizar los productos de nuevo ya que debido a factores como el aumento de la materia prima, la inflación o el valor del yuan sobre el dólar, los precios son muy vulnerables a cambios.

Estos costos también influyen en el precio final del producto por lo que se considera importante incluirlos en el modelo y solicitando cotizaciones con las fábricas correspondientes según el caso.

### **3.2.6 Levantamiento de requerimientos, beneficios y mejores prácticas**

Una vez recopilada la información definida como necesaria para proceder con el análisis de información y posterior diseño del modelo y herramienta se debe verificar que se poseen todos los requerimientos para realizar con éxito el problema.

La forma de asegurarse que todos los requerimientos se han levantado es entrevistando a los integrantes del Departamento de Compras y Operaciones, que son las personas que están más involucradas en el proceso. Además, es importante discutir el problema con el Director General, para tener su perspectiva del problema y la solución sugerida. Otra forma de levantar requerimientos es mediante la suposición de diversos escenarios posibles en conjunto con el equipo de trabajo. Además se debe discutir si es necesario realizar este estudio, si se cree implica beneficios para la empresa y de qué tipo.

Por último, se toman en consideración procedimientos con buenos resultados en el pasado o en otro contexto, esperando que si se aplican a este caso den resultados similares. Esto también se conoce como levantamiento de mejores prácticas y junto con los procedimientos anteriores engloban la información necesaria para desempeñar el proyecto con éxito.

### **3.2.7 Levantamiento de Indicadores de Gestión**

Para determinar si el proyecto arrojó resultados positivos, se contará con la ayuda de un sistema de indicadores que midan y cuantifiquen una serie de variables que comparadas entre sí constituyan un valor que permita identificar y tomar acciones sobre los problemas operativos.

Estos indicadores de gestión suelen utilizarse en procesos logísticos de la empresa, formando parte de las buenas prácticas de esta. o son utilizados en gestión de operaciones logísticas internacionalmente. Los indicadores seleccionados presentarán en valores matemáticos si el modelo es efectivo.

## **3.3 Análisis de Datos**

Luego de obtener la información necesaria para desempeñar el proyecto, se deben definir las herramientas a utilizar para estudiar dicha información y diseñar el modelo.

### **3.3.1 Realización, análisis y validación de diagramas de flujo del proceso de transporte y consolidación de cargas**

Con la finalidad de desglosar, los niveles más bajos del proceso de transporte y consolidación de mercancía e identificar posibles fallas, se realizaron diagramas de flujo de procesos, luego de haber entrevistado al personal involucrado y asegurarse de que cada detalle

del proceso está cubierto. Estos diagramas se realizaron con el programa Microsoft Visio utilizando la notación BPMN estándar.

### **3.3.2. Análisis de alcance y factibilidad de los requerimientos y priorización de estos.**

La trascendencia del proyecto debe limitarse de manera que sea factible y no se haga demasiado complicado de resolver. Tomando en cuenta que este problema contiene un número importante de variables que pueden dificultar la resolución del modelo, debe realizarse un análisis acerca del alcance final del mismo de forma que sea un problema factible, se tomarán decisiones acerca de los aspectos prioritarios y posibles suposiciones, simplificaciones, agrupaciones o eliminación de las variables que no implican un aporte significativo al desarrollo del proyecto pero dificultan la obtención de un resultado válido.

### **3.3.3. Estructuración de puntos de partida y llegada junto con todas las rutas posibles**

Utilizando la información obtenida en la etapa anterior se hizo una lista que incluía a cada uno de los proveedores y puertos ubicados geográficamente. Así, pudo determinarse que rutas eran válidas confirmando con cada uno de los proveedores.

### **3.3.4. Definición de restricciones y costos del problema de programación lineal**

Para poder definir el modelo de transporte es necesario que se traduzca la información recopilada en términos matemáticos. El modelo de optimización se caracteriza por estar sujeto a restricciones que son las que delimitan el espacio solución. Es importante saber reconocer cuales son las limitantes de este problema. Entre las restricciones se encontrarán restricciones que describirán la oferta, la demanda y la capacidad.

Por otra parte, la función objetivo de este modelo es minimizar costos así que debe contarse con toda la información referente a los costos implicados en el problema, ya sea costo de los productos, costo relacionado a transporte u otros cargos logístico.

## **3.4 Diseño del modelo de optimización**

En la cuarta fase, se aplican los conocimientos adquiridos y se usa la información recopilada para realizar el diseño del modelo de optimización.

### **3.4.1 Definición de parámetros del modelo y función objetivo**

Para iniciar con el diseño del modelo de transporte, el pasante debe conocer el alcance de dicho modelo y las variables que influyen en este problema de una manera u otra. En este caso específico, a modo de simplificar el problema y tomando en cuenta todos los costos

involucrados se dividió en dos partes: Asignación de fábricas a categorías de productos y modelo de transporte de mercancía y consolidación de mercancía en contenedores.

Los parámetros de la primera parte del modelo serán los siguientes:

- Puntos de origen: Representados por las categorías de productos a fabricar, los productos se agruparon en categorías debido a la gran cantidad de SKU de la empresa. La oferta en cada origen será igual a 1.
- Puntos de llegada: Representados por las fábricas que producen alguna categoría de producto que se fabrique con más de un proveedor.
- Función objetivo: Es minimizar los costos relacionados directamente a la orden de compra, es importante partir de la premisa que para cada categoría de producto se cotizará la misma orden de compra, de esta forma esta primera parte del modelo tiene validez, la variable principal sería *Órdenes de compra de la categoría  $i$  producidas por la fábrica  $j$* . Esta variable puede tomar los valores 1 y 0.
- Restricciones: Se contará con tres restricciones importantes, características de un modelo de asignación: Una categoría no podrá ser asignada a más de una fábrica, cada fábrica puede recibir como máximo una OC por cada categoría con la que trabaja y por último, la restricción de no negatividad.

Los parámetros de la segunda parte del modelo serán los siguientes:

- Puntos de origen: Los puntos de partida serán las 24 fábricas con las que trabaja la compañía
- Puntos de trasbordo: Los puntos de trasbordo se resumirán en los 10 puertos a los que el proveedor tiene la opción de enviar la mercancía una vez esté lista.
- Puntos de destino: Los nodos de destino serán los tipos de contenedores en los cuales puede enviarse la mercancía al destino final.
- Función objetivo: Las variables de la función estarán representadas por el número de CBM transportados desde el origen  $i$  al destino  $j$ , así como también el número de CBM transportados desde el puerto  $j$  en contenedores de tipo LCL ó FCL, la función objetivo será minimizar los costos asociados tanto al transporte de la mercancía al puerto, como al tipo de contenedor.
- Restricciones: Esta parte del problema contará con cinco restricciones: Lo que sale de cada fábrica debe ser distribuido por completo entre los puertos a los que viajan, lo que llega a cada puerto debe ser igual a lo que sale de este en contenedores, los contenedores no pueden transportar una carga mayor a su capacidad, la totalidad de la

mercancía que salió de las fabricas debe ser igual al total de la mercancía enviada en los distintos contenedores y por último, la restricción de no negatividad.

#### **3.4.2 Diseño de un modelo matemático de optimización mediante programación lineal**

Una vez definidos todos los parámetros involucrados, es posible realizar el diseño del modelo matemático que será introducido en la herramienta Solver para generar una solución. Se realizaron una serie de simplificaciones con la finalidad de que el problema no fuera tan extenso (exceda el número de variables admitidas) y complicado (programación no lineal) que el programa no suministrara una solución

#### **3.4.3 Análisis del modelo con incorporación de nueva ruta o proveedor.**

Ya que la compañía se encuentra trabajando constantemente en ampliar su portafolio de productos, probablemente necesite incluir nuevos proveedores en el modelo de programación, que en algunos casos pueden estar trabajando con algún puerto que no está entre los que se tomaron en cuenta para el diseño del modelo, por lo que es importante definir qué se debe hacer en estos casos de forma que la compañía esté preparada.

#### **3.4.4. Diseño de indicadores de gestión para el control del modelo.**

Los indicadores de gestión que permitirán el análisis de los resultados del modelo son indicadores de transporte, que se dividen a su vez en indicadores de ahorro en costos e indicadores de nivel de utilización de los contenedores.

#### **3.4.5. Diseño de herramienta en la que será presentado el modelo.**

Es importante que la herramienta de consolidación de mercancía tenga una interfaz amigable, de forma que el usuario pueda entenderla sin necesidad de poseer conocimiento previo en programación lineal. Se realizará el diseño de forma que sea entendible, siguiendo los parámetros establecidos por la empresa y su debida identificación. Esta herramienta se entregó en conjunto con el *Manual de Usuario para Herramienta de Consolidación de Mercancía*, documento que explica detalladamente los pasos que debe seguir el usuario al usar dicha herramienta.

#### **3.5 Ejecución del modelo, prueba de aceptación y análisis de resultados**

En esta fase se incluyen en Excel todas las variables, la función objetivo y las restricciones de manera cuidadosa, para que por medio de la herramienta Solver se obtenga la solución óptima que minimice los costos correspondientes. Se realiza una prueba de aceptación del modelo, en la que se podrá apreciar su funcionamiento y corregir posibles fallas. Si se acepta

la herramienta, se procede a incluir en esta los datos recopilados de órdenes de compra pasadas para la ejecución del modelo y el análisis de resultados.

Una vez que se obtuvo una solución, deben tomarse en cuenta las suposiciones que se hicieron en la etapa de diseño para que la solución se acerque más a la realidad. Se realiza un análisis de los resultados por medio de los indicadores planteados y a partir de estos se plantea una estrategia, conclusiones y recomendaciones.

Se presenta la herramienta al equipo de trabajo, con los resultados y manual correspondiente. Así como también las conclusiones y recomendaciones, para obtener una retroalimentación por parte del departamento y los directores de la compañía.

Al finalizar el proyecto, se presentará la información documentada, la metodología, el desarrollo, los resultados y recomendaciones de este, para que sirva de modelo para futuros proyectos en el área, ya sea en la empresa o a futuros pasantes de ingeniería de producción dentro de la comunidad universitaria. Esto constituirá el informe, el cual se realizará siguiendo los lineamientos de la Coordinación de Cooperación Técnica.

## CAPITULO 4

### DESARROLLO, RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se desarrolla la metodología planteada en el capítulo anterior y se exponen los resultados obtenidos después de la aplicación de la misma, con su análisis correspondiente.

#### 4.1 Levantamiento de Información

Después de la inducción a la empresa, se recopilaron los datos necesarios para el desarrollo del modelo.

El primer paso fue entrevistar al personal para conocer el status del proceso de transporte y consolidación de carga ya que el Departamento de Compras y Operaciones, maneja ciertas reglas para llevar a cabo dicho proceso, pero no existe una documentación relacionada que explique detalladamente el proceso.

El paso siguiente fue recopilar la información respectiva a proveedores y puertos con los que se trabaja actualmente. Esta información se extrajo específicamente del módulo de “*Compras/Proveedores*” y “*Compras/Productos*” en el sistema operativo Odoo.

La información relacionada a los puertos se recopiló utilizando tres fuentes:

- Historial de cotizaciones de proveedores, en las que se encuentra el puerto convenido en la negociación.
- Consulta a operadores logísticos, en relación a los puertos más utilizados por la empresa
- Comunicación directa con el proveedor, en la que se solicitó información referente a los puertos con los que usualmente trabaja.

Después de obtener la información necesaria el problema se redujo a 24 proveedores activos, ya que, además de descartar los proveedores de productos discontinuados se descartaron también los proveedores que dentro de su modelo de negocio solo trabajan con un puerto, ya que esto implica que no hay decisión que tomar respecto a este proveedor. Los proveedores que plantearon este modelo fueron muy pocos. Es importante resaltar que los

proveedores no se encuentran distribuidos equitativamente por todo el territorio sino que hay mucha más concentración en provincias industriales como Zhejiang y Fujian como se observa en la figura 4.1.

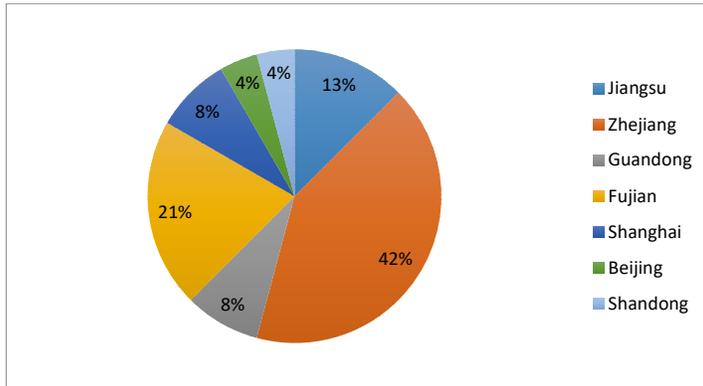


Figura 4.1 Localización de los proveedores en provincias y municipios.

**Commented [GF2]:** Considera quitar el cuadro externo. Quizá quede mejor sin ese recuadro

Respecto a los puertos, se creó una lista en la que se congregó la información suministrada por el operador logístico junto con el histórico de cotizaciones de proveedores. Esta lista está constituida por 10 puertos distribuidos a lo largo de la costa del territorio y pueden encontrarse a una distancia de hasta más de 2000 Km entre sí.



Figura 4.2 Distribución de los puertos seleccionados para el modelo

**Commented [GF3]:** Este está sin recuadro... se ve muy bien así.

Los proveedores seleccionados trabajan cada uno con un puerto predeterminado, de acuerdo a estos envían sus cotizaciones bajo términos FOB en dicho puerto. En la figura 4.3 se observan cuáles son los puertos más utilizados por los proveedores seleccionados, esta información se basa en la data registrada en el sistema Odoo, antes de tomar en cuenta si alguno de los proveedores realiza operaciones con más de un puerto. Una aclaratoria importante es que los puertos de Lianyungang y Yantian no se incluyen en esta distribución, pero sí en el modelo, basándose en operaciones pasadas de la compañía con estos puertos e información suministrada por el operador logístico referente a los puertos con mayor actividad en China.

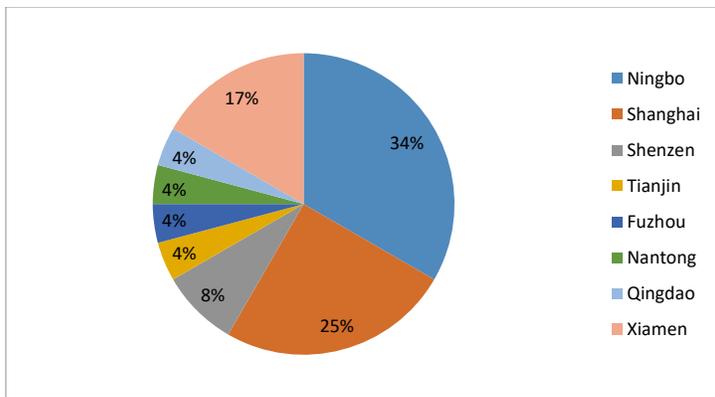


Figura 4.3 Distribución de puertos predeterminados de proveedores seleccionados

**Commented [GF4]:** Considera quitar el cuadro externo. Quizá quede mejor sin ese recuadro

Una vez recopilados los datos correspondientes a los puntos de origen y destino del modelo, se obtienen todas las rutas posibles, pero es necesario conocer el costo asociado a cada una de estas rutas. Para esto se contactó directamente a los proveedores y se consultó su disponibilidad a trabajar con dichos puertos.

Es importante destacar que el territorio de China es sumamente extenso, por lo que el problema se redujo a los puertos que quedaran a menos de 800 kilómetros de cada fábrica, ya que los proveedores no acceden o en ocasiones no recomiendan transportar su mercancía distancias tan largas.

Se presentaron varios casos entre los cuales están:

- El proveedor trabaja y envía cotizaciones únicamente con un puerto, pero accede a que el operador logístico, lleve a cabo este envío y cotice la operación.

- El proveedor trabaja con más de un puerto y los precios de los productos varían dependiendo de la lejanía del puerto.
- El proveedor trabaja con más de un puerto y los costos no varían si cambia dicho puerto.

En el primer caso, la información de los costos de transporte terrestre se consultó directamente con el Forwarder u operador logístico.

Ahora, en el segundo caso, los proveedores suministraron la información de dos maneras:

- Un incremento en el valor de cada producto cotizado, dependiendo del puerto en el que se consolide la mercancía
- La suma de un monto extra al total de la orden de compra.

Estos montos deben ser manipulados en fases posteriores del proyecto para que estén en función de 1 CBM de mercancía transportado.

Una vez que se han recopilado los costos relacionados al transporte de la mercancía, es necesario solicitar los costos referentes al tipo de flete y tamaño del contenedor a la naviera. Dichos costos se obtienen a partir de un tarifario mensual enviado por el operador logístico con los cargos referentes a los fletes LCL y FCL de 20 y 40 pies, desde cada uno de los puertos hasta el puerto destino, la Zona Libre en Panamá (CFZ). Este tarifario incluye los costos variables relacionados a los CBM transportados y los costos fijos relacionados a los cargos por manejo en destino. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó el tarifario correspondiente al mes de abril del año 2018.

Ahora, el paso siguiente fue consultar el costo de los productos que quieren transportarse. Dicha información se recopiló del sistema operativo Odoo, específicamente en la pestaña “*Compras/Pedidos de Compra*”, en esta se puede consultar el precio de cada producto en la última orden realizada, los montos de estas órdenes de compra pueden ser utilizados para el desarrollo del proyecto ya que se trata de una simulación.

Por último, se discuten los datos obtenidos y la metodología a llevar a cabo con el departamento y la Gerencia General de la compañía, para saber cuáles son sus preocupaciones en cuanto al problema planteado y las posibles limitaciones del proyecto, estas permitirán que se defina el alcance y la factibilidad de los requerimientos en una etapa posterior. Además, se discuten los indicadores sugeridos para comparación, siguiendo los criterios manejados en la compañía.

## **4.2 Análisis de Datos**

En esta etapa se procede a analizar la información recopilada, determinando posibles fallas del proceso actual, se definen los parámetros del modelo de programación así como su alcance y factibilidad.

### **4.2.1 Realización, análisis y validación de diagramas de flujo del proceso de transporte y consolidación de cargas**

En base a la información suministrada relacionada al proceso de transporte y consolidación de cargas y las entrevistas realizadas al departamento de Compras. Se realizó el diagrama de flujo de procesos, utilizando la nomenclatura BPMN para plasmar cada acción que conlleva el proceso, los responsables de cada una de estas acciones y encontrar posibles re-trabajos o acciones que se pueden integrar en un paso más sencillo. En el anexo A puede observarse el diagrama de flujo para este proceso.

Después de haber realizado el diagrama de flujo de procesos para el transporte y la consolidación de mercancía. Se puede determinar que este proceso no tiene estructura previa definida y consiste básicamente en enviar cada orden a su puerto preestablecido, en los contenedores cuya capacidad se acerque más al volumen total de la orden y solo consolidar órdenes en el caso de que los CBM totales de las órdenes de compra sean muy bajos y las fábricas correspondientes trabajen en el mismo puerto. Al analizar este diagrama de flujo se puede observar la razón por la cual se utiliza una gran cantidad de fletes de tipo LCL, ya que la consolidación solo es posible si las dos fábricas trabajan con el mismo puerto y manejan volúmenes bajos de mercancía, además la cantidad de CBM a partir de la cual es recomendable utilizar un contenedor de tipo LCL o FCL es intuitiva y sugerida en base a la experiencia de los analistas del departamento, aunque estas cantidades no se alejan de la realidad la manera óptima de saber estos “puntos frontera” a partir de los cuales es más conveniente utilizar un tipo de contenedor u otro debería tener su basamento en un modelo matemático el cual varíe según las tarifas suministradas por la naviera cada mes.

Este diagrama permite apreciar los dos problemas principales del proceso que quieren atacarse con este proyecto, consolidación de mercancía en distintos puertos y mejora en la utilización de los contenedores.

### **4.2.2 Análisis de alcance y factibilidad de los requerimientos y priorización de estos.**

Al discutir la información recopilada con el Departamento de Compras y Operaciones y el Director General en una reunión, se definieron que factores del problema eran más importantes y de que factores se podía prescindir con la finalidad de que el modelo de

programación tuviera un carácter lineal. No obstante, estas suposiciones deben mantenerse cercanas al escenario real y deben tomarse en consideración al realizar el análisis de los resultados. Las simplificaciones y suposiciones que definieron el alcance de los requerimientos, en base a la factibilidad de los mismos son las siguientes:

- La herramienta Solver de Excel trabaja con un máximo de 200 variables o celdas cambiantes, por esta razón se concluyó que era mejor incluir la primera fase del problema en un futuro estudio, ya que el número de variables del problema considerando únicamente la segunda fase es igual a 120 variables y es probable que considerando la gran cantidad de productos y la entrada a mercados en nuevas categorías de productos, el número de variables supere las aceptadas por la herramienta, resultando en un problema sin solución. Entonces, la selección de un proveedor u otro, se realizará de la misma manera que la empresa lo ha hecho hasta ahora.
- Por la misma razón, en el caso de las variables que representan las cantidades enviadas desde una fábrica a un puerto determinado, solo serán incluidas en el modelo las que tienen un valor distinto de cero, es decir las correspondientes a las rutas confirmadas por los proveedores. La decisión se tomó considerando que este tipo de variables excedía el límite establecido por la herramienta, sumando un total de 240 variables.
- Los contenedores conocidos como 40HQ ó 40 High Cube, no se incluirán dentro del modelo ya que es posible que el número de variables exceda el límite establecido por Excel de 200 y debido a los bajos volúmenes de mercancía con los que trabaja la compañía, es muy raro su uso, por lo que la compañía puede prescindir de estos en el estudio y se puede incluir en una segunda fase del proyecto.
- Como se mencionó anteriormente, las tarifas proporcionadas por el operador logístico según el tipo de flete, se suministran en función de costos fijos y variables, como se presenta en las ecuaciones 4.1 y 4.2,

$$C_{FCL} = CF_{DOC} + CF_{MLocal} + CV_{FCL} * n_{cont} , \quad (4.1)$$

donde,  $C_{FCL}$  se refiere al costo total asociado a enviar una carga bajo la modalidad FCL,  $CF_{DOC}$  es el costo fijo asociado a la obtención de la documentación,  $CF_{MLocal}$  es el costo fijo asociado a los manejos locales de la carga,  $CV_{FCL}$ , se refiere al costo variable asociado a transportar un contenedor bajo la modalidad FCL y  $n_{cont}$  se utiliza para denominar al número de contenedores.

$$C_{LCL} = CF_{MLocal} + CF_{Seg} + CF_{Col} + CF_{DMC} + (CV_{LCL} + CV_{Des}) * n_{CBM} , \quad (4.2)$$

donde,  $C_{LCL}$  se refiere al costo asociado a enviar una carga bajo la modalidad LCL,  $CF_{MLocal}$  es el costo fijo relacionado a manejos locales de la carga,  $CF_{Seguridad}$  comprende el costo fijo asociado al seguro del embarque,  $CF_{Coloader}$  es el costo fijo relacionado con la subcontratación de un agente,  $CF_{DMC}$  se refiere a los costos fijos asociados a los documentos de declaración de movimiento comercial electrónico tanto de salida como de entrada. El costo variable asociado a transportar mercancía bajo la modalidad LCL es representado por  $CV_{LCL}$ , mientras que el costo asociado a la desconsolidación de la carga está representado  $CV_{Des}$  y  $n_{CBM}$  representa la cantidad de volumen transportado, expresado en CBM.

A partir de la información presente en los tarifarios, el costo referente a desconsolidación es variable a partir de 3 CBM, si la cantidad transportada es menor dicho costo es fijo. Por otro lado, en el caso del costo de envío ocurre la misma situación, a partir de 1,7 CBM es un costo variable, si la cantidad transportada es menor a esta es un costo fijo. Esto quiere decir que es necesario incluir estructuras condicionales en los datos de costo suministrados a la herramienta. Si incluimos estas condicionales se pierde la linealidad del problema y el modelo pasa a ser discreto. Por esta razón incluiremos únicamente los costos variables en el modelo y en el análisis de resultados se hará considerando los costos fijos.

- Por último, como se puede apreciar en las ecuaciones 4.1 y 4.2 el costo variable en fletes de tipo LCL es por cantidad de CBM mientras que el costo variable en los fletes de tipo FCL es por contenedor, ya que debemos trabajar el modelo en su totalidad con la misma unidad de variable y por otra parte, añadir un costo al modelo que varía dependiendo de utilización del contenedor afecta la linealidad del problema, se calculó un costo promedio por CBM, para el caso de los fletes FCL el cual será utilizado en el modelo. La variable correspondiente al número de contenedores se incluirá de igual manera en el modelo. Más adelante en la etapa de análisis de resultados se podrá confirmar que tan cercanos a la realidad se encuentran los costos finales en comparación a los calculados tomando en cuenta el valor real por contenedor.

Es importante destacar que todas estas simplificaciones y suposiciones serán tomadas en cuenta al momento de analizar los resultados del modelo, así como también se tomarán en cuenta para la elaboración de conclusiones y proposición de recomendaciones.

### 4.2.3 Estructuración de puntos de partida y llegada junto con todas las rutas posibles

Con la información recopilada de proveedores activos, su ubicación y los puertos con los que trabajan estas fábricas. La selección final resultó en 24 proveedores o puntos de partida, 10 puertos, los cuales serán considerados en el modelo como puntos de transbordo y 3 variaciones en los contenedores que se enviará la mercancía, es decir 3 puntos de llegada asociados a cada punto de transbordo, lo que resulta en 30 posibles puntos de llegada.

La representación gráfica de este modelo, no es una manera efectiva de visualizar fácilmente el problema ya que las líneas que representan las posibles rutas se superponen y no permiten una buena apreciación, por lo que la representación se realizó por medio de dos tablas. En la tabla 4.1 es posible visualizar con claridad los proveedores y puertos con sus rutas respectivas, estas constituyen el primer tipo de variables del modelo planteado, las cuales suman un total de 80 variables. A los proveedores se les asignó una numeración la cual se notificó a la empresa debido a confidencialidad de los nombres de los proveedores. La nomenclatura de estas variables se representa de la forma  $Y_{ij}$  que representa la cantidad de CBM transportados desde el origen  $i$  al destino  $j$ .

Variables de transporte de mercancía										
Nro.	Puerto o Destino									
	1. Shanghai	2. Tianjin	3. Qingdao	4. Lianyungang	5. Xiamen	6. Nantong	7. Yantian	8. Shenzhen	9. Ningbo	10. Fuzhou
1	Y1,1			Y1,4		Y1,6			Y1,9	
2	Y2,1		Y2,3	Y2,4		Y2,6			Y2,9	
3							Y3,7	Y3,8		
4	Y4,1					Y4,6			Y4,9	
5		Y5,2	Y5,3	Y5,4						
6					Y6,5				Y6,9	Y6,10
7	Y7,1		Y7,3	Y7,4		Y7,6			Y7,9	
8	Y8,1		Y8,4			Y8,6			Y8,9	
9	Y9,1		Y9,3	Y9,4		Y9,6			Y9,9	
10	Y10,1								Y10,9	
11	Y11,1					Y11,6			Y11,9	
12		Y12,2	Y12,3	Y12,4						
13					Y13,5		Y13,7	Y13,8		
14	Y14,1					Y14,6			Y14,9	
15					Y15,5				Y15,9	
16					Y16,5		Y16,7	Y16,8		Y16,10
17					Y17,5				Y17,9	
18	Y18,1		Y18,3	Y18,4		Y18,6			Y18,9	
19	Y19,1					Y19,6			Y19,9	
20	Y20,1			Y20,4		Y20,6			Y20,9	
21	Y21,1					Y21,6			Y21,9	
22	Y22,1					Y22,6			Y22,9	
23	Y23,1				Y23,5	Y23,6			Y23,9	
24					Y24,5				Y24,9	

Tabla 4.1 Variables de transporte de mercancía

En la figura 4.4. se presentan los puertos más utilizados por los 24 proveedores seleccionados, esta distribución es la que se tomará como definitiva ya que es la obtenida después de levantar la información con cada uno de los proveedores y el operador logístico.

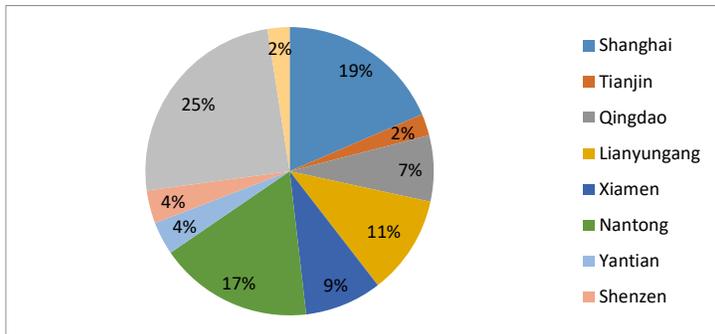


Figura 4.4 Distribución de puertos con los que trabajan los proveedores seleccionados

**Commented [GF5]:** Considera quitar el cuadro externo. Quizá quede mejor sin ese recuadro

Es posible comparar dicha distribución con la que se graficó antes del levantamiento de información y ver en que puertos aumenta la concurrencia, en cuales se mantiene y en cuales disminuye. Esta comparación se puede observar en la tabla 4.2.

Puertos	Proveedores antes de investigación	Proveedores después de investigación
Ningbo	8	20
Shanghai	6	15
Xiamen	4	7
Shenzen	2	3
Tianjin	1	2
Fuzhou	1	2
Nantong	1	14
Qingdao	1	6
Lianyungang	0	9
Yantian	0	3

**Formatted Table**

Tabla 4.2 Información de proveedores que trabajan con cada puerto

Se determinó que el número de proveedores que trabajan con cada uno de los puertos aumenta para todos los casos. Ahora, los puertos con aumentos significativos de proveedores relacionados, son el puerto de Ningbo y el puerto de Shanghai, que siguen siendo los dos más concurridos con 20 y 15 proveedores asociados respectivamente. Ahora, los puertos de Nantong y Lianyungang también sufrieron un aumento significativo, probablemente debido a su cercanía con el puerto de Ningbo, lo que no implica un esfuerzo mayor para los proveedores que se encuentran en la provincia de Zhejiang. Otro puerto en el que el número

de proveedores aumentó significativamente fue el de Qingdao, el cual tenía un solo proveedor asignado inicialmente. Los aumentos en los otros cinco puertos son menores, 3 proveedores en el caso de Xiamen y Yantian y solo un proveedor más para los puertos de Shenzhen, Tianjin y Fuzhou.

En la Tabla 4.3 se presentan las 40 variables correspondientes a la consolidación de mercancía.

$W_{j,L}$  representa la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  bajo la modalidad LCL,  $W_{j,20}$  está asociada a la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  en un contenedor de 20' y  $W_{j,40}$  representa la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  en un contenedor de 40'. Con  $j = 1,2, \dots, 10$  para los tres tipos de variable.

Se debe incluir un tipo de variable adicional  $n$ , correspondiente al número de contenedores. Solo tiene sentido incluir esta variable para los contenedores de 40 pies, ya que para los casos de LCL y contenedores de 20 pies, si se necesita ocupar un volumen mayor a su capacidad se trabajará con el contenedor inmediatamente mayor. Es decir,

- En vez de contratar más de un flete LCL en el mismo puerto, se debe contratar un flete FCL de 20 pies.
- En vez de contratar más de un flete FCL de 20 pies en el mismo puerto, se debe contratar un flete FCL de 40 pies.

Por esto, solo es coherente incluir la variable  $n_{j,40}$ , correspondiente al número de contenedores de 40' que salen del puerto  $j$ , con  $j=1,2, \dots, 10$ .

Variables de Consolidación de Mercancía					
		Tipo de contenedor			
		LCL	FCL - Contenedor 20'	FCL - Contenedor 40'	
Puertos	1. Shanghai	W1,L	W1,20	W1,40	n1,40
	2. Tianjin	W2,L	W2,20	W2,40	n2,40
	3. Qingdao	W3,L	W3,20	W3,40	n3,40
	4. Lianyungang	W4,L	W4,20	W4,40	n4,40
	5. Xiamen	W5,L	W5,20	W5,40	n5,40
	6. Nantong	W6,L	W6,20	W6,40	n6,40
	7. Yantian	W7,L	W7,20	W7,40	n7,40
	8. Shenzhen	W8,L	W8,20	W8,40	n8,40
	9. Ningbo	W9,L	W9,20	W9,40	n9,40
	10. Fuzhou	W10,L	W10,20	W10,40	n10,40

Tabla 4.3 Variables de Consolidación de Mercancía

Aunque las tablas presentan las variables de forma separada, las 120 variables forman parte del modelo de programación lineal que se procederá a diseñar.

#### 4.2.4 Definiciones de restricciones y costos del problema

Aunque ya se han definido dos parámetros importantes del modelo los nodos (origen, transbordo y llegada) y las variables de decisión (rutas y tipos de fletes/contenedores), es importante que todas estas variables tengan un costo asociado. Además se debe suministrar al modelo todas las restricciones del problema que definirán el espacio solución.

Los costos se deben encontrar en función de 1 CBM de mercancía. Algunos proveedores suministraron la información de costos de esta manera, pero otros no, por lo que fue necesario manipular estas cifras utilizando valores conocidos como los incrementos por producto y totales de las órdenes y el volumen total de cada orden de compra. Se realizó el siguiente procedimiento:

El primer paso fue calcular el incremento total de la orden, en algunos casos este monto fue suministrado directamente por el proveedor. En los casos en los que el aumento enviado es por producto, se calcula el incremento total de la orden, mediante la sumatoria del producto de los nuevos costos por las cantidades a ordenar menos el monto total de la orden en el puerto habitual.

$$IT = \sum_{k=1}^m (C_{Prod_k} * n_{prod_k}) - CT_{OC\ ant}, \text{ con } k=1,2,\dots,m, \quad (4.3)$$

donde,  $IT$  representa el incremento total del costo de la orden de compra,  $C_{Prod_k}$  es el costo asociado a cada producto después de que el proveedor realiza el ajuste por el envío,  $n_{prod_k}$ , representa las unidades de un tipo de producto específico,  $CT_{OC\ ant}$  es el costo asociado a la orden de compra original, sin incremento por envío y  $m$  será igual al número de SKU que contenga cada orden, con  $k = 1,2, \dots, m$ .

El segundo paso consistió en desarrollar la ecuación 4.4 que permite estimar el costo por 1 CBM, dividiendo el incremento total entre el volumen total respectivo de la OC.

$$CT = \frac{IT}{VT}, \quad (4.4)$$

Donde,  $CT$  representa el costo por 1 CBM de mercancía transportado y  $VT$  es el volumen total de la orden de compra.

Ahora, este costo será el correspondiente a transportar 1 CBM de mercancía desde la fábrica  $i$  hasta el puerto  $j$ , asociado a las variables de tipo  $Y_{ij}$ , planteadas en la etapa anterior.

Es importante mencionar que los costos asociados a los puertos predeterminados o habituales de cada fábrica, serán considerados como cero.

Los costos asociados a las variables de tipo  $W_{i,l}$ , son suministrados por el operador logístico en el tarifario mensual en función de \$/CBM, así que no hubo que modificarlos, aunque es importante recordar que en el modelo solo se están introduciendo los costos variables, el análisis con costos fijos se realizará en etapas posteriores.

Para definir los costos asociados a las variables de tipo  $W_{i,20}$  y  $W_{i,40}$ , es necesario realizar estimaciones ya que el costo por CBM varía dependiendo de qué tan vacío viaje el contenedor.

Como se mencionó en la etapa de definición de alcance y factibilidad, es necesario realizar suposiciones respecto al costo de transportar 1 CBM en un contenedor que funcione bajo la modalidad FCL. Debido a que simplifica el problema manteniendo su carácter lineal, recordando que estas suposiciones se tomarán de nuevo en cuenta para el análisis de los resultados finales. La suposición consiste en que la mercancía ocupará aproximadamente la mitad de la capacidad del contenedor.

Para el caso de los contenedores de 20 pies, se dividió la capacidad del contenedor entre dos y luego el costo variable correspondiente a contratar un contenedor de este tipo (como se mencionó anteriormente el modelo solo trabajará con los costos variables), se dividió entre el valor obtenido, como indica la ecuación 4.5.

$$COP_{20} = \frac{C_{20}}{\left(\frac{Cap_{20}}{2}\right)}, \quad (4.5)$$

donde,  $COP_{20}$  está asociado al costo por 1 CBM de mercancía transportado en un contenedor de 20 pies,  $C_{20}$  representa el costo de contratar un flete FCL con un contenedor de 20 pies y  $Cap_{20}$  es la capacidad de un contenedor de 20 pies, expresada en CBM.

Para el caso de los contenedores de 40 pies, al dividir la capacidad total entre dos, obtenemos la capacidad de un contenedor de 20 pies, como no es razonable enviar en un contenedor de 40 pies algo que cabe en uno de 20 pies, el valor promedio que tomaremos como estimación del costo será igual a transportar tres cuartas partes del contenedor lleno, puede que esta suposición sea un poco optimista, pero se planteó como una suposición de valor “promedio” lógica, que, en caso de no serlo podrá ser descartada al analizar los

resultados obtenidos. La ecuación 4.6 indica en lenguaje matemático lo que se explicó anteriormente.

$$COP_{40} = \frac{C_{40}}{\frac{3}{4} * (Cap_{40})}, \quad (4.6)$$

donde,  $COP_{40}$  está asociado al costo por 1 CBM de mercancía transportado en un contenedor de 40 pies,  $C_{40}$  representa el costo de contratar un flete FCL con un contenedor de 40 pies y  $Cap_{40}$  es la capacidad de un contenedor de 40 pies, expresada en CBM.

Ahora, respecto a las restricciones del problema, existen diversos factores importantes que limitan los valores que las variables de decisión puedan adoptar. Existen 5 tipos de restricciones fundamentales en las que se basó el modelo.

- Restricciones de oferta de las fábricas, las cuales plantean que toda la mercancía que sale de una fábrica tiene que ser distribuida por completo en los puertos con los que trabaja.
- Restricciones de balance en los puertos, que plantean que todo lo que llega a un puerto debe ser exactamente igual a lo que sale de este en contenedores.
- Restricciones de capacidad de los contenedores, las cuales exponen que un contenedor no puede transportar un volumen de mercancía mayor a su capacidad.
- Restricción de demanda de envío final en contenedores, la cual plantea que el volumen total de mercancía que salió de las fábricas debe ser igual al volumen total que se envió en los contenedores hacia su destino final
- Restricciones de no negatividad, las cuales exponen que las variables de decisión no pueden adoptar valores menores a cero.

Estas restricciones son las encargadas de delimitar el espacio solución y permiten que el modelo se acerque lo más posible a la realidad. Sus expresiones en lenguaje matemático se definirán en la siguiente etapa.

### 4.3 Diseño del modelo

Es necesario organizar la data obtenida de manera que se pueda hacer el planteamiento completo del modelo con todos sus parámetros, posicionarlos en la herramienta Excel para ejecutar el modelo matemático con Solver, pensar en posibles variaciones y en la forma en la que se presentará esta herramienta al equipo de trabajo en conjunto con los indicadores que puedan medir su rendimiento.

#### 4.3.1 Definición de parámetros del modelo y función objetivo.

Para construir el modelo de optimización de transporte y consolidación de mercancía es necesario que se definan todos los parámetros necesarios, parte de estos ya se han definido en etapas anteriores, pero con la finalidad de tener toda la información necesaria para la ejecución del modelo de manera organizada para introducir a la herramienta Solver de Excel se exponen de nuevo todas y cada una de ellas.

- **Variables de decisión**

Primero se encuentran las variables referentes al transporte,  $Y_{ij}$  que representa la cantidad de CBM transportados desde la fábrica  $i$  hasta el puerto  $j$ . Con  $i= 1, 2, \dots, 24$  y  $j= 1, 2, \dots, 10$ .

Las siguientes variables representadas por la letra  $W$ , son las variables relacionadas a la consolidación, es decir, las variables que indican en qué tipo de flete y tamaño de contenedor se enviará la mercancía que llegó al puerto.

$W_{j,L}$  representa la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  bajo la modalidad LCL,  $W_{j,20}$  está asociada a la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  en un contenedor de 20' y  $W_{j,40}$  representa la cantidad de CBM enviados desde el puerto  $i$  en un contenedor de 40'. Con  $j = 1, 2, \dots, 10$  para los tres tipos de variable.

Por último, están las variables relacionadas al número de contenedores,  $n_{j,40}$  que representa cuantos contenedores de 40' salen del puerto  $j$ , con  $j = 1, 2, \dots, 10$ .

- **Función objetivo**

Esta ecuación es la que será optimizada, el objetivo principal es minimizar los costos. Dicha ecuación se define como la sumatoria de los productos de las variables de decisión multiplicadas por su costo asociado. Antes de definir la función objetivo, es necesario que se definan las variables que representan los costos mencionados en dicha función.

El costo  $CT_{ij}$ , asociado a las variables  $Y_{ij}$ , el cual representa el costo asociado a transportar 1 CBM de mercancía de la fábrica  $i$  al puerto  $j$ , con  $i= 1, 2, \dots, 24$  y  $j= 1, 2, \dots, 10$ .

Los costos  $COP_{j,L}$ ,  $COP_{j,20}$ ,  $COP_{j,40}$  y  $COPn_{j,40}$  asociados a las variables  $W_{j,L}$ ,  $W_{j,20}$ ,  $W_{j,40}$  y  $n_{j,40}$  respectivamente.  $COP_{j,L}$  representa el costo asociado a enviar 1 CBM desde el puerto  $j$  bajo la modalidad LCL,  $COP_{j,20}$  y  $COP_{j,40}$  se refieren al costo asociado a enviar 1 CBM de mercancía desde el puerto  $j$  en un contenedor de 20 pies y  $COPn_{j,40}$  representa el costo asociado a enviar un contenedor de 40 pies desde el puerto  $j$ . Con  $j = 1, 2, \dots, 10$ .

La función objetivo se divide en tres partes, diferenciadas por el tipo de variable que forma parte de estas y representadas por las ecuaciones 4.7, 4.8 y 4.9.

$$\min Z_1 = CT_{1,1}Y_{1,1} + CT_{1,4}Y_{1,4} + CT_{1,6}Y_{1,6} + \dots + CT_{24,10}Y_{24,10}, \quad (4.7)$$

$$\min Z_2 = COP_{1,L}W_{1,L} + COP_{2,L}W_{2,L} + COP_{3,L}W_{3,L} + \dots + COP_{10,40}W_{10,40}, \quad (4.8)$$

$$\min Z_3 = COPn_{1,40}n_{1,40} + COPn_{2,40}n_{2,40} + COPn_{3,40}n_{3,40} + \dots + COPn_{10,40}W_{10,40}, \quad (4.9)$$

Es necesario incluir las variables  $n_{i,40}$  para definir las restricciones del problema, pero se le asignará un valor nulo a su costo, ya que incluir un costo por CBM y un costo por contenedor, estaría ocasionando una redundancia, lo que implica la formulación incorrecta de la función y un costo mínimo errado.

Ahora, la función objetivo final es equivalente a la suma de las funciones objetivos parciales.

$$\min Z = \min (Z_1 + Z_2 + Z_3), \quad (4.10)$$

#### • Restricciones

Se procede a escribir en lenguaje matemático las restricciones definidas en la fase de análisis. Se puede afirmar que el modelo está sujeto a:

- Restricciones de oferta de las fábricas.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{10} Y_{1,j} &= O_1, \\ \sum_{j=1}^{10} Y_{2,j} &= O_2, \\ &\vdots \\ \sum_{j=1}^{10} Y_{24,j} &= O_{24}, \end{aligned} \quad (4.11)$$

donde  $O_i$  representa el número de CBM disponibles en la fábrica  $i$ , con  $i=1, 2, \dots, 10$ . Este valor será conocido por el usuario de la herramienta y se refiere al volumen total de la orden u órdenes de compra que se encuentran disponibles en la fábrica correspondiente.

- Restricciones de balance en los puertos

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{24} Y_{i,1} &= W_{1,L} + W_{1,20} + W_{1,40}, \\
\sum_{i=1}^{24} Y_{i,2} &= W_{2,L} + W_{2,20} + W_{2,40}, \\
&\vdots \\
&\vdots \\
\sum_{i=1}^{24} Y_{i,10} &= W_{10,L} + W_{10,20} + W_{10,40}, \quad (4.12)
\end{aligned}$$

- Restricciones de capacidad de los contenedores

Para los fletes de tipo LCL, la capacidad del contenedor se tomará como 29 CBM, este valor es igual al de la capacidad de los contenedores de 20 pies, ya que al contratar un flete LCL, lo que cambia es la modalidad en la que se envía la carga. La ecuación 4.13 expresa la restricción de capacidad para este tipo de flete.

$$W_{j,L} \leq 29, \text{ con } j = 1, 2, \dots, 10 \quad (4.13)$$

Para el caso de los fletes que se contratan bajo la modalidad FCL, hay dos posibles tamaños que considera el modelo, el contenedor de 20 pies cuya capacidad en metros cúbicos es igual a 29 y el contenedor de 40 pies que tiene una capacidad igual al doble de contenedor de 20 pies, 58 CBM.

Como se mencionó anteriormente, la variable  $n$  correspondiente al número de contenedores solo es aplicable a los contenedores de 40 pies. Por esta razón, en la ecuación que exprese la capacidad de estos contenedores debe estar contemplada la posibilidad de enviar más de un contenedor. Las ecuaciones 4.14 y 4.15 representan a los contenedores de 20 y 40 pies respectivamente y restringen que la carga transportada sea menor o igual a la carga que cabe en el contenedor.

$$W_{j,20} \leq 29, \text{ con } j = 1, 2, \dots, 10 \quad (4.14)$$

$$n_{j,40} - 58W_{j,40} \leq 0, \text{ con } j = 1, 2, \dots, 10 \quad (4.15)$$

- Restricciones de demanda de envío final en contenedores

Esta restricción plantea que lo que salió de las fábricas debe ser exactamente igual a lo que salió de China en distintos contenedores y de diferentes puertos.

$$\sum_{j=1}^{10} W_{j,L} + W_{j,20} + W_{j,40} = \sum_{i=1}^{24} O_i, \quad (4.16)$$

Es importante recordar que los valores de  $O_i$ , serán conocidos y variables para cada uso de la herramienta, ya que son introducidos por el usuario al extraer la información de volumen de las órdenes de compra.

- Restricciones de no negatividad

Es necesario incluir las restricciones de no negatividad ya que las variables no pueden adoptar un valor negativo.

$$Y_{i,j}, W_{j,L}, W_{j,20}, W_{j,40}, n_{j,40} \geq 0, \text{ con } i = 1,2, \dots, 24 \text{ y } j = 1,2, \dots, 10. \quad (4.17)$$

### 4.3.2 Diseño de un modelo matemático de optimización mediante programación lineal

Al definir los parámetros del modelo en la etapa previa, el diseño del modelo de programación se encuentra prácticamente terminado. Se deben posicionar en el Excel todas las variables de decisión, con sus costos relacionados, a dichas variables se les deben asignar unas celdas con un valor inicial igual a cero, las cuales serán las “celdas cambiantes”. Estas celdas suministrarán los valores óptimos de las variables que minimizan los costos totales.

Se escriben las restricciones, relacionándolas a las celdas de las variables correspondientes. Por último, debe asignarse la función objetivo a una “celda objetivo” que contiene la ecuación que se definió como objetivo en la etapa anterior. La interfaz de la herramienta en Excel, en la cual se seleccionaron las celdas que se suministraron a la herramienta Solver se encuentra en el Anexo B. Para la ejecución del mismo, se deben completar los datos presentes en la figura 4.5 correspondiente a la ventana emergente del complemento Solver de Excel.

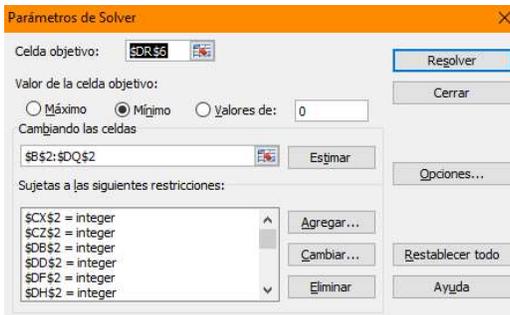


Figura 4.5 Complemento Solver de Excel

En el parámetro *Celda objetivo* debe seleccionarse la celda correspondiente a la función *SUMAPRODUCTO* de costos y variables de decisión mencionada anteriormente.

En *Valor de la celda objetivo* se debe seleccionar la opción *Mínimo* ya que lo que busca este modelo es minimizar los costos asociados al transporte y la consolidación.

En el recuadro inmediatamente inferior llamado *Cambiando las celdas* se deben seleccionar todas las celdas cambiantes que tienen un valor inicial cero, las cuales estarán identificadas con el nombre de cada variable en la interfaz.

Ahora, en la sección *Sujeta a las siguientes restricciones*, se deben agregar todas las restricciones del modelo, exceptuando las de no negatividad las cuales se incluirán más adelante. Dichas restricciones deben estar disponibles en la hoja de cálculo.

Debe incluirse una restricción adicional, que restrinja a la variable  $n$  de forma que únicamente pueda adoptar valores enteros, ya que los contenedores no pueden tener asignados valores racionales, sino el entero inmediatamente mayor. En la figura 4.6 se expone la forma de realizar esta acción.



Figura 4.6 Ventana emergente de Solver “Agregar restricción”

Por último, debe definirse la linealidad del modelo y la restricción de no negatividad, para eso es necesario seleccionar *Opciones...* y marcar las casillas *Adoptar modelo lineal* y *Adoptar no negativos*.

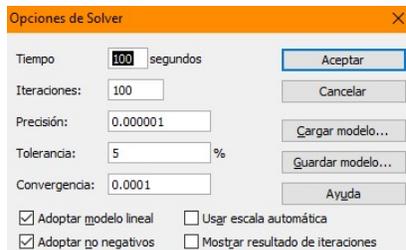


Figura 4.7 Opciones del complemento Solver.

Una vez realizados estos pasos, el modelo se encuentra diseñado. El usuario cambia ciertos valores en cada uso, pero no es necesario que haga cambios en la programación a menos que se añadan restricciones adicionales o nuevas variables.

### 4.3.3 Análisis del modelo con incorporación de nueva ruta o nuevo proveedor

El usuario puede utilizar la herramienta sin cambiar aspectos del diseño del modelo de programación lineal, siempre y cuando trabaje con alguno de los 24 proveedores o 10 puertos seleccionados. Si se quiere agregar un nuevo proveedor, un nuevo puerto o agregar alguna nueva ruta con los proveedores existentes es necesario añadir nuevas variables de decisión lo que implica agregar nuevas restricciones y modificar la función objetivo.

Tanto la función objetivo como las restricciones mantendrán la misma estructura, con la diferencia de que se añadirán nuevas variables a las sumatorias correspondientes.

Si se quiere añadir un nuevo proveedor se debe:

- Añadir una nueva variable de decisión de tipo  $Y_{ij}$
- Añadir un nuevo costo de tipo  $CT_{ij}$
- Agregar las nuevas variables con su costo asociado a la función objetivo
- Añadir una nueva restricción de oferta en la fábrica
- Modificar las restricciones de balance en los puertos de forma que se añada la variable referente a la nueva fábrica en las ecuaciones de los puertos con los que trabaje
- Para cada variable adicional que se haya incluido en el modelo deben incluirse las restricciones de no negatividad (esto es referente a los parámetros teóricos, porque la herramienta de solver ya tendrá esta opción como predeterminada)

Si se quiere agregar un nuevo puerto se debe:

- Añadir nuevas variables de decisión de tipo  $Y_{ij}$ ,  $W_{j,L}$ ,  $W_{j,20}$ ,  $W_{j,40}$  y  $n_{j,40}$ .
- Añadir nuevos costos de tipo  $CT_{ij}$ ,  $COP_{j,l}$ ,  $COP_{j,20}$ ,  $COP_{j,40}$  y  $COPn_{j,40}$ .
- Agregar las nuevas variables con su costo asociado a la función objetivo.
- Modificar cada restricción de oferta en la que el proveedor se transporte al puerto añadido.
- Agregar una restricción de balance en el nuevo puerto.
- Agregar nuevas restricciones de capacidad para los tres tipos de envío de cargas en los que se incluyan las variables recientemente agregadas.
- Modificar la restricción de demanda final, agregando las nuevas variables de tipo W.
- A cada variable adicional se le debe asignar una restricción de no negatividad.

Si se quiere agregar una nueva ruta se debe:

- Agregar nuevas variables de decisión de tipo  $Y_{ij}$ , correspondientes a las nuevas rutas.

- Añadir nuevos costos de tipo  $CT_{ij}$ , asociados a la nueva ruta o rutas agregadas.
- Agregar las nuevas variables con su costo asociado a la función objetivo.
- Modificar la restricción de oferta de la fábrica involucrada en la nueva ruta agregada.
- Agregar la nueva ruta a la restricción de balance del puerto que corresponda.
- A cada variable adicional se le debe asignar una restricción de no negatividad.

#### 4.3.4 Diseño de indicadores de gestión para el control del modelo

Para determinar si el modelo diseñado está siendo efectivo es necesario tener alguna medida de comparación con el método empleado anteriormente y los costos asociados a las operaciones si se mantiene dicho método. En esta fase, se definieron los dos principales indicadores que se utilizarán para medir la eficiencia del modelo de optimización.

El indicador %*Ahorro* expresado en la ecuación 4.18 Presenta en cifras tangibles cuanto se ahorra la compañía en costos logísticos a partir del uso de la herramienta.

$$\%Ahorro = \frac{CLI - CLF}{CLI} \times 100, \quad (4.18)$$

donde, CLI representa el costo logístico inicial, el cual viene dado por la forma habitual de trabajar de la compañía. Siguiendo esta metodología, las órdenes de compra involucradas en cada prueba de aceptación de la herramienta, tendrán un costo asociado. Es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos para determinar este costo:

- No habrán costos asociados a transportar a puertos diferentes al habitual, ya que solo se consolidarán órdenes que trabajen con el mismo puerto.
- Si el volumen de la orden de compra excede los 29 CBM (y no sobrepasa los 58 CBM) se envía en un contenedor de 40 pies.
- Si el volumen de mercancía en el puerto es mayor a 15 CBM y menor a 29 CBM, se envía en un contenedor de 20 pies, de lo contrario se envía bajo la modalidad de LCL.

Bajo estos parámetros es posible calcular CLI, multiplicando la cantidad de contenedores por su costo asociado y sumándolos. Además se incluyen los costos fijos relacionados al manejo en destino, presentes en el tarifario del operador logístico

Por otro lado, CLF representa el Costo Logístico Final suministrado por el modelo de programación lineal diseñado, con algunas modificaciones.

En el diseño del modelo se realizaron suposiciones respecto a los costos de los fletes FCL para conservar la linealidad del problema, es necesario que para obtener un resultado lo más

cercano a la realidad posible se deben tomar los valores asignados a las variables de tipo  $W_{j,20}$  y  $W_{j,40}$  y de acuerdo a estas se asignen los costos reales según el tipo de contenedor, en vez de los costos utilizados en el modelo  $COP_{j,20}$  y  $COP_{j,40}$  las cuales son cifras “promedio” estimadas.

Además del ahorro monetario, también se quiere definir la eficiencia en las operaciones por medio de la utilización de los contenedores, haciendo uso de la ecuación 4.19

$$Nivel_{utilcont} = \frac{Cap_{utilizada}}{Cap_{real}}, \quad (4.19)$$

$Cap_{real}$  representa la capacidad real del contenedor, la cual ha sido previamente definida en etapas anteriores del proyecto. La capacidad real del contenedor contratado bajo la modalidad LCL será igual a 29 CBM. De la misma forma, la capacidad real del contenedor contratado bajo la modalidad FCL de 20 pies, será igual a 29 CBM y la capacidad real del contenedor contratado bajo la modalidad FCL de 40 pies, será igual a 58 CBM.

Una vez definidos estos valores se concluye que la Capacidad real del contenedor se expresa mediante la ecuación 4.20.

$$Cap_{real} = \sum_{j=1}^{10} (29 * n_{j,L}) + (29 * n_{j,20}) + (58 * n_{j,40}), \text{ con } j = 1, 2, \dots, 10. \quad (4.20)$$

**Dondedonde,**  $n_{j,L}$  representa el número de contenedores que salen bajo la modalidad LCL del puerto  $j$ ,  $n_{j,20}$  representa el número de contenedores bajo la modalidad FCL de 20' que salen del puerto  $j$  y  $n_{j,40}$  representa el número de contenedores bajo la modalidad FCL que salen del puerto  $j$ .

$Cap_{utilizada}$ , representa la capacidad utilizada del contenedor que será igual a la suma de los CBM transportados, en otras palabras, será igual al total de mercancía distribuida en los distintos puertos, en diferentes contenedores, como plantea la ecuación 4.21.

$$Cap_{utilizada} = \sum_{j=1}^{10} W_{j,L} + W_{j,20} + W_{j,40}, \text{ con } j = 1, 2, \dots, 10. \quad (4.21)$$

Mediante el uso de estos dos indicadores será posible medir, la efectividad del modelo de programación lineal que es planteado en este proyecto.

#### **4.3.5 Diseño de reportes y herramientas en la que será presentado.**

El equipo de Compras y Operaciones, debe comprender como introducir la data al modelo de programación de forma que arroje resultados válidos y entender la solución suministrada

Con esta finalidad, se añadieron pestañas adicionales en el archivo que contiene el modelo de programación lineal, con una interfaz fácil de interpretar, en la que se presentan los resultados del modelo y los valores de los indicadores de gestión.

Este archivo lleva el nombre de “Herramienta de Consolidación de Mercancía” y se compone de la siguiente manera:

La pestaña *Consolidación de Mercancía* enlista los 24 proveedores involucrados junto a 24 casillas adyacentes en las que se debe introducir el total de CBM que se va a enviar con cada uno de ellos. Además incluye una tabla que indica la cantidad de CBM que se deben enviar a cada puerto, de cada fábrica. Así como también el número de contenedores respectivos y el tipo de flete asignado. Las variables con un valor asignado se resaltan de color, de forma que el usuario pueda entender con facilidad y envíe la información correcta a cada proveedor.

La pestaña *Costo Inicial*, contiene tres tablas que, con la información de volumen introducida por el usuario realizan la distribución de la manera habitual de la empresa. Según la cantidad de CBM en cada fábrica se asigna un tipo de contenedor basado su volumen y si se presenta el caso de contenedores en un mismo puerto con volúmenes bajos de mercancía se consolidan, en un contenedor de 20 pies o en uno de 40 pies. La herramienta asigna un tipo de flete según su volumen y el usuario según su criterio, debe decidir cuales va a consolidar y en que tamaño de contenedor. De esta forma, la herramienta calcula el costo estimado de enviar dicha mercancía, con fines comparativos. En el anexo B se puede observar la interfaz de dicha pestaña, las casillas de color azul, son las que deben ser completadas por el usuario.

La pestaña *Costo Final*, es la que presenta el costo logístico final asociado al transporte y consolidación propuesta por el modelo, en esta se presenta el número y tipo de contenedores, sus costos asociados y el costo final de toda la operación. Incluye un recuadro con los costos fijos y variables para fletes de tipo LCL y FCL, el analista de Compras está encargado de confirmar los precios con el tarifario mensual y modificarlos en caso de cambios. Por último, esta pestaña indica el valor a partir del cual es recomendable contratar un flete de tipo LCL, basándose en la información del tarifario.

La pestaña *Indicadores*, presenta los valores de los indicadores diseñados utilizando la información suministrada por el usuario y calculada mediante el modelo. Presenta tres valores: Ahorro generado, nivel de utilización inicial y nivel de utilización final.

La última pestaña, *SOLVER TODO*, es la que contiene el modelo de programación lineal suministrado a la herramienta Solver, recopila información de volumen de las otras pestañas, contiene las variables de decisión, celda objetivo y restricciones. El usuario debe seleccionar esta pestaña para ejecutar el Solver y es la que debe editar para modificaciones en el planteamiento del modelo. En el anexo puede observarse la interfaz de esta pestaña, es difícil interpretar las soluciones en esta pestaña debido a la gran cantidad de variables y ecuaciones.

En conjunto con la *Herramienta de consolidación de mercancía*, se suministra un manual a la compañía, explicando el procedimiento paso a paso para la utilización de esta.

#### **4.3.6 Diseño de un plan de implementación**

Los directores expresaron su opinión y recomendaciones en relación a las pruebas de aceptación que se debían hacer a la herramienta. El plan consistió en presentar las características del modelo y la herramienta al Departamento de Compras y Operaciones y al director general, se explicó el funcionamiento y utilidad de cada campo y se suministró a cada uno de los involucrados el manual correspondiente.

Se acordó realizar pruebas de ejecución de la herramienta con órdenes que manejan volúmenes parecidos a los actuales y de esta forma apreciar si la herramienta es necesaria para el departamento.

#### **4.4 Ejecución del modelo, prueba de aceptación y análisis de resultados.**

Es necesario que al ejecutar el modelo se sigan una serie de pasos de forma ordenada para minimizar la cantidad de errores humanos que afecten la veracidad del resultado.

El primer factor a considerar es la cantidad de órdenes involucradas en la prueba de aceptación y el volumen asociado a cada una de ellas. En la fase de levantamiento de información se recopiló información referente a la última oc por medio del Sistema Operativo Odo, en estas órdenes se encontraban la cantidad de CBM asociados, estos valores fueron asociados a los distintos proveedores seleccionados para el modelo. Tomando en cuenta las observaciones del equipo de trabajo se realizaron las siguientes pruebas de aceptación.

Una primera prueba en la que participaran todos los proveedores involucrados, con la última orden de compra asociada a ellos.

Una segunda prueba, cercana a la realidad en la que estuvieran en producción 6 órdenes, este escenario se asemeja al panorama actual de la compañía. Se utilizaron los datos de volumen asociados a la última oc realizada.

Una tercera prueba, que plantea el escenario del próximo mes en el cual solo se habrá finalizado la producción en tres fábricas, con los datos de volumen de la última oc.

Una vez introducidos estos datos, debe ejecutarse el modelo de programación, para evaluar la solución suministrada.

El usuario debe confirmar los datos de los costos para fletes del tipo LCL y FCL tanto fijos como variables, de forma que coincidan con el último tarifario vigente. Antes de realizar el análisis correspondiente a los resultados, el usuario debe dirigirse a la pestaña Costo Inicial y según la propuesta de la herramienta, hacer la modificación que considere prudente en cuanto al número de contenedores de forma que la comparación final de costos sea lo más objetiva posible.

#### 4.4.1 Análisis de Resultados

Se realizó la primera prueba de ejecución con los valores presentes en la tabla 4.4

Proveedor	Total CBM
1	5.68
2	21.76
3	34.776
4	58.77
5	8.8875
6	2.88
7	1.476
8	1.72
9	63.6
10	56.248
11	16.83
12	1.3
13	21.488
14	28.172
15	129.6
16	28.248
17	163.961
18	18.672
19	7.5
20	13.584
21	66.206
22	7.258
23	16.875
24	4.848
<b>Total CBM</b>	<b>780.3395</b>

Tabla 4.4 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 1.

Luego de ejecutar el modelo de programación lineal, se obtuvieron los siguientes resultados:

El comportamiento del modelo respecto a las variables de decisión de tipo  $W_{j,L}$ ,  $W_{j,20}$  y  $W_{j,40}$ , presentes en las tablas 4.5 4.6 y 4.7 fue el primer factor resaltante No se asignó ningún valor a las variables de tipo  $W_{j,L}$  y  $W_{j,20}$ , asignando la totalidad de mercancía a las variables de tipo  $W_{j,40}$ , incluso para cantidades pequeñas como en el caso de la variable  $W_{j,40}$  a la cual se le se asignó un valor de 2.88 CBM.

Nombre de la variable de decisión	W1,l	W2,l	W3,l	W4,l	W5,l	W6,l	W7,l	W8,l	W9,l	W10,l
Valor asignado (CBM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo asociado (\$)	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110

Tabla 4.5 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo LCL en la prueba de ejecución 1.

Nombre de la variable de decisión	W1,20	W2,20	W3,20	W4,20	W5,20	W6,20	W7,20	W8,20	W9,20	W10,20
Valor asignado (CBM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo asociado (\$)	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86	75.86

Tabla 4.6 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo FCL en contenedores de 20 pies en la prueba de ejecución 1.

Nombre de la variable de decisión	W1,40	W2,40	W3,40	W4,40	W5,40	W6,40	W7,40	W8,40	W9,40	W10,40
Valor asignado (CBM)	60.246	0	0	10.1875	326.657	63.6	28.1320007	28.132	260.505	2.88
Costo asociado (\$)	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43	26.43

Tabla 4.7 CBM de mercancía asignados a fletes de tipo FCL en contenedores de 40 pies en la prueba de ejecución 1.

Parece ser incongruente enviar 2,88 CBM en un contenedor que tiene una capacidad de 58 CBM, utilizando solo el 5,22% de su capacidad. Esto ocurre debido a las suposiciones realizadas en la etapa de definición de alcance, en la que se asignó un costo promedio por CBM a los contenedores FCL con la finalidad de conservar la linealidad del problema.

El costo de  $W_{j,40}$  supuesto indica que el contenedor tiene más del 50% por ciento de su capacidad ocupada, por lo que si se presentan casos en los que las cantidades transportadas sean menores a esta, el costo final suministrado no es representación de la realidad, ya que indica un costo menor al que se incurrirá. De la misma forma, si se supone un costo que implique una menor ocupación del contenedor, el costo final aumenta y puede presentar un escenario más pesimista al real. De las dos maneras, el resultado del costo final suministrado por el modelo tiende a presentar un valor errado

La información de la tabla 4.8 correspondiente al número de contenedores de 40 pies que salen de los diferentes puertos se deriva de los valores asignados a las variables de tipo  $W_{j,40}$ .

Nombre de la variable de decisión	n1,40	n2,40	n3,40	n4,40	n5,40	n6,40	n7,40	n8,40	n9,40	n10,40
Valor asignado (un)	2	0	0	1	6	2	1	1	5	1
Costo asociado (\$)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.8 Número de contenedores de 40 pies que salen de los diferentes puertos en la prueba de ejecución 1.

Por las razones planteadas anteriormente, debe modificarse la manera de calcular el costo final de la operación, tomando en cuenta los valores de los costos reales de tipo COP. Para lograr esto, se utilizaron operadores lógicos en Excel que evalúan los valores correspondientes a las variables de decisión de tipo  $W_{j,40}$ , y dependiendo de estos le asigna un contenedor de otro tipo, del mismo tipo o una combinación de contenedores.

Una vez ejecutado el complemento Solver de Excel este suministra una solución, en la interfaz diseñada, específicamente en la pestaña *Consolidación de Mercancía*.

Proveedor	Cantidad a enviar a cada puerto									
	Shanghai	Tianjin	Qingdao	Lianyungang	Xiamen	Nantong	Yantian	Shenzen	Ningbo	Fuzhou
1	0.00			0.00		0.00			5.68	
2	0.00		0.00	0.00		0.00			21.76	
3							6.64	28.13		
4	58.77					0.00			0.00	
5		0.00	0.00	8.89						
6					0.00				0.00	2.88
7	1.48		0.00	0.00		0.00			0.00	
8	0.00			0.00		0.00			1.72	
9	0.00		0.00	0.00		63.60			0.00	
10	0.00								56.25	
11	0.00					0.00			16.83	
12		0.00	0.00	1.30						
13					0.00		21.49	0.00		
14	0.00					0.00			28.17	
15					129.60				0.00	
16					28.25		0.00	0.00		
17					163.96				0.00	
18	0.00		0.00	0.00		0.00			18.67	
19	0.00					0.00			7.50	
20	0.00			0.00		0.00			13.58	
21	0.00					0.00			66.21	
22	0.00					0.00			7.26	
23	0.00				0.00	0.00			16.88	
24					4.85				0.00	
<b>Total CBM</b>	60.25	0.00	0.00	10.19	326.66	63.60	28.13	28.13	260.51	2.88
<b>Nro de Contenedores</b>	2	0	0	1	6	2	1	1	5	1
	2.25	0.00	0.00	0.00	36.66	5.60	0.00	0.00	28.51	0.00
<b>Tipos de Contenedores</b>	Combinacion	0	0	20 pies	Combinacion	Combinacion	20 pies	20 pies	Combinacion	LCL
<b>Combinación de Contenedores</b>	40 + LCL	0	0	0	40*nro de contenedores	40 + LCL	0	0	Combinacion (Nro de contenedores 1*40)+20	0

Tabla 4.9 Cantidad de CBM asignadas de cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 1

En la tabla 4.9 se aprecia la forma en la que el modelo distribuyó la mercancía con el fin de ahorrar costos.

La fila *Total CBM*, presenta los valores de las variables de tipo  $W_{j,40}$ . La fila inmediatamente inferior denominada *Nro de Contenedores*, presenta los valores de las variables de tipo  $n_{j,40}$ .

Ahora bien, la fila *Tipos de Contenedores* utilizando los valores de las dos filas superiores presenta el tipo de contenedores a enviar desde cada puerto basado en el siguiente planteamiento lógico:

Si el volumen es menor o igual a un valor  $X_{LCL}$  a partir del cual es preferible enviar un contenedor bajo la modalidad LCL, se envía un contenedor de este tipo. El valor  $X_{LCL}$ , se calcula a partir de la ecuación 4.22

$$X_{LCL} = \frac{CV_{20} - CF_{LCL}}{CV_{LCL}}, \quad (4.22)$$

donde,  $X_{LCL}$  representa el volumen “límite” para trabajar bajo la modalidad LCL,  $CV_{20}$  es el costo variable asociado,  $CV_{20}$  es el costo variable asociado a usar contenedores de 20 pies,  $CF_{LCL}$  y  $CV_{LCL}$  son los costos fijos y variables asociados a enviar cargas bajo la modalidad LCL.

Al calcular el valor de  $X_{LCL}$ , utilizando las tarifas suministradas, se obtuvo que el valor para el mes de vigencia del tarifario era igual a 6.823 CBM, cantidad que difiere de la metodología actual de la compañía en la cual se considera que el punto a partir del cual se debe optar por un contenedor FCL de 20 pies es a partir de 15 CBM.

Si el volumen es mayor a  $X_{LCL}$  y menor o igual a 29 CBM, se envía un contenedor de 20 pies.

Si el volumen es mayor a 29 CBM y menor o igual a 58 CBM se envía un contenedor de 40 pies

Si el volumen sobrepasa los 58 CBM, se envía una combinación de contenedores.

LCL	FCL - 20 Pies	FCL - 40 Pies	Combinación
• $W_{j,40} \leq X_{LCL}$	• $W_{j,40} > X_{LCL}$ • $W_{j,40} \leq 29$	• $W_{j,40} > 29$ • $W_{j,40} \leq 58$	• $W_{j,40} > 58$

Figura 4.8 Asignación de tipo de contenedor según cantidad de CBM a enviar.

Una vez que se definieron los intervalos a partir de los cuales es mejor escoger un tipo de contenedor u otro, se procede a repetir el procedimiento en el caso de que sea una combinación de contenedores, esta vez utilizando la diferencia entre el volumen de mercancía a transportar y la capacidad de un contenedor de 40 pies. Si después de seguir este procedimiento la opción seleccionada es “Combinación”, se procede a dividir la cantidad de CBM a transportar entre 58 para estimar la cantidad de contenedores que se requieren en el puerto.

40'+LCL	40' + 20'	40' + 40'	Combinación de tres contenedores o más
• $W_{j,40-58} \leq XLCL$	• $W_{j,40-58} > XLCL$ • $W_{j,40-58} \leq 29$	• $W_{j,40-58} > 29$ • $W_{j,40-58} \leq 58$	• $W_{j,40-58} > 58$

Figura 4.9 Asignación de combinaciones de contenedores según cantidad de CBM a enviar

De esta forma, es posible afirmar que se están seleccionando los mejores tipos de contenedores posibles, basándose en la solución del modelo de programación y utilizando los costos reales suministrados por el operador logístico.

Después de haber analizado este factor del comportamiento del modelo y suministrado una solución, es posible realizar el análisis de todos los resultados de esta prueba de ejecución y las siguientes con mayor facilidad.

Al continuar con el análisis de la primera prueba de ejecución, cuyo resultado se encuentra en la Tabla 4.9 se aprecia que en algunos casos la herramienta optó por distribuir la mercancía en diferentes puertos mientras que en otros casos envió la totalidad de la mercancía a un solo puerto. Gracias a esto, se revisaron los parámetros de costos suministrados a la herramienta Solver de tipo  $CT_{ij}$  y fue posible observar que todas las variables de decisión que tenían un valor asignado en esta prueba tenían un costo asociado  $CT_{ij}$  igual a cero, es decir, enviar desde la fábrica  $i$  al puerto  $j$  no implicaba un costo extra al del envío al puerto habitual. Este hecho reafirma la teoría planteada anteriormente en relación a calcular los costos finales de la operación basándose únicamente en las cantidades enviadas a cada puerto, identificadas como variables de tipo  $W$ , no obstante en cada prueba de ejecución debe verificarse que los costos de tipo  $CT_{ij}$  asociados a las variables de decisión de tipo  $Y_{ij}$  sean igual a cero.

En la tabla 4.10 se puede observar la cantidad de contenedores de cada tipo asociadas a los puertos,  $CT_{LCL}$  se calculó a partir del total de CBM presentes en el puerto, solo si el flete que quedó definido en ese puerto fue de tipo LCL, el costo se calcula mediante la ecuación 4.23.

$$CT_{LCL} = (W_{j,40} * CV_{LCL}) + CF_{LCL}, \quad (4.23)$$

donde,  $CT_{LCL}$  representa el costo asociado a la mercancía enviada bajo la modalidad LCL desde un puerto,  $CV_{LCL}$  es el costo fijo asociado a enviar mercancía bajo la modalidad LCL y  $CF_{LCL}$  representa el costo fijo asociado a enviar mercancía bajo esta modalidad.

Por otro lado, la columna *Costo Sub Total*, representa el costo asociado a todos los contenedores enviados desde un puerto ya sea bajo la modalidad LCL o FCL y se calcula mediante la ecuación 4.24.

$$C_{Subtotal} = CT_{LCL} + (CV_{20} * n_{j,20}) + (CV_{40} * n_{j,20}), \quad (4.24)$$

donde,  $C_{Subtotal}$  es el costo asociado a todos los contenedores a enviar desde un puerto,  $CV_{20}$  y  $CV_{40}$  son los costos variables asociados a enviar contenedores de 20 y 40 pies respectivamente.

COSTO LOGÍSTICO FINAL						
Puerto	LCL	20"	40"	Total Contenedores	Costo LCL (\$)	Costo Sub Total (\$)
Shanghai	1	0	1	2	629.98	1904.98
Tianjin	0	0	0	0	0	0
Qingdao	0	0	0	0	0	0
Lianyungang	0	1	0	1	0	1225
Xiamen	0	0	6	6	0	7650
Nantong	1	0	1	2	1066	2341
Yantian	0	1	0	1	0	1225
Shenzen	0	1	0	1	0	1225
Ningbo	0	1	4	5	0	6325
Fuzhou	1	0	0	1	712.4	712.4
<b>Costo total (\$)</b>						<b>22608.38</b>

Tabla 4.10 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 1

La herramienta suministrada al personal contiene las ecuaciones que se mencionaron anteriormente, de forma que se muestra al usuario el costo total de la operación de forma automática en la casilla denominada *Costo total*.

El costo total en esta prueba de ejecución fue igual a \$22.608,38, mientras que el Costo Inicial, calculado basado en el procedimiento habitual de la empresa, da un valor igual a \$24.650,895, lo que quiere decir que mediante la utilización del modelo de programación lineal y a partir de los datos suministrados en la prueba de aceptación, se generaría un ahorro de \$2.042,515 aproximadamente.

Dicho monto, equivale a un poco menos de dos contenedores de 20 pies, en los que se la compañía podría nueva mercancía al almacén o también podría ser el monto equivalente al adelanto del 30% de una orden de compra pequeña, que estaría gastándose innecesariamente. Esta cantidad podría aprovecharse para mejorar algunos productos, invirtiendo en aquellos que son de mayor calidad, sin afectar en gran medida el precio final del producto.

En la tabla 4.11 se pueden apreciar los valores de los indicadores de gestión.

INDICADORES DE GESTIÓN			
Costos	Costo logístico inicial (\$)	Costo logístico final (\$)	Ahorro generado
	24650.895	22608.38	8.29%
Utilización Inicial	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	780.3395	986	79.14%
Utilización Final	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	780.3395	928	84.09%

Tabla 4.11 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 1.

En base a los resultados obtenidos, se observa un ahorro generado de 8.29%, lo cual implicaría beneficios para la empresa. Así como también se puede apreciar un aumento en el nivel de utilización de los contenedores en 4.95%, un resultado coherente ya que la consolidación de mercancía implica un mayor aprovechamiento en el espacio de los contenedores.

Luego, se procede con la segunda prueba de ejecución la cual implica una cantidad mucho menor de proveedores involucrados, simulando una situación parecida a la que maneja la

empresa en sus operaciones mensuales. Estos proveedores fueron escogidos al azar y se utilizaron los mismos valores de volumen de mercancía de la prueba anterior.

Los valores de mercancía asignados a cada proveedor se encuentran en la Figura 4.12.

Proveedor	Total CBM
1	0
2	21.76
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	56.24
11	16.83
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	18.672
19	7.5
20	13.584
21	0
22	0
23	0
24	0
<b>Total CBM</b>	<b>134.586</b>

Tabla 4.12 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 2.

Se ejecutó el modelo y se procedió con el análisis de los resultados obtenidos. El primer factor resaltante fue el hecho de que una vez más, la totalidad de los CBM se asignó a variables de tipo  $W_{j,40}$ , lo que afirma la hipótesis planteada para el cálculo de costos en la primera prueba.

Además se repitió el comportamiento en el que todas las variables de decisión con un valor asignado en la prueba tenían un costo asociado  $CT_{ij}$  igual a cero.

La tabla 4.13 presenta la forma en la que el modelo de programación ha distribuido la mercancía con la finalidad de ahorrar costos.

Se hizo uso de 2 puertos y 3 fletes de tipo FCL con contenedor de 40 pies.

Cantidad a enviar a cada puerto										
Proveedor	Shanghai	Tianjin	Qingdao	Lianyungang	Xiamen	Nantong	Yantian	Shenzen	Ningbo	Fuzhou
1	0.00			0.00		0.00			0.00	
2	21.76		0.00	0.00		0.00			0.00	
3							0.00	0.00		
4	0.00					0.00			0.00	
5		0.00	0.00	0.00						
6					0.00				0.00	0.00
7	0.00		0.00	0.00		0.00			0.00	
8	0.00			0.00		0.00			0.00	
9	0.00		0.00	0.00		0.00			0.00	
10	0.00								56.24	
11	0.00					0.00			16.83	
12		0.00	0.00	0.00						
13					0.00		0.00	0.00		
14	0.00					0.00			0.00	
15					0.00				0.00	
16					0.00		0.00	0.00		
17					0.00				0.00	
18	18.67		0.00	0.00		0.00			0.00	
19	0.00					0.00			7.50	
20	0.00			0.00		0.00			13.58	
21	0.00					0.00			0.00	
22	0.00					0.00			0.00	
23	0.00				0.00	0.00			0.00	
24					0.00				0.00	
<b>Total CBM</b>	40.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.15	0.00
<b>Nro de Contenedores</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.15	0.00
<b>Tipos de Contenedores</b>	40 pies	0	0	0	0	0	0	0	Combinacion	0
<b>Combinación de Contenedores</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	40+40	0

Tabla 4.13 Cantidad de CBM asignadas desde cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 2

Analizando la distribución asignada, se aprecia que la carga de 6 proveedores ubicada en 2 puertos diferentes se consolidó por completo. La mercancía de los dos proveedores en Shanghai se consolidó en un contenedor de 40' y la mercancía correspondiente al puerto de Ningbo se consolidó en dos contenedores de 40'. No se realizó transporte de mercancía a algún puerto fuera del habitual

COSTO LOGÍSTICO FINAL						
Puerto	LCL	20"	40"	Total Contenedores	Costo LCL (\$)	Costo Sub Total (\$)
Shanghai	0	0	1	1	0	1275
Tianjin	0	0	0	0	0	0
Qingdao	0	0	0	0	0	0
Lianyungang	0	0	0	0	0	0
Xiamen	0	0	0	0	0	0
Nantong	0	0	0	0	0	0
Yantian	0	0	0	0	0	0
Shenzen	0	0	0	0	0	0
Ningbo	0	0	2	2	0	2550
Fuzhou	0	0	0	0	0	0
<b>Costo total (\$)</b>						3825

Tabla 4.14 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 2

En la tabla 4.14 se plantea la distribución de contenedores suministrada por la herramienta, en conjunto con las operaciones lógicas vinculadas a esta. Además, se muestran los costos asociados a dichos contenedores y el costo total de la operación el cual da un monto final igual a \$3.825, mientras que el costo calculado de la forma habitual, da un valor exactamente igual.

Al trabajar con menos proveedores no se generó un ahorro, aunque esto también está ligado a otros factores como la cantidad de CBM en las oc y los puertos utilizados por cada proveedor.

INDICADORES DE GESTIÓN			
Costos	Costo logístico inicial (\$)	Costo logístico final (\$)	Ahorro generado
		3825	3825
Utilización Inicial	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	134.586	174	77.35%
Utilización Final	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	134.586	174	77.35%

Tabla 4.15 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 2.

En base a los resultados obtenidos, se observa que no se ha generado ahorro alguno. Es posible que esto se deba a que los proveedores supuestos para esta prueba de aceptación se encontraban concentrados solo en 2 provincias, lo que hace que el procedimiento que lleva a cabo la empresa para tomar decisiones sea muy parecido a la respuesta del modelo.

De la misma forma, el nivel de utilización de los contenedores no presentó variaciones ya que se usaron la misma cantidad de contenedores antes y después de la implementación del modelo.

Podría decirse que es conveniente utilizar el modelo si la ubicación de los proveedores involucrados, implica gastos en fletes de tipo LCL, a diferencia de este en donde la totalidad de las cargas podían ser consolidadas en contenedores de 40 pies.

Por último, la tercera prueba de ejecución plantea un escenario parecido a las operaciones del próximo mes de la compañía, en el que solo estarán finalizadas tres órdenes de compra que deben ser despachadas.

Los proveedores involucrados presentes en la tabla 4.16 fueron seleccionados de manera aleatoria y se utilizaron los mismos valores de volumen de mercancía de la prueba de ejecución 1 y 2.

Proveedor	Total CBM
1	0
2	21.76
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	63.6
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	18.672
19	0
20	0
21	0
22	0
23	0
24	0
<b>Total CBM</b>	<b>104.032</b>

Tabla 4.16 Volumen de mercancía asignado a la prueba de ejecución 3.

Por tercera vez consecutiva y como se predijo en las pruebas anteriores, la totalidad de los CBM se asignó a variables de tipo  $W_{j,40}$ , lo que sugiere que la estimación de costos promedio por CBM para fletes de tipo FCL está afectando el resultado y afirma la hipótesis planteada para el cálculo de los costos asociados al tipo de flete en la primera prueba.

Además, se repitió el comportamiento en el que todas las variables de decisión de tipo  $Y_{i,j}$ , a las que el modelo de programación les asignó un valor en la prueba tenían un costo asociado  $CT_{ij}$  igual a cero.

Los resultados obtenidos respecto a la distribución de la mercancía son los que están presentes en la tabla 4.17. El comportamiento de estas variables podría considerarse predecible, específicamente para los proveedores 2 y 18.

Cantidad a enviar a cada puerto										
Proveedor	Shanghai	Tianjin	Qingdao	Lianyungang	Xiamen	Nantong	Yantian	Shenzen	Ningbo	Fuzhou
1	0.00			0.00		0.00			0.00	
2	0.00		0.00	0.00		0.00			21.76	
3							0.00	0.00		
4	0.00					0.00			0.00	
5		0.00	0.00	0.00						
6					0.00				0.00	0.00
7	0.00		0.00	0.00		0.00			0.00	
8	0.00			0.00		0.00			0.00	
9	0.00		0.00	63.60		0.00			0.00	
10	0.00								0.00	
11	0.00					0.00			0.00	
12		0.00	0.00	0.00						
13					0.00		0.00	0.00		
14	0.00					0.00			0.00	
15					0.00				0.00	
16					0.00		0.00	0.00		
17					0.00				0.00	
18	0.00		0.00	0.00		0.00			18.67	
19	0.00					0.00			0.00	
20	0.00			0.00		0.00			0.00	
21	0.00					0.00			0.00	
22	0.00					0.00			0.00	
23	0.00					0.00			0.00	
24					0.00				0.00	
<b>Total CBM</b>	0.00	0.00	0.00	63.60	0.00	0.00	0.00	0.00	40.43	0.00
<b>Nro de Contenedores</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0.00	0.00	0.00	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Tipos de Contenedores</b>	0	0	0	Combinacion	0	0	0	0	40 pies	0
<b>Combinación de Contenedores</b>	0	0	0	40 + LCL	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.17 Cantidad de CBM asignadas desde cada proveedor a cada puerto en prueba de ejecución 3

La predictibilidad antes mencionada se debe a que el puerto habitual de ambos es el ubicado en Ningbo. Aunque el del proveedor 8 es el ubicado en Nantong el modelo sugirió enviar la mercancía correspondiente de dicho proveedor al puerto de Lianyungang ya que el envío a este no representa ningún costo. En el sentido del modelo matemático, si ambos puertos se encuentran sin cargas extra para consolidar, resulta indiferente de cual puerto salga la carga.

COSTO LOGÍSTICO FINAL						
Puerto	LCL	20"	40"	Total Contenedores	Costo LCL (\$)	Costo Sub Total (\$)
Shanghai	0	0	0	0	0	0
Tianjin	0	0	0	0	0	0
Qingdao	0	0	0	0	0	0
Lianyungang	1	0	1	2	1066	2341
Xiamen	0	0	0	0	0	0
Nantong	0	0	0	0	0	0
Yantian	0	0	0	0	0	0
Shenzen	0	0	0	0	0	0
Ningbo	0	0	1	1	0	1275
Fuzhou	0	0	0	0	0	0
<b>Costo total (\$)</b>						<b>3616</b>

Tabla 4.18 Costos logísticos asociados a la prueba de ejecución 3

Al evaluar los costos obtenidos presentes en la tabla 4.18 en comparación con el costo total obtenido en la pestaña denominada *Costo Inicial*, es posible apreciar que el costo total de la operación dio exactamente el mismo valor, equivalente a \$3616.

Es lógico pensar que a medida que el número de proveedores disminuye, se hace innecesaria la herramienta, ya que la metodología planteada por la compañía es bastante efectiva en estos casos.

INDICADORES DE GESTIÓN			
Costos	Costo logístico inicial (\$)	Costo logístico final (\$)	Ahorro generado
		3616	3616
Utilización Inicial	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	104.032	145	71.75%
Utilización Final	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	104.032	145	71.75%

Tabla 4.19 Indicadores resultantes de la prueba de ejecución 3.

Ya que el costo logístico no varió respecto a un procedimiento u el otro, el ahorro generado fue igual a cero. Por otro lado, el nivel de utilización tampoco presentó variación alguna,

Estos resultados permiten concluir que para operaciones en las que trabajen pocos proveedores, es probable que la utilización de la herramienta no ayude en la minimización de costos logísticos, ya que la consolidación de la carga se comportará de manera similar a los procedimientos habituales llevados a cabo en el departamento. El aporte de la herramienta también dependerá de que tantos puertos están involucrados en la prueba, ya que esto amplía el espacio solución e influye en que la solución propuesta por el modelo difiera de la propuesta por la compañía

En la figura 4.10 se puede apreciar la naturaleza de los costos únicamente para la primera prueba de aceptación, ya que fue en esta que se generó un ahorro.

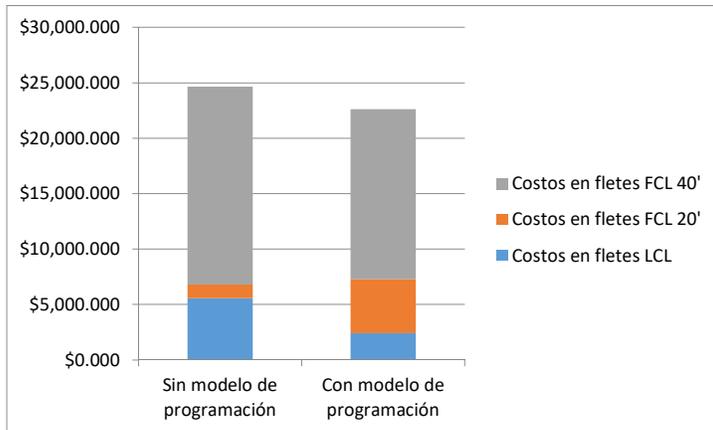


Figura 4.10 Influencia de tipos de fletes en ahorro generado

**Commented [GF6]:** Excelente gráfico. Te felicito. Esto es lo que pedía. No será mejor completar el borde e del área donde están las barras y quitar el recuadro más externo del gráfico?... Si decides hacer eso quizá también decidas quitar los cuadros externos de otras figuras.. Me parece que queda más limpio y elegante sin el cuadro externo.

Al analizar este gráfico es posible apreciar que los costos en fletes de tipo LCL se reducen más de la mitad respecto a la consolidación de mercancía sin modelo de programación. Los fletes FCL de 20 pies aumentan y por consiguiente sus costos también ya que esta carga suelta fue consolidada en contenedores de este tipo. Por último, los costos relacionados a los fletes FCL de 40 pies disminuyen al utilizar el modelo de programación. Aunque se diseñó el modelo de forma que la primera opción sea consolidar en contenedores de 40 pies, esto dependerá del volumen de mercancía que se encuentre en cada puerto y este factor depende de la distribución en los puertos asignada por el modelo.

En conclusión, el mayor aporte del modelo en el ahorro de costos es mediante la disminución de los fletes de tipo LCL, consolidando dichas cargas en contenedores de 20 pies o de 40 pies, dependiendo de su volumen.

Es importante que el departamento realice todas las pruebas que considere necesarias, ya que en cada solución suministrada por el modelo de programación se pueden apreciar diferentes factores que pueden estar influyendo en los resultados y afectando la veracidad de la solución del problema.

Podría considerarse entonces, que la solución suministrada por el modelo es “subóptima” ya que da la mejor solución posible con los parámetros que tiene, pero estos parámetros son los que no reflejan la situación real del problema, en este caso los parámetros que afectan la optimización serían los relacionados a los costos de 20 pies y 40 pies de tipo FCL.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las soluciones suministradas por el modelo de programación lineal, al igual que las soluciones planteadas basadas en consideraciones respecto a costos a lo largo del problema, permiten concluir lo siguiente:

La fase de levantamiento resultó útil, ya que por sí sola amplió las opciones del departamento y puede implicar un ahorro en los costos operativos.

El modelo de programación, en conjunto con la herramienta en la que se presentó, permite que se genere un ahorro en comparación al método utilizado actualmente para este proceso por la compañía. Sin embargo, no es garantía de que esta solución sea la óptima, ya que hay diferentes factores que impiden que el modelo represente con exactitud la situación real. Las estimaciones de costos consideradas para conservar la linealidad del problema, afectan la solución del problema tanto en el costo final como en la asignación de las variables de decisión. Estas estimaciones, hacen que se requiera un trabajo adicional por parte del usuario, lo que lo hace vulnerable a errores.

Por otro lado, al calcular el punto límite a partir del cual es preferible trabajar bajo una modalidad de flete, se afirmó que difería en más de 8 CBM con el estipulado por la empresa, esto reafirma la necesidad de calcular este punto mediante operaciones matemáticas y no de forma intuitiva.

Por otra parte, mientras menor sea la cantidad de proveedores con mercancía para despachar, menor es la influencia del uso de la herramienta en el costo final, ya que las soluciones planteadas son muy parecidas o iguales a las sugeridas mediante la metodología de la compañía.

En cuanto al comportamiento del modelo de programación, este optó por consolidar la mercancía, cada vez que el costo asociado a su transporte tenga un valor igual a cero. Es recomendable que para futuras modificaciones del modelo, se consideren únicamente las variables asociadas al transporte que tengan un costo asociado cero su formulación, de esta forma se disminuyen la cantidad de variables y será posible incluir mayor cantidad de

proveedores y considerar tamaños de contenedores como el 40HQ, que no fueron tomados en cuenta para este proyecto debido a la limitación de la cantidad de variables.

Es recomendable que para la obtención de soluciones cercanas a la óptima se utilicen métodos de optimización discreta, de forma que puedan incluirse ecuaciones no lineales que representen el comportamiento real de los costos. También se recomienda incluir restricciones referidas al peso máximo que se puede transportar en cada tipo de contenedor, ya que la empresa suele trabajar con artículos pesados de hierro que pueden no sobrepasar los límites de volumen pero sí de peso.

Por último, se recomienda incluir la primera parte del modelo, referente a la selección de fábricas basado en los costos de las órdenes de compra en etapas posteriores de esta investigación, ya que no deja de ser un factor influyente en el costo final de la operación y uno de los factores decisivos para seleccionar un proveedor.

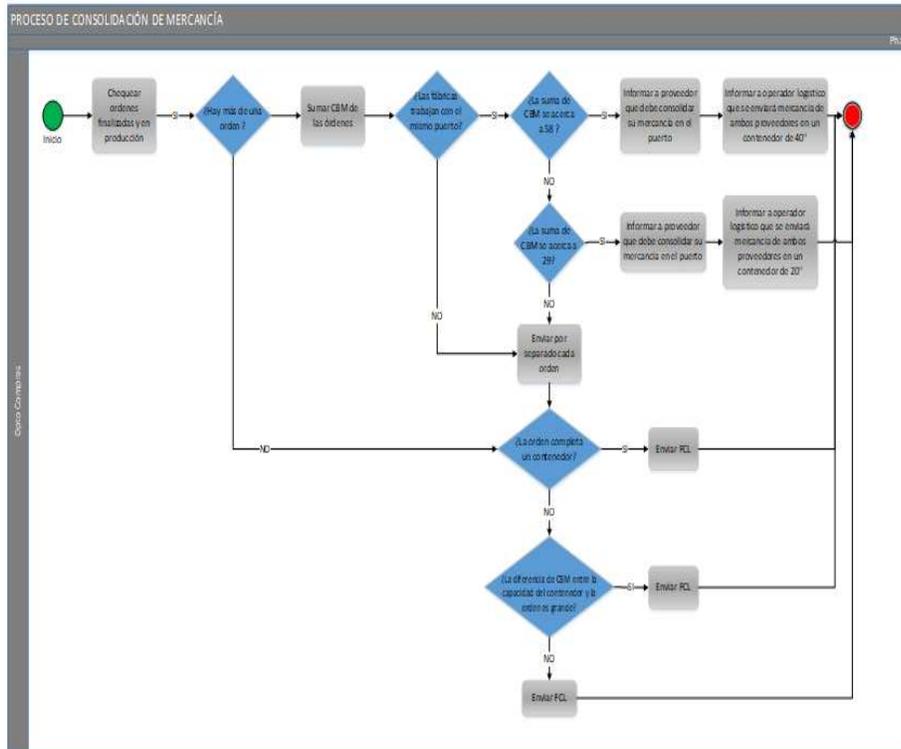
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Sevilla Arias, "Economipedia", [En línea]. Disponible en:  
<http://economipedia.com/definiciones/comercio.html>. [Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [2] J. L. Benaque, "Administración de Compras", 18 Febrero 2016. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.gestiopolis.com/administracion-de-compras/>.  
[Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [3] L. H. Viveros Nohora, Gerencia de compras: La nueva estrategia competitiva, ECOE EDICIONES, 2013.
- [4] C. Godoy Feijó y C. Ortega Briones, "Repositorio Académico de la Universidad de Chile", 2012. [En línea]. Disponible en:  
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111855/Godoy%20Feijoo.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 27 Marzo 2018].
- [5] O. Llamazares, "Global Negotiator Business Publications", [En línea]. Disponible en:  
<https://www.globalnegotiator.com/files/Que-es-una-Trading-Company.pdf>.  
[Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [6] Autor y fecha desconocidos, "Odoos", [En línea]. Disponible en:  
[https://www.odoo.com/es\\_ES/](https://www.odoo.com/es_ES/). [Último acceso: 29 Marzo 2018].
- [7] Anónimo, "Negocios Globales Logística Transporte & Distribución", Enero 2006. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.emb.cl/negociosglobales/articulo.mvc?xid=1511>.
- [8] L. Barrantes Mendoza, "Proceso Logístico de Exportación PGB Brokers", Agosto 2010. [En línea].  
Disponible en:  
<http://www.prompex.gob.pe/Miercoles/Portal/MME/descargar.aspx?archivo=A2EAD105-7AEB-41E0-9907-9BF7A110A556.PDF>.
- [9] Universidad Politécnica de Cartagena, "Glosario de Términos Logísticos", [En línea]. Disponible en:  
<https://www.upct.es/~gio/GLOSARIO%20DE%20TERMINOS%20LOGISTICOS.pdf>.  
[Último acceso: 22 Febrero 2018].

- [10] Fundación ICIL Logistics and Supply Chain, "La estrategia de compras en el comercio internacional", 7 Noviembre 2012. [En línea].  
Disponible en: <http://www.icil.org/9492/actualidad/la-estrategia-de-compras-en-el-comercio-internacional/>. [Último acceso: 21 Marzo 2018].
- [11] Anónimo, "El precio de exportación", [En línea]. Disponible en: <https://primeraexportacion.com.ar/documentos-tecnicos/el-precio-de-exportacion/>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [12] EENI Business School HA University, "Perfil Económico de China" [En línea]. Disponible en:  
<http://www.reingex.com/China-Poblacion-Idioma-Religion.asp>. [Último acceso: 25 Febrero 2018].
- [13] J. Alvarez Conett, "Chegoyo. La casa virtual de José Álvarez Cornett", 27 Diciembre 2014. [En línea].  
Disponible en: <http://chegoyo.com/asia/por-que-los-chinos-son-como-son/>.
- [14] Anónimo, "Ranking: Los 10 puertos más importantes de China", 10 Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontainers.com/es/2018/01/10/ranking-10-puertos-mas-importantes-china/>. [Último acceso: 29 Marzo 2018].
- [15] H. A. Taha, Investigación de Operaciones, México D.F.: Pearson Educación, 2012.
- [16] Grup d'Innovació Docent en Matemàtica Econòmica i Optimització, "Universitat de Barcelona", [En línea].  
Disponible en: <http://www.ub.edu/matheopt/optimizacion-economica/programacion-lineal>. [Último acceso: 30 Marzo 2018].
- [17] Excel Tech Community, "Definir y resolver un problema con Solver", [En línea]. Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>. [Último acceso: 30 Marzo 2018].
- [18] S. C. Chapra y R. P. Canale, Métodos Numéricos para Ingenieros, México D.F.: McGraw Hill Interamericana, 2006.
- [19] L. A. Mora G, "Indicadores de Gestión Logísticos", [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/4400075/INDICADORES\\_DE\\_GESTION\\_LOGISTICOS](https://www.academia.edu/4400075/INDICADORES_DE_GESTION_LOGISTICOS). [Último acceso: 20 Abril 2018].
- [20] Harvard Business Review Press, Improving Business Processes, Boston: Harvard Business Review Press, 2010.

## ANEXOS

### Anexo A Diagrama de Flujo de procesos de transporte y consolidación de carga



## Anexo B Interfaz de la “Herramienta para Consolidación de Mercancía”

### Pestaña “Consolidación de Mercancía”

Proveedor		Cantidad a enviar a cada puerto									
Proveedor	Total CBM	Shanghai	Tianjin	Qingdao	Lianyungang	Xiamen	Nantong	Yantian	Shenzhen	Ningbo	Fuzhou
1	0	0.00									
2	2176	2176		0.00	0.00		0.00			0.00	
3	0							0.00	0.00		
4	0										0.00
5	0			0.00	0.00	0.00					
6	0						0.00				0.00
7	0			0.00		0.00		0.00			0.00
8	0			0.00		0.00		0.00			0.00
9	0			0.00		0.00		0.00			0.00
10	56.24										56.24
11	16.83							0.00			16.83
12	0		0.00	0.00	0.00						
13	0						0.00	0.00	0.00		
14	0							0.00			0.00
15	0							0.00			0.00
16	0							0.00	0.00	0.00	
17	0							0.00			0.00
18	16.67			0.00	0.00			0.00			0.00
19	7.5							0.00			7.5
20	13.58				0.00			0.00			13.58
21	0							0.00			0.00
22	0							0.00			0.00
23	0							0.00	0.00		0.00
24	0							0.00			0.00
<b>Total CBM</b>	<b>134.586</b>	<b>40.43</b>	<b>0.00</b>	<b>34.15</b>	<b>0.00</b>						
<b>No de Contenedor</b>		1	0	0	0	0	0	0	0	2	0
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.15	0.00
<b>Tipos de Combinación de Contenedor</b>		40 pies	0	0	0	0	0	0	0	Combinador	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	40+40	0

### Pestaña “Costo Inicial”

Puerto	Proveedores	Total CBM	LCL	20'	40'	Combinación
Ningbo	1	0	0	0	0	0
Shanghai	2	2176	0	1	0	0
Shenzhen	3	0	0	0	0	0
Shanghai	4	0	0	0	0	0
Tianjin	5	0	0	0	0	0
Fuzhou	6	0	0	0	0	0
Shanghai	7	0	0	0	0	0
Shanghai	8	0	0	0	0	0
Nantong	9	0	0	0	0	0
Ningbo	10	56.24	0	0	1	0
Ningbo	11	16.83	0	1	0	0
Qingdao	12	0	0	0	0	0
Shenzhen	13	0	0	0	0	0
Ningbo	14	0	0	0	0	0
Xiamen	15	0	0	0	0	0
Xiamen	16	0	0	0	0	0
Xiamen	17	0	0	0	0	0
Shanghai	18	16.67	0	1	0	0
Ningbo	19	7.5	1	0	0	0
Ningbo	20	13.58	1	0	0	0
Ningbo	21	0	0	0	0	0
Shanghai	22	0	0	0	0	0
Ningbo	23	0	0	0	0	0
Xiamen	24	0	0	0	0	0

Inicial	Combinación		
	LCL	20'	40'
Shanghai	0	3	0
Ningbo	2	2	1
Shenzhen	0	0	0
Tianjin	0	0	0
Fuzhou	0	0	0
Nantong	0	0	0
Qingdao	0	0	0
Xiamen	0	0	0
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

Propuesta	Combinación		
	LCL	20'	40'
Shanghai			1
Ningbo			2
Shenzhen			
Tianjin			
Fuzhou			
Nantong			
Qingdao			
Xiamen			
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Costo total</b>	<b>0</b>	<b>3825</b>	<b>3825</b>

## Pestaña "Costo Final"

COSTO LOGÍSTICO FINAL						
Puerto	LCL	20"	40"	Contenedores	Costo LCL (\$)	Costo Sub Total (\$)
Shanghai	0	0	1	1	0	1275
Tianjin	0	0	0	0	0	0
Qingdao	0	0	0	0	0	0
Lianyungang	0	0	0	0	0	0
Xiamen	0	0	0	0	0	0
Nantong	0	0	0	0	0	0
Yantian	0	0	0	0	0	0
Shenzhen	0	0	0	0	0	0
Ningbo	0	0	2	2	0	2550
Fuzhou	0	0	0	0	0	0
<b>Costo total (\$)</b>					<b>3825</b>	

Considerando costos de manejos en destino para cada tipo de contenedor

$W_{i,40} < 6.823$  LCL  
 $6.823 < W_{i,40} < 29$  20"  
 $29 < W_{i,40} < 58$  40"

$W_{i,j}$  = Nro de CBM transportados desde un puerto i en un contenedor de tipo j

Costos Fijos	LCL	338
	LCL	130
Costos Variables	FCL 20"	1225
	FCL 40"	1275

## Pestaña "Indicadores"

INDICADORES DE GESTIÓN			
Costos	Costo logístico inicial (\$)	Costo logístico final (\$)	Ahorro generado
	3825	3825	0.00%
Utilización Inicial	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	134.586	174	77.35%
Utilización Final	Capacidad utilizada (CBM)	Capacidad real (CBM)	Nivel de utilización
	134.586	174	77.35%

Pestaña "SOLVER TODO"

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	Z	AA
	Y11	Y14	Y16	Y19	Y21	Y23	Y24	Y26	Y29	Y37	Y38	Y41	Y46	Y49	Y52	Y53	Y54	Y55	Y59	Y60	Y71	Y73	Y74	Y76	Y79	Y81
2	Valor Final	0	0	0	0	2176	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Costo	2826	6989	95745	0	0	3217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Peticiones																									
5		1	1	1	1																					
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17	Oleas																									
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30	Demandas	1																								
31	puertos																									
32	oleas																									
33	conectores																									
34	(Número																									
35	para nodos																									
36	transitorios)																									
37																										
38																										
39																										
40																										
41																										
42																										
43																										