



Entramado

ISSN: 1900-3803

comunicacion.ayc.1@gmail.com

Universidad Libre

Colombia

Peña-Orozco, Diego León; Urueña-Villamil, Jhon Faber; González-Valencia, Leonardo  
Alberto

Diseño de una red logística para una comercializadora ferretera en el centro del Valle del  
Cauca

Entramado, vol. 12, núm. 1, enero-junio, 2016, pp. 304-330

Universidad Libre  
Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265447025019>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Diseño de una red logística para una comercializadora ferretera en el centro del Valle del Cauca\*

**Diego León Peña-Orozco**

MBA, Tulane University. Máster en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial, ICESI. Especialista en Calidad Total y Productividad, Universidad del Valle. Ingeniero Industrial, Universidad del Valle. Docente Universidad del Valle, Buga - Colombia  
diego.l.pena@correounivalle.edu.co

**Jhon Faber Urueña-Villamil**

Ingeniero Industrial y Especialista en Logística, Universidad del Valle. Empleado Ing. Industrial Universidad del Valle, Buga - Colombia  
faber8915@gmail.com

**Leonardo Alberto González-Valencia**

Ingeniero Industrial y Especialista en Logística, Universidad del Valle. Empleado Ing. Industrial Universidad del Valle, Buga - Colombia  
leonormo11@gmail.com

## RESUMEN

El diseño de una red logística es una forma de administrar la cadena de suministros, de tal forma que se integren todas las actividades buscando el mejoramiento de las relaciones en la cadena, con el objeto de alcanzar ventajas competitivas sustentables. Por tal motivo, este artículo tiene como finalidad diseñar un sistema de distribución eficiente, en términos de los costos logísticos totales para una comercializadora ferretera en el centro del departamento del Valle del Cauca. Para ello se adapta un modelo de programación lineal propuesto en la teoría, en el cual se minimizan los costos totales de logística. Adicionalmente, se estudia el problema de tiempo de ciclo, y hace énfasis especial en el ruteo que involucra dos centros de distribución y diversos centros de demanda. En el modelo se evalúan dos escenarios, uno que mantiene la organización actual y otro que realiza una nueva propuesta de logística; los costos totales del primer escenario fueron \$1.739.792.680 y en el segundo fueron \$1.682.708.680. Por otro lado, en la etapa de ruteo se presenta como resultado el reporte que nos muestra la mejor solución factible, minimizando la distancia total recorrida y estableciendo las paradas, los horarios y la secuencia de las rutas. Se concluye que es de gran importancia diseñar las redes logísticas considerando los costos logísticos que minimicen la operación mediante estrategias operativas en producción, almacenamiento y distribución de las organizaciones.

## PALABRAS CLAVE

Redes, logística, distribución, ruteo.

## A logistics network design for a hardware store marketer in the Valle del Cauca center

## ABSTRACT

The logistic network design is a way to manage the supply chain management, in the way to integrate of all activities to search an improvement of relationship in the chain, in order to achieve sustainable competitive advantages. It is the reason this paper has the goal to design an efficient distribution system in terms of total cost logistics for a hardware store marketer in Valle del cauca center. For that, a linear

Recibido: 20/10/2015 Aceptado: 5/12/2015

\* El presente artículo es de naturaleza netamente investigativa y no necesitó ningún tipo de financiación, abordado como problema de investigación y caso de estudio aplicado en una empresa. En él se realiza el diseño de una red logística para una comercializadora ferretera mediante un modelo de programación lineal que minimiza los costos totales logísticos y además se realiza el respectivo diseño del rutas para distribución de productos.

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23130> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

**Cómo citar este artículo:** PEÑA-OROZCO, Diego León; URUEÑA-VILLAMIL, Jhon Faber; GONZÁLEZ-VALENCIA, Leonardo Alberto. Diseño de una red logística para una comercializadora ferretera en el centro del Valle del Cauca En: Entramado. Enero - Junio, 2016. vol. 12, no. 1, p. 304-330, <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23130>



programming model proposed in the theory is used to minimize the total logistics cost. Additionally, this paper studies the cycle time problem and makes special emphasis in routing that involves two distribution centers and various centers of demand. In the model, two scenarios are evaluated, the first keep the actual behavior of the company and the second is a new logistic proposal. The total cost for scenario 1 were \$1.739.792.680 and for scenario 2 were \$1.682.708.680. On the other hand, routing results present a report that show the best feasible solution, minimizing the total distance traveled and setting stops, schedules and routes sequence. As a conclusion, it's so important to design logistics network considering the costs of logistics that minimize the operation through operational strategies in production, storage and distribution of organizations.

**KEYWORDS**

Network, logistic, distribution, routing.

## Proyecto de una red logística para loja de ferragens de marketing no centro de Valle del Cauca

**R E S U M O**

O projeto de uma rede logística é uma forma de gerenciar a cadeia de abastecimento, de modo que todas as actividades destinadas a melhorar as relações na cadeia, a fim de alcançar vantagens competitivas sustentáveis são integrados. Portanto, este artigo é a concepção de um sistema de distribuição eficiente em termos de custos logísticos totais para loja de ferragens de marketing no centro do departamento de Valle del Cauca. Isso requer um modelo de programação linear proposto na teoria, em que os custos logísticos totais são minimizados termos. Além disso, o problema do tempo de ciclo é estudado, e coloca ênfase especial no encaminhamento envolvendo dois centros de distribuição e vários centros de demanda. No modelo de dois cenários, que mantém a organização atual e aquele que faz uma nova proposta de logística são avaliados; os custos totais da primeira etapa foram de \$ 1.739.792.680 e \$ 1.682.708.680 ficaram em segundo lugar. Por outro lado, no passo de encaminhamento que ocorre como resultado o relatório, que mostra a melhor solução possível, minimizando a distância total e a configuração para, horários e sequência de rotas. Conclui-se que é de grande importância, considerando redes logísticas projetando que minimizem os custos de logística através da Operação estratégias operacional em organizações de produção, armazenamento e distribuição.

**PALAVRAS-CHAVE**

Networks, logística, distribuição, roteamento.

### Introducción

“La administración de la cadena de abastecimiento, considera todos los flujos y la transformación de bienes, iniciando en la materia prima hasta el cliente final y considerando los flujos de información” (Ballou, 2004). De la misma forma la define como la integración de todas estas actividades buscando el mejoramiento de las relaciones en la cadena, con el objeto de alcanzar ventajas competitivas sustentables. Si se concibe la cadena de abastecimiento como la red de organizaciones a través de las cuales fluyen materiales, información y dinero, es posible contextualizar el campo de intervención requerido para hacerlas eficientes, lograr mejorar su desempeño y aportar diferenciación a las compañías.

“La logística en las organizaciones actuales está orientada a la gestión, cuando proponen un sistema de gestión logística que asegure ajustar los procesos de la organización con miras a cumplir con los requisitos logísticos del cliente” (Beltrán, 2007). Lógicamente la cadena de abastecimiento establece relaciones con proveedores, relaciones interfuncionales dentro de la organización y relaciones con los clientes, donde cada una de ellas es objeto de intervención para la mejora. Dada la extensión que implica evaluar e in-

tervenir el desempeño de toda la cadena, es del interés de este trabajo orientarse de manera precisa a la relación logística de una organización con los clientes, con el objetivo de diseñar un sistema de distribución eficiente en términos de los costos logísticos totales para una comercializadora ferretera en el centro del departamento del Valle del Cauca, presentando así una propuesta de mejoramiento al sistema actual. El inicio de la relación logística organización-cliente puede identificarse a partir del momento en que el cliente decide hacer una orden de pedido, y es el tiempo de ciclo el elemento clave en la gestión del mejoramiento de la relación que la organización, desde la función logística, establece con el cliente. Alarcón F. O., (2005) plantean que la gestión de pedidos incluiría todas las tareas relativas a la recepción, aceptación, configuración, manipulación, consulta y archivo del pedido en cualquiera de sus etapas del ciclo de vida. Ballou (2004) quien define los elementos que componen este tiempo como los tiempos de transmisión del pedido, procesamiento y preparación, tiempo de adquisición de un inventario adicional y tiempo de entrega, permite concluir que la intervención en estos procesos que impliquen la mejora en los tiempos involucrados en el ciclo de pedido, promete mejoras en la relación con el cliente a partir de su percepción de servicio.

Este trabajo aborda tangencialmente el problema del tiempo de ciclo, y hace énfasis especial en los procesos de diseño de red y ruteo, en un caso de estudio que involucra dos centros de distribución y diversos centros de demanda, los cuales deben ser atendidos buscando el mejor desempeño en los costos logísticos totales. En tal sentido, la propuesta parte de la caracterización de la red logística actual y propone un diseño de red alternativo para mejorar el desempeño en costos de la red en el entendido que esto afecta el tiempo de ciclo del pedido. Además, se propone un modelo de ruteo de vehículos que facilite el mejoramiento en el desempeño de los costos de recorrido para la entrega de los pedidos. Finalmente, se sensibiliza el modelo en diferentes escenarios de incremento de costos de flete, incremento en días de inventario y de demanda, que permite concluir con respecto a las consideraciones más importantes que deben tenerse en cuenta al momento de tomar decisiones logísticas.

## I. Marco teórico

En esta sección se describen los modelos tomados como referencia para el diseño de red y ruteo de vehículos, los cuales son presentados por Vidal (2011), y que son tomados de esta fuente porque se considera que su estructura facilita su comprensión.

**Diseño de red:** Se toma como referencia el problema de la bauxita formulado por Vidal (2011) que plantea un modelo para el diseño de la cadena de abastecimiento de una compañía multinacional de aluminio, con depósitos en tres lugares del mundo designados como A, B y C. El sistema dispone de cuatro plantas de procesamiento de bauxita a alumina (producto intermedio), denotadas como B, C, D, y E. Finalmente cuenta con plantas de esmaltado en los lugares D y E. El problema describe que el proceso de conversión de la bauxita a alumina no es tan costoso como el proceso de esmaltado, indicando que una tonelada de alumina produce 0,4 de aluminio terminado. En la Tabla 1 se muestran los datos de costos de explotación, capacidad de producción anual de bauxita de las minas, así como el rendimiento de alumina.

Los datos de conversión de bauxita en alumina, asociados a cada una de las plantas en cuanto a costos de producción, capacidad anual de procesamiento y costo fijo anual de las plantas, son presentados en la Tabla 2.

Los datos asociados al proceso de esmaltado, en cuanto a los costos de procesamiento y capacidad anual de procesamiento en las plantas de esmaltado, se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 1.

Costos de explotación de bauxita.

| Minas de bauxita | Costo de explotación | Capacidad anual de bauxita (ton) | Rendimiento de alumina |
|------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------|
| A                | 420                  | 36000                            | 6,00%                  |
| B                | 360                  | 521000                           | 8,00%                  |
| C                | 540                  | 28000                            | 6,20%                  |

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

Tabla 2.

Datos de conversión de bauxita en alumina.

| Planta | Costo producción (\$/ton alumina) | Capacidad anual procesamiento de bauxita (ton/año) | Costo fijo anual de la planta de alumina (\$/año) |
|--------|-----------------------------------|--|---|
| B      | 320                               | 40000  | 3.000.000   |
| C      | 320                               | 20000  | 2.500.000   |
| D      | 380                               | 30000  | 4.800.000   |
| E      | 240                               | 80000  | 6.000.000   |

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

Tabla 3.

Costos de procesamiento y capacidad de procesamiento de alumina.

| Planta | Costo procesamiento (\$/ton alumina) | Capacidad anual procesamiento de alumina (ton/año) |
|--------|--------------------------------------|--|
| D      | 8500                                 | 4000   |
| E      | 5200                                 | 7000   |

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

Las ventas anuales de aluminio terminado son asociadas a cada una de las plantas, indicando 1000 toneladas para la planta D y 1200 toneladas para la planta E, por año.

Los datos de transporte entre las plantas de producción de bauxita y las plantas de conversión en alumina, a las plantas de esmaltado son conocidos y presentados en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 4.

Costo de transporte en \$/ton de bauxita.

| DE  | HACIA<br>j = | B    | C    | D   | E    |
|-----|--------------|------|------|-----|------|
|     |              | 1    | 2    | 3   | 4    |
| I = | A 1          | 400  | 2010 | 510 | 1920 |
|     | B 2          | 10   | 630  | 220 | 1510 |
|     | C 3          | 1630 | 10   | 620 | 940  |

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

Tabla 5.

Costo de transporte en \$/ton de alumina.

| DE  | HACIA<br>k = | D    | E    |
|-----|--------------|------|------|
|     |              | 1    | 2    |
| j = | B 1          | 220  | 1510 |
|     | C 2          | 620  | 940  |
|     | D 3          | 0    | 1615 |
|     | E 4          | 1465 | 0    |

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

La cadena de abastecimiento propuesta está diseñada en tres niveles, como se muestra en la Figura 1, y propone la restricción de que el producto terminado no es transportado entre las plantas de esmaltado (D y E).

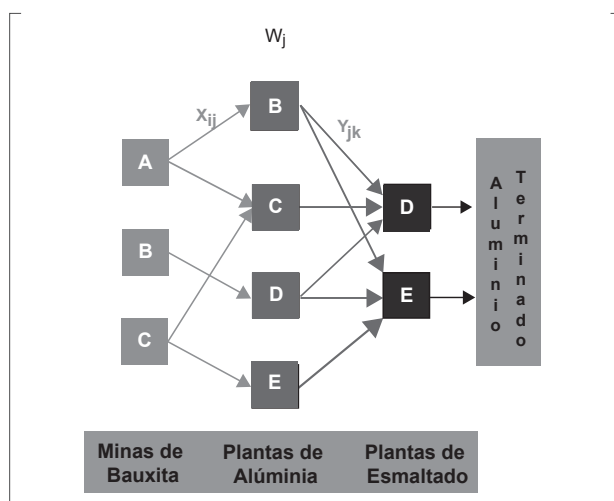


Figura 1. Cadena de abastecimiento problema de la bauxita.

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

El problema consiste en determinar la configuración y el diseño óptimo de la cadena de abastecimiento propuesta.

**El modelo matemático:** El modelo propone la minimización del costo total anual del diseño de la red, considerando costos de explotación de bauxita, producción y procesamiento de alumina, costos anuales de transporte de bauxita de las minas a las plantas de alumina, costos de transporte de alumina desde las plantas de alumina hacia las plantas de esmaltado y los costos fijos de las plantas de alumina.

### Variables de decisión:

$X_{ij}$  = Ton/año de bauxita a transportar desde la mina  $i$  hacia la planta de alumina  $j$ ;  
 $i=A,B,C$ ;  $j=B,C,D,E$ .

$Y_{jk}$  = Ton/año de alumina a transportar desde la planta de alumina  $j$  hacia la planta de esmaltado  $k$ ;  
 $j=B,C,D,E$ ;  $k=D,E$ .

$W_j=1$  si la planta de alumina  $j$  se abre o permanece abierta; 0 de lo contrario;  
 $j=B,C,D,E$ .

**Función objetivo:** Minimizar costo total anual = costo anual de explotación de bauxita + costo anual de producción de alumina + costo anual de procesamiento de alumina en las plantas de esmaltado + costo anual de transporte de bauxita desde las minas hasta las plantas de alumina + costo anual de transporte de alumina desde las plantas de alumina hacia las plantas de esmaltado + costo fijo anual de las plantas de alumina.

Costo anual de explotación de bauxita (\$/año):

Mina A:  $420(X_{AB} + X_{AC} + X_{AD} + X_{AE})$

Mina B:  $360(X_{BB} + X_{BC} + X_{BD} + X_{BE})$

Mina C:  $540(X_{CB} + X_{CC} + X_{CD} + X_{CE})$

Costo anual de producción de alumina (\$/año):

Planta B:  $330(Y_{BD} + Y_{BE})$

Planta C:  $320(Y_{CD} + Y_{CE})$

Planta D:  $380(Y_{DD} + Y_{DE})$

Planta E:  $240(Y_{ED} + Y_{EE})$

Costo anual de procesamiento de alumina en las plantas de esmaltado (\$/año):

Planta D:  $8500(Y_{BD} + Y_{CD} + Y_{DD} + Y_{ED})$

Planta E:  $5200(Y_{BE} + Y_{CE} + Y_{DE} + Y_{EE})$

Costo anual de transporte de bauxita desde las minas de bauxita hacia las plantas de alumina (\$/año):

Desde la mina A:  $400X_{AB} + 2010X_{AC} + 510X_{AD} + 1920X_{AE}$

Desde la mina B:  $10X_{BB} + 630X_{BC} + 220X_{BD} + 1510X_{BE}$

Desde la mina C:  $1630X_{CB} + 10X_{CC} + 620X_{CD} + 940X_{CE}$

Costo anual de transporte de alumina desde las plantas de alumina hacia las plantas de esmaltado (\$/año):

Hacia la planta D:  $220Y_{BD} + 620Y_{CD} + 1465Y_{ED}$

Hacia la planta E:  $1510Y_{BE} + 940Y_{CE} + 1615Y_{DE}$

Costo fijo anual de las plantas de alumina (\$/año):

Planta B:  $3000000W_B$

Planta C:  $2500000W_C$

Planta D:  $4800000W_D$

Planta E:  $6000000W_E$

**Restricciones:** Plantea como las restricciones más importantes, las de capacidad de procesamiento de bauxita, de procesamiento de alumina, de ventas anuales de aluminio terminado por planta de esmaltado.

Por capacidad anual de explotación de bauxita en cada mina (Ton bauxita/año):

Mina A:  $X_{AB} + X_{AC} + X_{AD} + X_{AE} \leq 36000$

Mina B:  $X_{BB} + X_{BC} + X_{BD} + X_{BE} \leq 52000$

Mina C:  $X_{CB} + X_{CC} + X_{CD} + X_{CE} \leq 28000$

Por capacidad anual de procesamiento de bauxita en cada planta de alumina (Ton bauxita/año):

Planta B:  $X_{AB} + X_{BB} + X_{CB} \leq 40000W_B$

Planta C:  $X_{AC} + X_{BC} + X_{CC} \leq 20000W_C$

Planta D:  $X_{AD} + X_{BD} + X_{CD} \leq 30000W_D$

Planta E:  $X_{AE} + X_{BE} + X_{CE} \leq 80000W_E$

Por capacidad anual de procesamiento de alumina en cada planta de esmaltado (Ton alumina/año):

Planta D:  $Y_{BD} + Y_{CD} + Y_{DD} + Y_{ED} \leq 4000$

Planta E:  $Y_{BE} + Y_{CE} + Y_{DE} + Y_{EE} \leq 7000$

Por ventas anuales de aluminio terminado en cada planta de esmaltado (Ton de aluminio terminado/año):

Planta D:  $0,4(Y_{BD} + Y_{CD} + Y_{DD} + Y_{ED}) = 1000$

Planta E:  $0,4(Y_{BE} + Y_{CE} + Y_{DE} + Y_{EE}) = 1200$

Por balance de masa en cada una de las plantas de alumina:

Planta B:  $0,06X_{AB} + 0,08X_{BB} + 0,062X_{CB} = Y_{BD} + Y_{BE}$

Planta C:  $0,06X_{AC} + 0,08X_{BC} + 0,062X_{CC} = Y_{CD} + Y_{CE}$

Planta D:  $0,06X_{AD} + 0,08X_{BD} + 0,062X_{CD} = Y_{DD} + Y_{DE}$

Planta E:  $0,06X_{AE} + 0,08X_{BE} + 0,062X_{CE} = Y_{ED} + Y_{EE}$

Por límites en los valores de cada una de las variables (restricciones obvias):

$X_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$

$Y_{jk} \geq 0 \quad \forall j, k$

$W_j \geq 0 \quad \forall j$

**Ruteo de vehículos:** Vidal (2011) plantea el problema de ruteo de vehículos (VRP), como un problema complejo, que se configura cuando varios camiones salen de un centro de distribución y deben visitar varios clientes, teniendo en cuenta que cada parada tiene cierto volumen que debe ser entregado o recogido, con vehículos que pueden tener diferentes características de capacidad y eficiencia, la demanda individual de un cliente puede ser superior a la capacidad de cada vehículo, pueden existir ventanas de tiempo y relaciones de precedencia, además las rutas en días sucesivos pueden ser significativamente diferentes, lo que convierte este problema en uno operativo de muy corto plazo.

El problema de ruteo plantea entonces como función objetivo la minimización del número de rutas por vehículos, de las distancias recorridas, la disminución del costo total de todas las rutas, o como la maximización de la utilización de los vehículos. Sujeto a restricciones de capacidad, nivel de servicio, infraestructura de transporte, restricciones de longitud y velocidad, balanceo de rutas y ventanas de tiempo.

El método heurístico escogido para la solución del problema de ruteo se conoce como el método de los ahorros. La idea central se expresa en la Figura 2, en la cual se tienen dos puntos A y B, que se encuentran en dos rutas separadas, es decir, cada uno desde el centro de distribución hasta el punto de retorno, si se combinan las rutas incluyendo A y B en la misma ruta se puede ahorrar cierta distancia. Así el ahorro al combinar estos dos puntos en la misma ruta, está dado por:

$$\text{Ahorro}_{AB} = \text{Ahorro por combinar A y B en la misma ruta} = d_{AW} + d_{BW} - d_{AB}$$

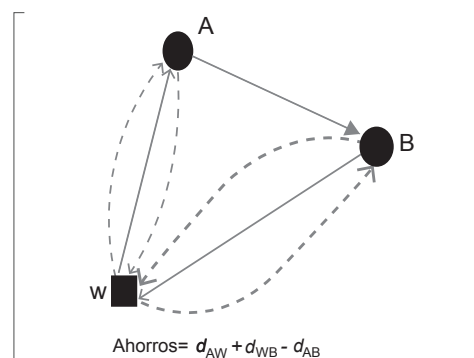


Figura 2. Principio básico del método de los ahorros.

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadena de abastecimiento.



A continuación se presentan los pasos que conforman el método de los ahorros:

### Paso 1: iniciación y conformación de las matrices

Los datos iniciales son la localización de cada cliente y el centro de distribución, la demanda de cada cliente y la capacidad de los vehículos disponibles.

Se debe construir la matriz de distancias entre todas las paradas, incluyendo al CD, esto puede hacerse mediante la siguiente ecuación:

Posteriormente se construye la matriz de ahorros por parejas, teniendo en cuenta si el problema es simétrico o asimétrico, con base en la ecuación anterior.

### Paso 2: asignación de paradas a rutas

Se asignan las paradas a las rutas, de la siguiente forma:

1. Si todas las paradas han sido asignadas a las rutas, continúe con el paso 3, de lo contrario continúe con el paso 2.
2. Se debe escoger la parada (i, j) que presente el mayor ahorro. Sea este el  $Ahorro_{ij}$ . Si existen empates se pueden romper arbitrariamente.
3. En este paso pueden suceder tres casos excluyentes. Se determina cuál de ellos ocurre y continúe acordadamente:
  - Caso 1: si ambas paradas i y j ya han sido asignadas a alguna ruta, entonces se hace el  $Ahorro_{ij} \leftarrow -1$  y retorna al paso 2.
  - Caso 2: si solo una de las dos paradas i o j, ha sido asignada a una ruta, se debe adicionar la parada que aún no ha sido asignada a dicha ruta, siempre y cuando no se viole restricción alguna. Si esto no es posible entonces se hace  $Ahorro_{ij} \leftarrow -1$  y retorna al paso 2.
  - Caso 3: si ni la parada i ni la parada j han sido asignadas a una ruta, inicie una nueva ruta con esta pareja, siempre y cuando esto sea posible, es decir, que no viole restricción alguna. Si esto no es posible entonces se hace  $Ahorro_{ij} \leftarrow -1$  y retorna al paso 2.

### Paso 3: secuenciación de paradas en cada ruta

Ya que las salidas del paso anterior son varias rutas, se procede a secuenciar las paradas en cada ruta, teniendo en cuenta los principios y algoritmos disponibles para el VRP.

Una vez se secuencien todas las paradas dentro de cada ruta y se revise el cumplimiento de todas las restricciones del problema.

## 2. Metodología

Para efectos de cumplimiento del objetivo del presente artículo, se hace necesario en esta instancia presentar el caso de estudio y posteriormente conocer el modelo propuesto para la solución al problema, siguiendo tres etapas.

**Caso de estudio:** El sistema logístico que se aborda consta de dos centros de distribución geográficamente ubicados en dos ciudades distintas, que atienden unas demandas localizadas en algunas ciudades de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca. Esta red logística está configurada en dos niveles, como se muestra en la Figura 3.

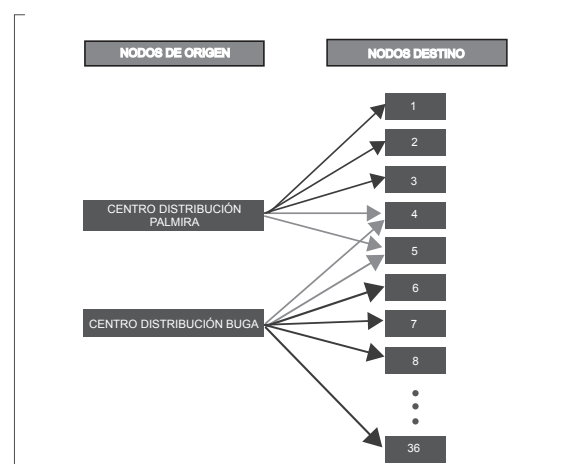


Figura 3. Red logística del caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Para atender la demanda asociada a cada centro de distribución se dispone de los recursos necesarios, que se pueden clasificar de acuerdo con Ballou (2004) considerando sus costos de la forma indicada en la Tabla 6.

Tabla 6.

Costos de mantenimiento de inventario.

| Costo de mantenimiento de inventario Enero - Septiembre 2013 |               |               |
|--|---------------|---------------|
|  | Buga          | Palmira       |
| Costo de oportunidad   | \$57.404.791  | \$50.921.568  |
| Almacenamiento y manejo                                      | \$800.654.000 | \$763.650.000 |
| Impuestos  | \$143.343.000 | \$140.104.000 |
| Seguros  | \$16.980.000  | \$12.950.000  |

Fuente: Elaboración propia.

Desde los centros de distribución mencionados anteriormente se atiende un número determinado de clientes, incluyendo los propios centros de distribución. Las demandas son tomadas de manera consolidada por ciudad, encontrándose en algunos casos que las demandas por cada nodo (ciudad) pueden superar la capacidad del vehículo de mayor

volumen de carga, lo que requiere en la actualidad programar varias visitas por nodo. A continuación, en la Tabla 7 se presentan las demandas actuales acumuladas por cada nodo para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de noviembre de 2013.

Tabla 7.

Comportamiento histórico de la demanda.

| Nodo destino           | Costo de venta  | Peso (ton) |
|------------------------|-----------------|------------|
| Andalucía              | \$110.588.147   | 59,4       |
| Buenaventura           | \$1.826.811.515 | 1271       |
| Buga                   | \$436.166.197   | 354,8      |
| Bugalagrande           | \$227.015.043   | 96,3       |
| Cali                   | \$247.435.291   | 333,9      |
| Calima                 | \$1.601.230.173 | 2348       |
| Caloto                 | \$226.442.785   | 417,8      |
| Candelaria             | \$265.528.974   | 382,3      |
| Dagua                  | \$190.964.885   | 175,9      |
| El Cerrito             | \$807.715.519   | 1147       |
| El Dovio               | \$63.117.328    | 47,8       |
| Florida                | \$583.115.161   | 630,9      |
| Ginebra                | \$379.522.116   | 319,2      |
| Guacarí                | \$257.848.164   | 177,8      |
| Guachené               | \$170.231.020   | 115,3      |
| Jamundí                | \$7.664.350     | 4,4        |
| La Unión               | \$514.779.846   | 510,2      |
| La Victoria            | \$225.528.909   | 148,1      |
| Miranda                | \$479.074.198   | 481,7      |
| Morales                | \$76.188.744    | 52,5       |
| Padilla                | \$107.003.451   | 166,8      |
| Palmira                | \$2.852.895.619 | 2846       |
| Piendamó               | \$27.452.740    | 29,5       |
| Popayán                | \$812.515.568   | 873,2      |
| Pradera                | \$583.351.054   | 873,9      |
| Puerto Tejada          | \$320.050.888   | 479,2      |
| Restrepo               | \$416.677.368   | 757,1      |
| Roldanillo             | \$609.729.188   | 478,3      |
| Santander de Quilichao | \$6.904.311.928 | 665,1      |
| Timbío                 | \$129.776.657   | 109,9      |
| Toro                   | \$45.743.817    | 49,7       |
| Trujillo               | \$75.490.990    | 101,4      |
| Tuluá                  | \$1.002.661.855 | 651,9      |
| Yotoco                 | \$162.147.168   | 400,3      |
| Yumbo                  | \$155.847.877   | 196,2      |
| Zarzal                 | \$432.365.765   | 451,9      |

Fuente: Elaboración propia.



Se tienen además múltiples vehículos con capacidades diversas por centro de distribución, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Flota de vehículos de la organización.

| Buga     |                 | Palmira  |                 |
|----------|-----------------|----------|-----------------|
| Vehículo | Capacidad (Ton) | Vehículo | Capacidad (Ton) |
| FTR      | 10              | INTER    | 10              |
| HINO     | 6               | FRR      | 6               |
| MAZDA    | 5               | NQR      | 5               |
| KIA      | 3,5             | HINO     | 4               |
| NHR      | 2,5             |          |                 |
| Total    | 5               | 4        | 25              |

Fuente: Elaboración propia.

Los clientes asignados a cada centro de distribución deben ser atendidos teniendo en cuenta las ventanas de tiempo, es decir, se tienen intervalos en los cuales se debe atender a un nodo determinado. En el sistema actual, la forma en la que asignan los clientes a cada centro de distribución y posterior ruta obedece a la distribución de cargas y rutas de los vendedores, los cuales hacen sus recorridos de acuerdo con su disponibilidad y programación.

Los vendedores realizan las visitas a los clientes, a través de las cuales definen las demandas que posteriormente el centro de distribución consolida por nodo para determinar las rutas de despacho, además la priorización del despacho depende de la urgencia manifestada por el cliente a través del vendedor y la capacidad de los vehículos asignados por ruta, lo que genera traumatismo en la programación de los despachos, y en general en la operación de los centros de distribución. Sumado a lo anterior, la inexistencia de información clara de rutas y horarios de atención genera en los clientes una percepción negativa del servicio prestado por la organización.

Considerando el tiempo de ciclo del pedido que involucra los procesos transaccionales desde la recepción del pedido hasta los procesos operativos de la entrega física del producto al cliente, en la actualidad el sistema en el caso de estudio funciona como se describe a continuación:

- Los vendedores toman el requerimiento de producto por parte del cliente en un pedido de venta, después remiten el pedido a cartera para su aprobación, luego realizan la programación de la ruta con base en las facturas generadas y emiten una orden de entrega, la cual es remitida por el despachador al centro de distribución habitualmente asignado al que corresponden las

mercancías facturadas. Esta asignación no tiene ninguna consideración como la de capacidad, inventario disponible ni de programación de vehículos para el nodo de destino.

- El centro de distribución recibe la orden de entrega, con la cual debe proceder a preparar el despacho considerando tres alternativas:
  1. Que hayan pendientes para los destinos que no se hubieran podido despachar por no completar la capacidad de los vehículos y evitar subutilización de la flota; para lo cual el pedido recibido puede ajustarse a la capacidad o sobrepasar nuevamente la capacidad disponible.
  2. Otra alternativa es que no se disponga de ningún pedido pendiente, pero la orden recibida sea inferior a la capacidad de los vehículos disponibles, la opción es despachar asumiendo el costo de subutilización o esperar a consolidar la carga.
  3. Por último, que la orden de entrega supere la capacidad del vehículo disponible con lo cual la decisión sería despachar dejando pendientes para una posterior programación.

Además, cuando la orden de entrega es remitida al centro de distribución, esta se adiciona en una tabla que corresponde a la ruta establecida, estas rutas pertenecen a una asignación de un nodo o conjunto de nodos de demanda determinados a un día dentro de la semana laboral, y a su vez tienen una frecuencia determinada por el volumen de demanda, de tal manera que se despachan las rutas tantas veces como fuera necesario de acuerdo con el criterio de ventas. Teniendo las órdenes de entrega consolidadas y según la capacidad de transporte disponible se valida que la suma de los pesos de las órdenes de entrega en cola sea inferior o igual a la capacidad disponible, de no ser así se toma la decisión de dejar pendiente lo que a criterio de ventas es lo menos prioritario, el resultado de esta separación será la obtención de dos subgrupos de facturas, uno que será el despachado y el otro quedará pendiente para la próxima ruta que en condiciones normales de operación corresponderá a un lapso de hasta 8 días. Una vez se ha surtido el procedimiento de arreglo y priorización de órdenes se realizan las siguientes actividades:

**Alistamiento:** consiste en seleccionar, separar y consolidar en una zona determinada cada uno de los productos relacionados en las órdenes de entrega y para cada uno de los clientes.

**Cargue:** posterior al alistamiento de la mercancía, se procede al cargue del vehículo asignado para el transporte y

entrega, con uso de los recursos disponibles tales como personal, equipos, infraestructura, entre otros.

**Despacho:** una vez terminado el proceso de cargue, se hace una inspección del vehículo, con el objetivo de validar que la mercancía cargada corresponda a la relacionada en las facturas, se elabora una planilla que contiene información sobre las facturas, pesos y valores que serán entregados en la ruta, así como información del vehículo y transportador.

**Recepción** de las facturas firmadas a conformidad por parte del cliente.

De lo anterior se tiene que en todos los casos mencionados en los que se presentan pendientes, ya sea por disponibilidad de inventario dado que se factura descargando del sistema mercancías que no se han entregado y que figuran físicamente en el centro de distribución lo que no permite tener un control efectivo del inventario y genera constantes devoluciones por errores de inventario, o por capacidad volumétrica de los vehículos, y teniendo en cuenta que no se tienen registros claros sobre dichos pendientes el problema es trasladado a cartera, ya que no hay certeza de las mercancías efectivamente entregadas a los clientes y que pasan a proceso de cobro, lo que genera confrontaciones con los clientes y afecta la apreciación del servicio.

Todo lo anterior tiene un impacto en la percepción de servicio al cliente, y aunque se puede considerar un problema de programación que no es del alcance de este trabajo, es claro que el diseño de red y el ruteo, así como modificaciones en los procedimientos de toma de pedidos afectan el

tiempo de ciclo del pedido y la percepción de servicio por parte del cliente. En la Tabla 9 se pueden observar los valores calculados de los tiempos de ciclo de pedido por ruta, tomando como referencia la fecha y hora del pedido reportada por el sistema de información y las planillas de entrega como fecha de entrega real al cliente. Para la elaboración de la tabla se toman datos aleatorios de las diferentes rutas atendidas durante un tiempo comprendido entre junio y julio del 2012.

Se puede observar que los datos de tiempo de ciclo de pedido para los clientes de mayoreo son aceptables ya que están dentro de la promesa de entrega de dos días realizada en ese momento, entonces si hacemos un análisis más detallado de los pedidos despachados nos encontramos una gran proporción de estos a los cuales se les aplicaba devolución por mercancía no despachada y errores de inventario, que para el periodo del mes de noviembre de 2012 sumaban 82 documentos, por un valor de \$ 11'476.603, con el agravante de que a muchas de estas facturas no se les hacía la respectiva devolución quedando sin registro, sino que se dejaba pendiente la mercancía no despachada, señalando en el documento de factura la mercancía que quedaba pendiente o llevando el dato mental. Lo anterior tenía un impacto nefasto en la percepción de servicio prestado por la organización, además generaba grandes pérdidas en el inventario.

En este trabajo de investigación, y de acuerdo con lo desarrollado en el documento, para plantear una propuesta de mejora en función al tiempo de ciclo del pedido, y que igualmente minimice el costo total logístico asociado al

Tabla 9.

Tiempo de ciclo del pedido para el caso de estudio.

| Tiempo de ciclo de pedido antes de intervención |                  |                  |                                |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|
| Documento                                       | Fecha del pedido | Fecha de entrega | Tiempo de ciclo tomado en días |
| MB 101340                                       | 01/06/2012       | 02/06/2012       | 1                              |
| MB 101419                                       | 04/06/2012       | 05/06/2012       | 1                              |
| MB 101440                                       | 30/05/2012       | 07/06/2012       | 8                              |
| MB 101573                                       | 07/06/2012       | 08/06/2012       | 1                              |
| MB 102207                                       | 24/06/2012       | 26/06/2012       | 2                              |
| MB 102708                                       | 27/06/2012       | 28/06/2012       | 1                              |
| MB 103068                                       | 02/07/2012       | 04/07/2012       | 2                              |
| MB 103312                                       | 06/07/2012       | 09/07/2012       | 2                              |
| MB 103745                                       | 11/07/2012       | 13/07/2012       | 2                              |
| MB 104067                                       | 17/07/2012       | 18/07/2012       | 1                              |
| MB 104328                                       | 21/07/2012       | 24/07/2012       | 2                              |
| MB 104508                                       | 28/07/2012       | 31/07/2012       | 3                              |

Fuente: Elaboración propia.

sistema de distribución, se establece la realización de un modelo integral constituido por 3 etapas: proyección de la demanda, diseño de la red de distribución y ruteo de vehículos, las cuales son alimentadas por información proveniente del procedimiento de procesamiento del pedido, para que posteriormente a la realización de las 3 etapas del modelo se pueda obtener como salida un impacto en el tiempo de ciclo del pedido. A continuación se detalla cada una de las etapas y de los elementos que componen el modelo propuesto con el diseño de las actividades para la intervención.

### Etapla 1. Proyección de la demanda

En esta primera etapa se toma como principal insumo los datos recopilados a partir del sistema de información en lo referente a las demandas históricas dentro de un periodo de 16 meses, y tomando como unidades de análisis las toneladas demandadas y su equivalente en costo, asumiendo que estos valores que corresponden a entregas efectivas son un estimador bastante cercano a la demanda de cada nodo. Una vez se dispone de los datos de demanda se procede a realizar una agrupación por centro de operación, localización, nodo de demanda y línea de producto, que posteriormente constituirán la base de la proyección. A continuación se presenta la metodología aplicada para la proyección de la demanda:

Conjunto de datos:

- $i=36$  nodos de demanda
- $t=16$  periodos de tiempo [mes]
- $l=11$  líneas de productos
- $q$ =Cantidad demandada por cada nodo en cada periodo de tiempo [ton/mes y/o \$/mes]
- % var=Variación porcentual entre periodos de tiempo
- % IPC=Variación porcentual proyectada del índice de precios al consumidor

**Agrupación:** se realiza una agrupación mediante tablas en Excel utilizando el esquema de la Tabla 10.

Tabla 10.

Esquema de tablas de agrupación.

| Periodo #    |                       |                       |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Nombre línea | Demanda en costo (\$) | Demanda en peso (TON) |

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se procede a realizar la simulación Montecarlo para obtener el valor de demanda más probable para cada uno de los 16 periodos proyectados, dadas la asignación de un número aleatorio y la distribución de probabilidad.

### Etapla 2. Diseño de la red de distribución

Este sistema está compuesto por dos centros de distribución, que distribuyen hacia 36 centros de consumo indexados por un conjunto de productos agrupados en 10 líneas; adicionalmente cada centro de consumo presenta una demanda por cada periodo para cada una de las líneas; los productos son almacenados y posteriormente distribuidos de acuerdo con los requerimientos de los clientes haciendo uso de una capacidad de procesamiento de órdenes medida en unidades de toneladas procesadas, este modelo también involucra el cálculo de los costos con base en las distancias recorridas y los fletes asociados por tonelada transportada. Por último se hacen consideraciones restrictivas de capacidad, de niveles de inventario y las restricciones obvias que caracterizan estos modelos.

A continuación, en la Figura 4 se representa gráficamente el sistema logístico objeto de estudio y posteriormente en la Tabla 11, pág. 314, se presentan los nodos de demanda para los centros de distribución de Buga y Palmira.

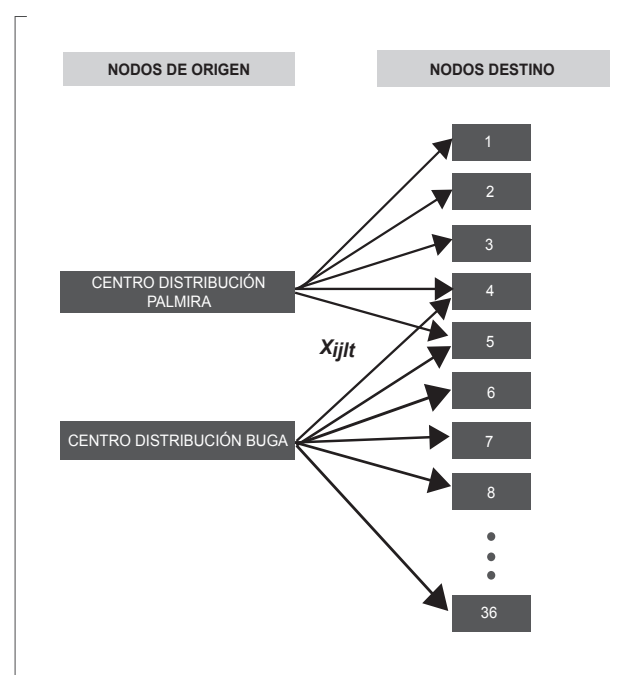


Figura 4. Representación gráfica del modelo matemático.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo define los flujos y la asignación de clientes para cada centro de distribución, en función del cumplimiento de la demanda de cada nodo, teniendo como objetivo la minimización de los costos totales de logística que para efectos de este trabajo se consideran los costos de transporte, de almacenamiento y de operación de los CEDIS. A continuación se realiza la formulación matemática del modelo propuesto:

Tabla 11.  
Nodos de demanda.

| Nodos de demanda |               |
|------------------|---------------|
| Tuluá            | Candelaria    |
| Andalucía        | Puerto Tejada |
| Bugalagrande     | Padilla       |
| Zarzal           | Guachené      |
| Roldanillo       | Santander     |
| La Victoria      | Caloto        |
| La Unión         | Cali          |
| Toro             | Popayán       |
| El Dovio         | Timbío        |
| Yotoco           | Piendamó      |
| Guacarí          | Morales       |
| Ginebra          | Pradera       |
| Trujillo         | Florida       |
| <b>Palmira</b>   | Miranda       |
| Cerrito          | Jamundí       |
| Yumbo            | Palmira       |
| Darién           | La Unión      |
| Restrepo         | Buenaventura  |
| Dagua            | <b>Buga</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

**Función objetivo:** Minimizar los costos totales de logística.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{t=1}^T X_{ijlt} * CFTE_{ij} + \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^m \sum_{t=1}^T inv\_final_{ilt} * V_l * r_i$$

**Variables de decisión:**

$X_{ijlt}$  = Cantidad a enviar desde el CEDI  $i$  al cliente  $j$  de la línea  $l$  en el tiempo  $t$  [Ton]

$inv\_final_{ilt}$  = Inventario final en el CEDI  $i$  de la línea de producto  $l$  en el tiempo  $t$  [Ton]

$q_{ilt}$  = Cantidad de producto de la línea  $l$  a pedir el CEDI  $i$  en el tiempo  $t$  [Ton]

**Parámetros:**

$d_{jlt}$  = Demanda requerida por periodo de tiempo  $t$  de cada línea de producto  $p$  en cada cliente  $j$  [ton]

$inv\_min_{il}$  = Inventario minimo en el CEDI  $i$  de la línea de producto  $l$  [Ton]

$inv\_max_{il}$  = Inventario maximo en el CEDI  $i$  de la línea de producto  $l$  [Ton]

$inv\_inicial_{ilt}$  = Inventario inicial del CEDI  $i$  de la línea de producto  $l$  en el tiempo  $t$  [Ton]

$flete_{ij}$  = Costo por tonelada transportada desde el CEDI  $i$  al cliente  $j$  [Ton]

$r_i$  = % del valor del inventario promedio como costo de mantener inventario en cada CEDI  $i$  [%]

$costo_{tonlt}$  = Valor por línea de producto  $l$  en el tiempo  $t$  [\$/Ton]

$cap\_despac_{it}$  = Capacidad de despacho del CEDI  $i$  en el tiempo  $t$  [Ton]

**Restricciones:**

$$\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m X_{ijlt} \leq cap\_despac_{it} \quad \forall i, \forall t$$

$$\sum_{i=1}^k X_{ijlt} \geq d_{ijlt} \quad \forall j, \forall l, \forall t$$

$$inv\_final_{ilt} = inv\_inicial_{ilt=1} + q_{ilt} - \sum_{j=1}^n X_{ijlt} \quad \forall i, \forall l, t = 1$$

$$inv\_final_{ilt} = inv\_final_{ilt-1} + q_{ilt} - \sum_{j=1}^n X_{ijlt} \quad \forall i, \forall l, \forall t > 1$$

$$q_{ilt} \leq inv\_max_{il} - inv\_final_{ilt} \quad \forall i, \forall l, \forall t$$

$$inv\_final_{ilt} \geq inv\_min_{il} \quad \forall i, \forall l, \forall t$$

Como se mencionó anteriormente, la función objetivo del modelo busca optimizar los costos totales logísticos, considerando tres elementos de costo que se detallan a continuación:

**Costos de transporte:** constituido por la cantidad de toneladas transportadas desde cada centro de distribución hacia cada uno de los nodos asignados al mismo, en un tiempo  $T = 16$  meses, multiplicado por el valor del flete por tonelada, el cual es calculado aplicando la metodología de costeo planteada por el Ministerio de Transporte.

**Costo de mantenimiento de inventario:** definido como el inventario final de cada una de las líneas en cada uno de los centros de distribución por cada periodo, multiplicado por el valor de dicho inventario y afectado por la tasa de mantener este inventario calculada para cada centro de distribución. Este rubro comprende el costo asociado al manejo, almacenamiento y manutención del inventario de cada línea de producto en cada centro de distribución, calculado como el producto entre el nivel del inventario y la tasa de mantenimiento del mismo, esta última es obtenida a partir de la fórmula presentada por Vidal (2010) donde la tasa de mantenimiento de inventario es igual a:

$$C_m = Ivr$$

$C_m$  es el costo de mantenimiento de inventario calculado como la suma de:

**Costo de almacenamiento y manejo,** se refiere a los costos de operar la bodega, tales como mano de obra, costos de infraestructura y equipos.

**Costo de oportunidad,** representa la posible pérdida de inversión en otras actividades que la empresa podía tener, donde al menos ganaría la tasa mínima de retorno.

**Costos de riesgo,** representa los costos de obsolescencias, deterioro, depreciación, seguros e impuestos.

$$\begin{aligned} I &= \text{inventario promedio en unidades} \\ &\text{en un periodo de tiempo determinado} \\ v &= \text{costo por unidad de inventario} \\ r &= \text{tasa del costo promedio de mantenimiento} \\ &\text{de inventario} \end{aligned}$$

**Costo fijo de operación:** este último rubro agrupa todos los costos fijos de operar un centro de distribución, que comprende los costos por arrendamiento, capital inicial para operación, salarios, seguros, impuestos, entre otros. Estos valores son obtenidos a partir del sistema de información desde su módulo contable.

**Cálculo del flete por tonelada:** El método de cálculo propone tres elementos de costo, los costos fijos de las rutas, los costos variables asociados a la operación de los vehículos y otros costos. Para esta propuesta se consideran solo los costos variables y los costos fijos en el supuesto de que los otros costos son despreciables o poco relevantes.

- **Costos fijos:** Se consideran como costos fijos los costos por parqueaderos, salarios de la tripulación (conductor y auxiliar), seguros, equipos de comunicación y los pagos por leasing de los vehículos. Se calculan a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Costo fijo por ruta} = \frac{(\text{Costos fijos al mes})}{(\# \text{recorridos mes})}$$

El resultado de esta fórmula de cálculo posteriormente es dividido por la capacidad en toneladas disponible para atender estas rutas, obteniéndose el costo expresado en unidades de \$/toneladas, unidad requerida para poder homologarla con la cantidad de toneladas a transportar expuestas como variable de decisión en el modelo matemático propuesto y obtener de esta manera el resultado en unidades monetarias.

- **Costos variables:** agrupa los costos por consumo de combustible, mantenimientos, peajes y viáticos para cada ruta. Son obtenidos mediante la aplicación de:

$$\begin{aligned} \text{COSTO VARIABLE PROMEDIO MES} &= \\ \frac{\text{COSTOS VARIABLES MES}}{\text{KM RECORRIDOS MES}} \end{aligned}$$

El resultado de esta fórmula de cálculo determina el valor del costo por tonelada referente al costo variable de cada ruta.

Para obtener el valor del flete para cada ruta, se hace la sumatoria de los costos fijos y los costos variables para cada par de nodos, teniendo como orígenes los dos centros de distribución, de acuerdo con la siguiente fórmula de cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Fletes de } i \text{ hasta } j \\ = \text{costo fijo de } i \text{ a } j + \text{costo variable de } i \text{ a } j \\ + (\# \text{peajes de } i \text{ a } j * \text{costo por peaje}) \end{aligned}$$

**Etapas 3. Modelo de ruteo de vehículos:** Para realizar el diseño de rutas se utilizará el software LOGWARE cuyo logotipo se presenta en la Figura 5, el cual es ofrecido en la versión de Ballou (2004). Esta es una herramienta que permite construir modelos simplificados de sistemas, que ofrece un módulo de ruteo llamado ROUTER. El procedimiento de solución es un método heurístico, basado en el método de ahorro de Clarke y Wright. La solución nos permite determinar las mejores rutas y horarios para una determinada ruta.

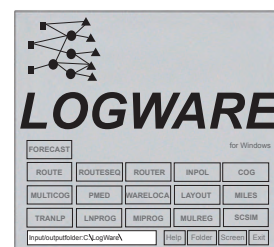


Figura 5. Logotipo LOGWARE.

Fuente: Ballou (2004). Logística, administración de la cadena de suministros.

A continuación se presenta la construcción del modelo de ruteo de vehículos aplicado al caso de estudio, que se constituye a partir de los siguientes pasos:

### Paso 1. Iniciación y construcción de las matrices:

**Los datos de entrada** son la nueva asignación de nodos a cada CEDI generada por el modelo de diseño de la red, a partir de allí se determina la localización geográfica de los nodos y los centros de distribución, los cuales son obtenidos a partir de las coordenadas geográficas de cada nodo, realizando una conversión a coordenadas cartesianas afectando estas coordenadas por un factor de 1.4 que se explicará más adelante. Debido a que se construyen dos ruteos, uno por cada CEDI, se toma inicialmente el CEDI Buga como origen y luego se hace la misma consideración para el CEDI Palmira.

### Paso 2. Determinación de las demandas por cada nodo:

En este paso se presentan las demandas por nodo, estas son tomadas del promedio de las demandas pronosticadas para posteriormente determinar la frecuencia con la cual son visitados los nodos (clientes) con el fin de que estas demandas no superen la capacidad de los vehículos. Esta frecuencia se determina con la entrevista a los encargados del proceso.

### Paso 3. Detallar la capacidad de los vehículos:

Se dispone de una flota de vehículos con capacidades heterogéneas, para determinar dichas capacidades se entrevistó a los encargados del proceso de despacho en mayoreo para el CEDI Buga y Palmira. Además de las demandas por nodo, la capacidad de los vehículos y la ubicación de los clientes, se debe tener en cuenta que el cálculo de las distancias entre paradas se hace con distancias rectilíneas.

Vidal (2011) plantea que mediante la utilización de factores adecuados estas distancias rectilíneas se pueden aproximar a las reales, utilizando una metodología relativamente sencilla en la cual se toman las distancias reales por carretera en las principales ciudades del país y se grafican contra la misma distancia medida en forma rectilínea (Figura 6, columna siguiente). El resultado es una serie de puntos a los cuales se les puede ajustar una línea recta de mínimos cuadrados, obteniéndose una pendiente que relaciona la distancia real con la distancia por carretera.

Para el caso de estudio, teniendo en cuenta lo planteado por Vidal (2011) se toma un factor de 1.4. Dada la topografía de la región este factor es el que más se ajusta a la realidad.

Para el procesamiento de la información a lo largo del modelo, y viéndolo como un sistema que cuenta con múltiples entradas y múltiples salidas, para el caso de estudio se iden-

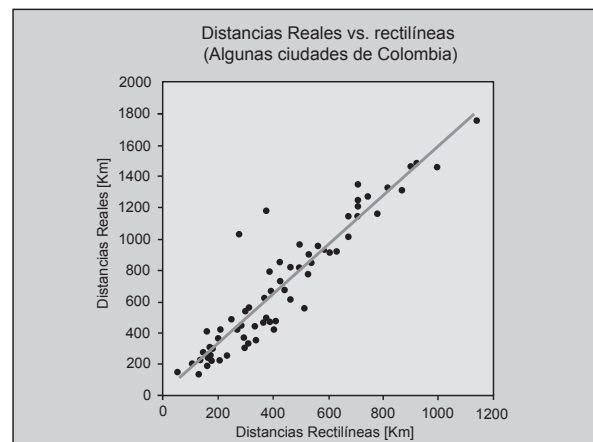


Figura 6. Distancias reales vs. rectilíneas.

Fuente: Vidal (2011). Optimización de cadenas de abastecimiento.

tifica como una entrada de análisis importante los procedimientos para el procesamiento de pedidos y como salida esperada los tiempos de ciclo del pedido.

Para el procedimiento de procesamiento de pedidos se recurre a la siguiente forma:

Identificación del proceso propuesto por el sistema de información, que involucra: pedido, facturación y despacho.

Identificación del proceso operativo, realizado por los funcionarios para el procesamiento del pedido.

Homologación de procedimientos operativos con los procesos propuestos por el sistema de información.

Implementación de los procesos homologados considerando los siguientes aspectos:

- Colocación de pedidos al área logística por parte del área de ventas.
- Recepción y tratamiento de pedidos por parte del área logística.
- Priorización del despacho con base en políticas de FIFO, cantidad y peso requerido, capacidad disponible.
- Definición de los tiempos de ciclo de los pedidos de acuerdo con las políticas del punto anterior.
- Programación de frecuencia de rutas con base en las rutas definidas para el proceso de ventas.

Según el impacto en el tiempo de ciclo, en este aparte se considera importante evaluar el desempeño del sistema a partir de los indicadores de gestión del sistema logístico, por lo que se aborda desde la consideración de las siguientes medidas de desempeño del sistema:



**Confiabilidad del inventario:** este indicador nos permite medir la efectividad de los procesos de entrada y salida del sistema, esto se hace tomando la proporción de ítems que se encuentran correctos, es decir aquellos que presentaron movimiento durante la jornada diaria y para los cuales el conteo físico coincide con los datos del sistema. Este indicador se calcula como se presenta a continuación:

$$\text{CONFIABILIDAD DE INVENTARIO} = \left[ \frac{(\text{Ítems correctos})}{(\text{Total de ítems inventariados})} \right]$$

**Devoluciones:** este indicador está en función de determinar la cantidad de documentos a los cuales se les aplico devolución en un periodo por motivos asociados al desempeño de los centros de distribución, hallando la proporción de devoluciones de un periodo con respecto a las devoluciones de un periodo de referencia. Este indicador nos permite medir el desempeño del CEDI en función del despacho, ya que los motivos a evaluar son: mercancía no despachada, errores de inventario y mal despacho.

$$\text{DEVOLUCIONES} = 1 - \left[ \frac{(\text{Devoluciones periodo actual})}{(\text{Devoluciones periodo de referencia})} \right]$$

### 3. Implementación, resultados y análisis

En primera instancia, se aborda el análisis del modelo matemático en cada una de sus secciones y consideraciones:

#### Análisis de costos de manejo y distribución para la configuración inicial:

La configuración inicial de la red de distribución se muestra en la Tabla 12. Como se puede observar, la mayor proporción de los nodos de demanda son atendidos desde el CEDI Buga agrupando un total de 21 nodos que representan el 57% del conjunto de clientes; el restante 33% equivalente a un total de 16 centros de demanda son atendidos desde el CEDI Palmira. En la misma tabla, se utiliza un marcador para el nodo de demanda “Palmira”, que para efectos del análisis es necesario aclarar que en este se incluyen las demandas de los diferentes municipios y corregimientos que hacen parte de la zona de influencia de la ciudad de Palmira, y de los cuales no fue posible obtener datos disgregados, dado que la información se encontraba vinculada al origen Palmira, aun siendo atendidos desde los dos centros de distribución. La atención compartida para este nodo se debe a que la asignación a cada CEDI corresponde a una lógica de ventas, es decir, se asignaba el CEDI al que estuviera adscrito el vendedor sin hacer consideraciones de conveniencia logística.

Tabla 12.

Configuración inicial de la red de distribución

| Nodos atendidos por Buga | Nodos atendidos por Palmira |
|--------------------------|-----------------------------|
| Andalucía                | Cali                        |
| Bugalagrande             | Caloto                      |
| Buenaventura             | Candelaria                  |
| Buga                     | Florida                     |
| Calima                   | Guachené                    |
| Cerrito                  | Jamundí                     |
| Dagua                    | Miranda                     |
| El Dovio                 | Morales                     |
| Ginebra                  | Padilla                     |
| Guacarí                  | Palmira*                    |
| La Unión                 | Piendamó                    |
| Restrepo                 | Popayán                     |
| Roldanillo               | Pradera                     |
| Toro                     | Puerto Tejada               |
| Trujillo                 | Santander                   |
| Tuluá                    | Timbío                      |
| La Victoria              |                             |
| Yotoco                   |                             |
| Yumbo                    |                             |
| Zarzal                   |                             |
| Palmira*                 |                             |

Fuente: Elaboración propia.

El valor de los costos de mantenimiento y distribución asumiendo que se utiliza esta configuración y tomando como valor de entrada la simulación de la demanda en un lapso de 16 meses es igual a \$ \$ 571.198.000, es decir, que en promedio la empresa está destinando un total de \$ 35.699.875 al mes para soportar su operación de distribución a los diferentes nodos de demanda, el costo correspondiente al rubro de transporte es \$ 300.112.200 que en proporción representa el 53% de los costos totales de mantenimiento y distribución, dejando el 47% restante al mantenimiento del inventario que equivale a un total de \$ 271.085.800, lo anterior se puede ver en la Figura 7. Comparativamente, el CEDI Buga presenta un mayor valor en sus costos logísticos de distribución (\$ 370.730.000) de acuerdo a esta configuración de red, presentando así una diferencia con respecto a Palmira de \$ 170.262.000 (\$ 200.468.000 para Palmira). En cuanto al componente de transporte la diferencia del centro de distribución Palmira comparado con Buga es del 62,93% (\$ 81.164.200 y \$ 218.948.000 respectivamente). Por último, para esta configuración existe una diferencia de \$ 32.477.000 en costos de mantenimiento de inventario, siendo más alto este rubro logístico para el Centro de Distribución Buga (\$ 151.781.000).

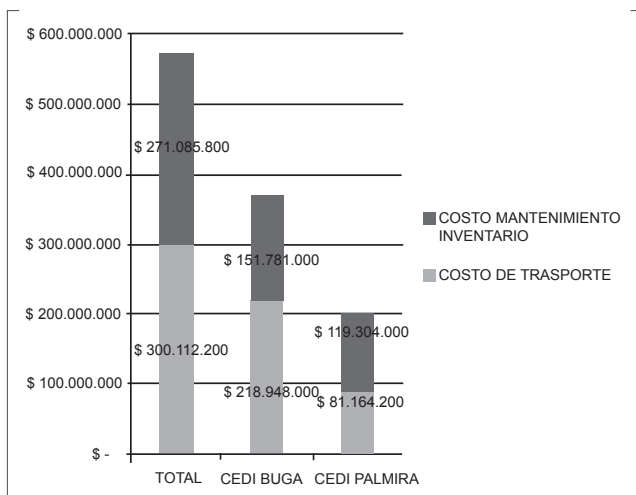


Figura 7. Comparativo de proporcionalidad de costos para la configuración inicial.

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis de costo de manejo y distribución para la configuración propuesta:

De acuerdo con los resultados arrojados por el modelo, la configuración de red que se propone es ilustrada en la Tabla 13. Es claro que la red es reestructurada y se obtiene un equilibrio en cuanto a la asignación de clientes para cada centro de distribución, logrando que tanto el CEDI Palmira como el CEDI Buga cumplan los requerimientos para el 50% del conjunto de nodos de demanda respectivamente; se puede observar también, que a partir de esta asignación el nodo de demanda "Palmira" queda asignado para un solo centro de distribución, agrupando la demanda tanto de la ciudad de Palmira como de su zona de influencia, haciendo una asignación más coherente en cuanto a espacio geográfico se refiere, también se puede evidenciar en la Tabla 13 los nodos que fueron reasignados al centro de Distribución Palmira.

Tabla 13.

Configuración propuesta de la red de distribución.

| Nodos atendidos por Buga | Nodos atendidos por Palmira |
|--------------------------|-----------------------------|
| Andalucía                | Cali                        |
| Bugalagrande             | Coloto                      |
| Buenaventura             | Candelaria                  |
| Buga                     | Cerrito                     |
| Calima                   | Florida                     |
| Dagua                    | Guachené                    |
| El Dovio                 | Jamundí                     |
| Ginebra                  | Miranda                     |
| Guacarí                  | Morales                     |
| La Unión                 | Padilla                     |

|             |               |
|-------------|---------------|
| Restrepo    | Palmira*      |
| Roldanillo  | Piendamó      |
| Toro        | Popayán       |
| Trujillo    | Pradera       |
| Tuluá       | Puerto Tejada |
| La Victoria | Santander     |
| Yotoco      | Timbío        |
| Zarzal      | Yumbo         |

Fuente: Elaboración propia.

Para esta nueva configuración, el resultado de la función objetivo de acuerdo con la demanda proyectada en un periodo de 16 meses es de \$ 514.114.000 de los cuales, un total de \$243.134.000 corresponden a los costos logísticos de transporte y los restantes \$ 270.980.000 son los pertenecientes al componente de mantenimiento de inventario, en proporción a los costos logísticos de manejo y distribución de la empresa estos elementos comprenden el 47,3% y el 52,7% respectivamente, lo anterior se puede ver gráficamente en la Figura 8. Realizando un contraste entre el CEDI Palmira y el CEDI Buga, se encuentra para el primer caso que los costos de logística requeridos como soporte en la distribución para el canal mayorista son iguales a \$209.701.000, un 31,1% inferior a los resultados obtenidos para Buga (\$304.413.000), adicionalmente es claro que el componente de transporte en el caso del CEDI Palmira también es inferior en \$62.162.000 al presentar un resultado de \$90.486.000 en contraposición con el centro de distribución Buga con \$152.648.000; en cuanto al costo de mantenimiento de inventario se presenta el mismo comportamiento referente las diferencias en costo, es decir, el CEDI Palmira presenta menores costos de manejo de stocks con un valor de \$119.304.000 estando por debajo con una diferencia de \$32.372.000.

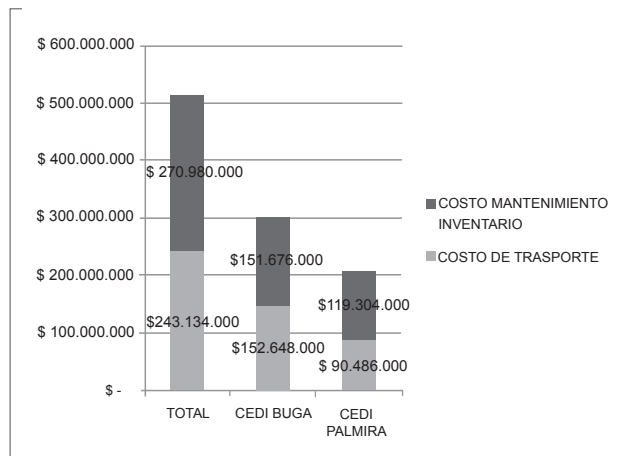


Figura 8. Comparativo proporcionalidad de costos para la configuración propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis comparativo entre las configuraciones de red con enfoque de costos de manejo y distribución:

El modelo planteado y la configuración propuesta de acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la formulación matemática presenta un mejor desempeño en los costos logísticos de inventario y transporte para la organización, en comparación con la configuración inicial con la que se opera el almacenamiento, distribución y entrega para la demanda de clientes mayoristas, logrando una disminución de aproximadamente 10% al pasar de \$ 571.198.000 obtenido para la configuración inicial, hasta el total de \$ 514.114.000 alcanzados para el modelo propuesto, es decir, que la empresa produce un ahorro promedio mensual de \$ 3.567.750 en su operación para el canal mayorista. La Tabla 14, ilustra en detalle el comparativo entre las dos configuraciones de red.

**Resultados de los costos logísticos totales:** La Tabla 15, agrupa los elementos de costo de transporte, costo de mantenimiento de inventario y costos fijos de operación que sumados componen el costo total de logística en el canal mayorista para la organización, adicionalmente en esta misma tabla se realiza un comparativo en términos generales entre la configuración inicial y la configuración propuesta de acuerdo con los resultados obtenidos, además es presentado bajo la figura de escenarios o estados, con el objetivo de utilizar este mismo esquema en la etapa de sensibilización del modelo y representar así en síntesis el comportamiento del modelo y los resultados que se obtienen ante la variación de elementos que se consideran importantes como por ejemplo: elementos de transporte,

niveles de inventario, valores de demanda, entre otros.

Debido a que existía una fragmentación en la información de carácter contable, se dificultó extraer los datos históricos referentes a los costos fijos de operación de los centros de distribución; por esta razón se hizo necesario para el cálculo de los costos totales de logística reconstruirlo tomando como referencia los datos de presupuesto para el año 2014, el cual fue elaborado recopilando información de tres fuentes, la primera, mediante la sistematización de información histórica para algunos rubros, la segunda, con un levantamiento de información de forma manual y por último, consultando mediante entrevistas a las personas involucradas en los procesos logísticos de la organización.

En la Tabla 16, pág 320 se muestra, de manera consolidada, los rubros que fueron utilizados para llevar a cabo la reconstrucción y cálculo del elemento de costo fijo elaborado por los autores, haciendo la aclaración que aquí se evidencia el resultado final, más no el proceso en detalle que llevó a la consecución de los datos.

Por último este valor es considerado como un valor fijo o una constante que sumado a los valores de transporte y mantenimiento configuran costos totales logísticos mostrados en la Tabla 16

**Sensibilización del modelo matemático:** Con el objetivo de observar el comportamiento de la configuración propuesta, obtenida a partir de los resultados de la formulación matemática, se inicia la sensibilización del modelo

Tabla 14.

Comparativo entre la configuración inicial y la configuración propuesta de la red de distribución.

|  | Configuración inicial | Configuración propuesta | Ahorro       | Disminución Porcentual |
|--|-----------------------|-------------------------|--------------|------------------------|
| <b>Costos de transporte</b>                  | \$300.112.200         | \$243.134.000           | \$56.978.200 | -18,98%                |
| <b>Costos de mantenimiento de inventario</b> | \$271.085.800         | \$270.980.000           | \$105.800    | -0,04%                 |
| <b>Costos totales de manejo y transporte</b> | \$571.198.000         | \$514.114.000           | \$57.084.000 | -9.99%                 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15.

Cálculo de los costos totales de logística.

|                                    | Costo de transporte | Costo de mantenimiento inventario | Costos fijos    | Costo total de logística |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Escenario 1: configuración inicial | \$300.112.200       | \$271.085.800                     | \$1.168.593.680 | \$1.739.792.680          |
| Escenario 2: modelo propuesto      | \$243.134.000       | \$270.980.000                     | \$1.168.593.680 | \$1.682.708.680          |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16.  
Cálculo del costo fijo

| Rubro               | Valor mensual | Valor para 16 meses    |
|---------------------|---------------|------------------------|
| Nomina de logistica | \$46.524.648  | \$744.394.368          |
| Arrendamientos      | \$15.246.474  | \$243.943.584          |
| Seguros             | \$643.196     | \$10.291.136           |
| Gastos fijos        | \$10.622.787  | \$169.964.592          |
| <b>Total</b>        |               | <b>\$1.168.593.680</b> |

Fuente: Elaboración propia.

que consiste en realizar una variación en tres aspectos que se consideran importantes y que influyen de forma directa en los costos logísticos totales; el primer aspecto se refiere al inventario mínimo que incide propiamente en el elemento de costo de manejo y administración del inventario, en segunda instancia se interviene lo relacionado con el costo de transporte, el cual se afecta con un factor igual al porcentaje de incremento en el salario mínimo reportado para el 2014 del 4,5% que se aplica a los costos de transporte por ruta o fletes, y por último, se sensibiliza el modelo aplicando un incremento del 10% en la demanda de la líneas de producto de “POLVOS” y “ENCHAPES Y GRES” que se consideran de gran interés por sus volúmenes de despacho. A continuación se describen en detalle los resultados obtenidos.

**Aumento del inventario mínimo:** Para esta etapa de la sensibilización se plantea un escenario en el cual la política de inventario que en el diseño propuesto está alineada de acuerdo con los lead time de los proveedores, se modifica el inventario de seguridad, considerando una política de inventario de 15 días, planteando este incremento

como un supuesto tomando como referencia los tiempos de atención y reposición por parte del proveedor. La Tabla 17 y la Tabla 18, pág. 321, ilustran los incrementos en toneladas por cada línea de producto y para cada centro de distribución. En estas tablas, el lead time corresponde a los días de atención en promedio por parte de los proveedores, para efectos de la sensibilización este tiempo de reposición se aumenta en 15 días y se asume como nueva política de inventario, se tienen los valores de venta promedio mensual para cada línea y una relación de costo por tonelada, que permite hacer la equivalencia en toneladas para un valor en costo de inventario. Por último, para el cálculo de los días de inventario se toma como referencia la fórmula de rotación para un mes de la cual es despejado el valor de inventario promedio (en este caso se asume como inventario mínimo), donde el inventario mínimo es calculado mediante la siguiente expresión matemática:

Con esta nueva política de inventario (lead time promedio + 15 días) los resultados obtenidos evidencian que ante un incremento en los niveles mínimos de inventario se obtiene de igual manera un aumento en los costos logísticos de

Tabla 17.  
Inventario mínimo en toneladas de acuerdo con la política de inventario para el CEDI Buga

| Líneas                        | Lt promedio | Lt + 15 días | Venta prom    | Costo * ton | V.Prom ton | Inv. Min. | Inv. Min. Sens. |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|------------|-----------|-----------------|
| Aditivos                      | 8           | 23           | \$18.000.000  | \$3.515.862 | 5,12       | 1,37      | 3,93            |
| Electricos y galvanizados     | 10          | 25           | \$4.000.000   | \$3.593.905 | 1,11       | 0,35      | 0,91            |
| Enchapes                      | 16          | 31           | \$90.100.000  | \$558.092   | 161,44     | 86,1      | 166,82          |
| Herramienta                   | 6           | 21           | \$39.200.000  | \$9.958.914 | 3,94       | 0,72      | 2,69            |
| Hierro y sistema constructivo | 3           | 18           | \$163.500.000 | \$1.581.672 | 103,37     | 8,61      | 60,3            |
| Pintura                       | 8           | 23           | \$29.800.000  | \$4.236.715 | 7,03       | 1,88      | 5,39            |
| Polvos                        | 4           | 19           | \$99.400.000  | \$323.373   | 307,39     | 35,86     | 189,55          |
| Porcelana sanitaria           | 15          | 30           | \$23.200.000  | \$4.752.100 | 4,88       | 2,44      | 4,88            |
| Pvc                           | 8           | 23           | \$75.000.000  | \$5.678.542 | 13,21      | 3,52      | 10,13           |
| Sistema liviano               | 8           | 23           | \$28.700.000  | \$1.029.030 | 27,89      | 6,97      | 20,92           |
| Tejas                         | 7           | 22           | \$28.500.000  | \$1.183.150 | 24,09      | 5,22      | 17,26           |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

Inventario mínimo en toneladas de acuerdo con la política de inventario para el CEDI Palmira

| Líneas                        | Lt promedio | Lt + 15 días | Venta prom    | Costo * ton | V.Prom ton | Inv. Min. | Inv. Min. Sens. |
|-------------------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|------------|-----------|-----------------|
| Aditivos                      | 8           | 23           | \$18.000.000  | \$3.515.862 | 5,12       | 1,37      | 3,93            |
| Electricos y galvanizados     | 10          |              | \$5.600.000   | \$3.593.905 | 1,56       | 0,49      | 1,27            |
| Enchapes                      | 16          | 31           | \$55.600.000  | \$558.092   | 99,63      | 53,13     | 102,95          |
| Herramienta                   | 6           | 21           | \$22.200.000  | \$9.958.914 | 2,23       | 0,41      | 1,52            |
| Hierro y sistema constructivo | 3           | 18           | \$156.200.000 | \$1.581.672 | 98,76      | 8,23      | 57,61           |
| Pintura                       | 8           | 23           | \$19.300.000  | \$4.236.715 | 4,56       | 1,21      | 3,49            |
| Polvos                        | 4           | 19           | \$114.100.000 | \$323.373   | 352,84     | 41,17     | 217,59          |
| Porcelana sanitaria           | 15          | 30           | \$20.400.000  | \$4.752.100 | 4,29       | 2,15      | 4,29            |
| Pvc                           | 8           | 23           | \$79.000.000  | \$5.678.542 | 13,91      | 3,71      | 10,67           |
| Sistema liviano               | 8           | 23           | \$14.500.000  | \$1.029.030 | 14,09      | 3,52      | 10,57           |
| Tejas                         | 7           | 22           | \$45.400.000  | \$1.183.150 | 38,37      | 8,31      | 27,5            |

Fuente: Elaboración propia.

manejo y distribución; para este caso esta variación corresponde a un incremento de \$ 598.186.000 al pasar de un valor de \$ 514.114.000 a un costo de \$ 1.112.300.000, es decir se presenta un incremento del 116,35% para los 16 periodos proyectados. Como es de esperar, ante esta sensibilización los costos correspondientes al transporte no se ven afectados, por lo cual el valor de \$ 243.134.000 permanece estático, los costos de mantenimiento de inventario se aumentan considerablemente en un 220,7% (de \$ 270.980.000 a \$ 869.125.000); bajo el supuesto de que este aumento presenta un comportamiento lineal, aplicando regla de tres simple, el costo en los 16 periodos proyectados asumiendo un aumento en la política de inventario igual a 1 día será:

$$x = \$598.186.000 / 15 = \$39.879.066$$

Luego, es válido afirmar que para un incremento en la política de inventario igual a un día, la empresa estará asumiendo un costo de mantenimiento de inventario de \$ 2.493.000 al mes aproximadamente, esto evidencia que los costos de logística son considerablemente sensibles ante la variación de sus niveles mínimos o de seguridad del inventario.

**Aumento en los costos de fletes por destino:** En esta segunda etapa de la sensibilización, se somete el valor del flete por ruta a un incremento porcentual del 4,5% equivalente al aumento del salario mínimo para el 2014 en Colombia, esta decisión se toma de acuerdo con los informes presentados por el DANE donde se observa que tanto el IPC nacional como el grupo de transporte en promedio nacional en el 2013 fue de 1,94% aproximadamente, este

grupo presenta valores extremos de 21,33% y 5,67% por lo que se considera para efectos de la sensibilización que el incremento en el salario mínimo es una aproximación más adecuada, dada la alta dispersión de los datos para el grupo de transporte en el IPC. La Tabla 19, pág 322, muestra los valores de referencia y su respectivo incremento para el análisis.

De acuerdo con este aumento en los fletes por ruta, los resultados del modelo presentan un incremento relativamente bajo para los costos logísticos de manejo y distribución, obteniendo un valor de \$525.054.000 que sería igual a un incremento del 2,13% pasando de un costo inicial de \$514.114.000 con una diferencia para los 16 meses proyectados de \$ 10.940.000 (\$683.750 al mes aproximadamente); permaneciendo estables los costos de mantenimiento y manejo (\$270.980.000) el costo de transporte experimenta una aumento proporcional del 4,5% (igual al aplicado a cada flete por ruta) al pasar de \$243.134.000 a \$254.074.000. Estos resultados evidencian que la configuración presenta altos niveles de tolerancia ante variaciones en los costos asociados al transporte, directamente relacionados con los elementos de costos fijos y variables que componen el cálculo de fletes por ruta.

**Aumento del 10% en la demanda de la línea “ENCHAPES y GRES”:** Para esta última etapa de la sensibilización del modelo, se realiza una clasificación de las líneas de productos, aquí se toma como valor referente el total en toneladas demandadas durante los 16 periodos proyectados, a partir de allí se calcula el aporte en proporción al total de la demanda, como se muestra en la Tabla 20, pág 322

Tabla 19.

Incremento porcentual de costos de fletes por destino.

| CONFIGURACIÓN PROPUESTA |           |               |           | SENSIBILIZACIÓN (INCREMENTO DEL 4,5%) |           |               |           |
|-------------------------|-----------|---------------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------|-----------|
| CEDI PALMIRA            |           | CEDI BUGA     |           | CEDI PALMIRA                          |           | CEDI BUGA     |           |
| DESTINO                 | \$/TON    | DESTINO       | \$/TON    | DESTINO                               | \$/TON    | DESTINO       | \$/TON    |
| BUGA                    | \$ 23.849 | PALMIRA       | \$ 23.534 | BUGA                                  | \$ 24.922 | PALMIRA       | \$ 24.593 |
| ANDALUCIA               | \$ 40.990 | ANDALUCIA     | \$ 23.147 | ANDALUCIA                             | \$ 42.834 | ANDALUCIA     | \$ 24.189 |
| BUENAVENTURA            | \$ 42.941 | BUENAVENTURA  | \$ 26.277 | BUENAVENTURA                          | \$ 44.873 | BUENAVENTURA  | \$ 27.459 |
| BUGALAGRANDE            | \$ 41.200 | BUGALAGRANDE  | \$ 23.418 | BUGALAGRANDE                          | \$ 43.054 | BUGALAGRANDE  | \$ 24.471 |
| CALI                    | \$ 23.399 | CALI          | \$ 24.809 | CALI                                  | \$ 24.452 | CALI          | \$ 25.925 |
| CALIMA                  | \$ 25.050 | CALIMA        | \$ 7.302  | CALIMA                                | \$ 26.177 | CALIMA        | \$ 7.630  |
| CALOTO                  | \$ 8.839  | CALOTO        | \$ 26.663 | CALOTO                                | \$ 9.237  | CALOTO        | \$ 27.863 |
| CANDELARIA              | \$ 7.009  | CANDELARIA    | \$ 24.306 | CANDELARIA                            | \$ 7.324  | CANDELARIA    | \$ 25.400 |
| DAGUA                   | \$ 24.749 | DAGUA         | \$ 24.422 | DAGUA                                 | \$ 25.863 | DAGUA         | \$ 25.521 |
| EL CERRITO              | \$ 7.099  | EL CERRITO    | \$ 23.109 | EL CERRITO                            | \$ 7.418  | EL CERRITO    | \$ 24.148 |
| EL DOVIO                | \$ 58.670 | EL DOVIO      | \$ 41.311 | EL DOVIO                              | \$ 61.311 | EL DOVIO      | \$ 43.170 |
| FLORIDA                 | \$ 7.369  | FLORIDA       | \$ 24.770 | FLORIDA                               | \$ 7.700  | FLORIDA       | \$ 25.885 |
| GINEBRA                 | \$ 23.219 | GINEBRA       | \$ 6.877  | GINEBRA                               | \$ 24.263 | GINEBRA       | \$ 7.186  |
| GUACARI                 | \$ 23.339 | GUACARI       | \$ 6.413  | GUACARI                               | \$ 24.389 | GUACARI       | \$ 6.702  |
| GUACHENE                | \$ 8.119  | GUACHENE      | \$ 25.736 | GUACHENE                              | \$ 8.484  | GUACHENE      | \$ 26.894 |
| JAMUNDI                 | \$ 7.969  | JAMUNDI       | \$ 25.543 | JAMUNDI                               | \$ 8.328  | JAMUNDI       | \$ 26.692 |
| LA UNION                | \$ 58.640 | LA UNION      | \$ 41.272 | LA UNION                              | \$ 61.279 | LA UNION      | \$ 43.130 |
| LA VICTORIA             | \$ 58.430 | LA VICTORIA   | \$ 41.002 | LA VICTORIA                           | \$ 61.060 | LA VICTORIA   | \$ 42.847 |
| MIRANDA                 | \$ 7.639  | MIRANDA       | \$ 25.118 | MIRANDA                               | \$ 7.983  | MIRANDA       | \$ 26.248 |
| MORALES                 | \$ 42.610 | MORALES       | \$ 60.943 | MORALES                               | \$ 44.528 | MORALES       | \$ 63.685 |
| PADILLA                 | \$ 7.969  | PADILLA       | \$ 9.543  | PADILLA                               | \$ 8.328  | PADILLA       | \$ 9.972  |
| PIENDAMO                | \$ 42.100 | PIENDAMO      | \$ 60.286 | PIENDAMO                              | \$ 43.995 | PIENDAMO      | \$ 62.999 |
| POPAYAN                 | \$ 43.061 | POPAYAN       | \$ 61.523 | POPAYAN                               | \$ 44.998 | POPAYAN       | \$ 64.291 |
| PRADERA                 | \$ 6.978  | PRADERA       | \$ 24.268 | PRADERA                               | \$ 7.293  | PRADERA       | \$ 25.360 |
| PUERTO TEJADA           | \$ 7.969  | PUERTO TEJADA | \$ 25.543 | PUERTO TEJADA                         | \$ 8.328  | PUERTO TEJADA | \$ 26.692 |
| RESTREPO                | \$ 25.110 | RESTREPO      | \$ 7.302  | RESTREPO                              | \$ 26.240 | RESTREPO      | \$ 7.630  |
| ROLDANILLO              | \$ 58.130 | ROLDANILLO    | \$ 40.615 | ROLDANILLO                            | \$ 60.746 | ROLDANILLO    | \$ 42.443 |
| SANTANDER               | \$ 24.539 | SANTANDER     | \$ 42.277 | SANTANDER                             | \$ 25.644 | SANTANDER     | \$ 44.179 |
| TIMBIO                  | \$ 43.631 | TIMBIO        | \$ 62.257 | TIMBIO                                | \$ 45.594 | TIMBIO        | \$ 65.058 |
| TORO                    | \$ 58.911 | TORO          | \$ 41.620 | TORO                                  | \$ 61.562 | TORO          | \$ 43.493 |
| TRUJILLO                | \$ 57.650 | TRUJILLO      | \$ 39.997 | TRUJILLO                              | \$ 60.244 | TRUJILLO      | \$ 41.797 |
| TULUA                   | \$ 40.659 | TULUA         | \$ 22.722 | TULUA                                 | \$ 42.489 | TULUA         | \$ 23.745 |
| YOTOCO                  | \$ 24.119 | YOTOCO        | \$ 6.220  | YOTOCO                                | \$ 25.204 | YOTOCO        | \$ 6.500  |
| YUMBO                   | \$ 7.429  | YUMBO         | \$ 23.843 | YUMBO                                 | \$ 7.763  | YUMBO         | \$ 24.916 |
| ZARZAL                  | \$ 57.890 | ZARZAL        | \$ 40.306 | ZARZAL                                | \$ 60.495 | ZARZAL        | \$ 42.120 |

Fuente: Elaboración propia.

Los marcados en color verde indican que las líneas de “POLVOS” y “ENCHAPES Y GRES” representan la mayor proporción con un aporte acumulado del 57,7% del total de la demanda, por esta razón este par de líneas son seleccionadas para la tercera fase de sensibilización del modelo, aplicando un incremento del 10% en la demanda para cada línea, nodo de demanda y periodo de tiempo. Los resultados ante esta variación muestran que el costo logístico de manejo y distribución es igual a \$ 529.029.000 presentando un incremento del 3% aproximadamente frente al costo del resultado inicial propuesto (\$ 514.114.000), el componente de transporte se aumenta en \$ 14.915.000 (incremento del 6,13%) con un aporte equivalente a \$ 258.049.000 que representan el 48,78% de los costos logísticos de almacenamiento y distribución, dejando la mayor proporción (51,22%) a los costos de mantenimiento de inventario, estos resultados evidencian que el modelo propuesto es más sensible ante la variación de los flujos que este tenga que asignar teniendo en cuenta una variación proporcional en la demanda, al mismo tiempo esta configuración presenta menos sensibilidad ante fluctuaciones en costos relacionados con los fletes por ruta, tal como se observó en el punto anterior (Aumento de los costos de fletes por destino).

La Figura 9, pág. 323, sintetiza el análisis de sensibilidad realizando una representación del comportamiento de los costos de transporte, manejo de inventario y costo logístico total para cada uno de los escenarios planteados.

**Resultados de la sensibilización del modelo:** De acuerdo con el desarrollo de los diferentes escenarios propuestos y utilizando el esquema de la Tabla 21, pág 323, a continuación se presenta en forma resumida el comporta-

Tabla 20.

Proporcionalidad por línea respecto a la demanda total.

| Línea                         | Demanda total 16 periodos | Proporción  |
|-------------------------------|---------------------------|-------------|
| Polvos                        | 5.338,65                  | 34,10%      |
| Enchapes y gres               | 3.693,36                  | 23,60%      |
| Hierro y sistema constructivo | 2.586,79                  | 16,50%      |
| Tejas                         | 1.759,10                  | 11,20%      |
| Sistema liviano               | 782,07                    | 5,00%       |
| Pvc                           | 609,41                    | 3,90%       |
| Herramienta                   | 355,46                    | 2,30%       |
| Pintura                       | 186,92                    | 1,20%       |
| Aditivos                      | 153,67                    | 1,00%       |
| Porcelana                     | 81,09                     | 0,50%       |
| Porcelana                     | 65,87                     | 0,40%       |
| Electricos y galvanizados     | 50,81                     | 0,30%       |
| <b>Total general</b>          | <b>15.663,21</b>          | <b>100%</b> |

Fuente: Elaboración propia.



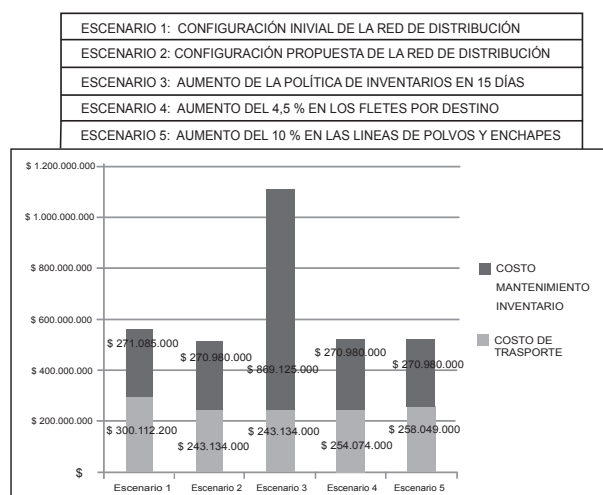


Figura 9. Comparativo proporcionalidad de costos para los escenarios plantados.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21.

Resumen de cálculo de los costos totales de logística.

|  | Costo de transporte | Costo de mantenimiento inventario | Costos fijos    | Costo total de logística |
|--|---------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Escenario 1: Configuración Inicial           | \$300.112.200       | \$271.085.800                     | \$1.168.594.000 | \$1.739.792.000          |
| Escenario 2: Modelo Propuesto                | \$243.134.000       | \$270.980.000                     | \$1.168.594.000 | \$1.682.708.000          |
| Escenario 3: Aumento 15 días Inventario      | \$243.134.000       | \$869.125.000                     | \$1.168.594.000 | \$2.280.853.000          |
| Escenario 4: Aumento 4,5% en Fletes          | \$254.074.000       | \$270.980.000                     | \$1.168.594.000 | \$1.693.648.000          |
| Escenario 5: Aumento 10% demanda de 2 Líneas | \$258.049.000       | \$270.980.000                     | 1.168.594.000   | \$1.697.623.000          |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22.

Rutas actuales para el CEDI Buga.

| Rutas actuales del CEDI Buga |  |
|------------------------------|--|
| Ruta                         | Nodos                                      |
| 1                            | Buenaventura                               |
| 2                            | Darién                                     |
| 3                            | Zarzal-Roldanillo-La Unión                 |
| 4                            | Buenaventura                               |
| 5                            | Restrepo-Dagua                             |
| 6                            | Tuluá-Andalucía-Bugalagrande               |
| 7                            | Zarzal- Roldanillo-La Unión                |
| 8                            | Guacarí-Ginebra-Cerrito                    |
| 9                            | Tuluá-Andalucía-Bugalagrande               |
| 10                           | Guacarí-Ginebra-Cerrito-Yumbo              |
| 11                           | Roldanillo-La Unión-Dovio-Toro-La Victoria |
| 12                           | Guacarí-Ginebra-Cerrito-Yumbo              |
| 13                           | Tuluá-Trujillo                             |

Fuente: Elaboración propia.

miento observado para el modelo propuesto y las variaciones planteadas.

Los resultados obtenidos dejan ver que el modelo propuesto presenta un mejor desempeño tal y como se explicó anteriormente en este documento, adicionalmente la Tabla 21 muestra que el modelo es considerablemente sensible ante fluctuaciones en los niveles de inventario o política de stocks, ya que cualquier variación en este elemento tendrá un impacto importante en los costos totales de logística; por último, ante variaciones en los costos por fletes y fluctuaciones en la demanda, de igual manera se afectan los costos logísticos; aunque el modelo presenta un mayor grado de tolerancia, siendo más sensible para el último caso con respecto a los costos asociados al cálculo de transporte entre nodos.

**Ruteo de vehículos:** En las Tabla 22 y la Tabla 23 se presenta la configuración actual de las rutas para los centros de

Tabla 23.

Rutas actuales para el CEDI Palmira.

| Rutas actuales del CEDI Palmira |   |
|---------------------------------|---|
| Ruta                            | Nodos   |
| 1                               | Cali  |
| 2                               | Candelaria - Padilla - Guachené - Puerto Tejada |
| 3                               | Popayán-Timbío                                  |
| 4                               | Santander - Piedamó - Morales                   |
| 5                               | Cali  |
| 6                               | Candelaria - Padilla - Guachené - Puerto Tejada |
| 7                               | Santander - Caloto                              |
| 8                               | Pradera - Florida                               |
| 9                               | Pradera- Florida - Miranda                      |

Fuente: Elaboración propia.

distribución, posteriormente se observa la implementación del modelo propuesto, indicando paso a paso los procedimientos de cálculo y la tabulación de la información necesaria para la parametrización del software en el módulo.

**Construcción de las matrices:** La matriz que constituye las coordenadas de localización de los nodos de demanda y los centros de distribución es presentada en la Tabla 24.

**Determinación de las demandas por cada nodo:** De acuerdo con los datos brindados por la proyección de demanda y la frecuencia con que se atiende cada nodo, se presenta en la Tabla 25, pág 325, con las demandas para cada nodo.

**Detallar la capacidad de los vehículos:** Para el análisis de capacidad se toma como referencia la Tabla 26, pág. 326, en la cual se describen los vehículos y la capacidad total disponible de despacho, tanto para entregas al detal como por mayoreo. Considerando que el objeto de análisis en este trabajo de investigación está enfocado en el canal de mayoreo, las capacidades que se detallan a continuación son las correspondientes a los vehículos destinados exclusivamente para atender estos despachos.

Con los datos anteriormente presentados se procede a ingresar al software LOGWARE la información necesaria para el diseño de la ruta, para lo cual el software requiere de la siguiente información.

**Parámetros:** En esta ventana se introducen, en primer lugar las coordenadas de los centros de distribución, que para el caso de estudio se definen en (0, 0), ya que se construyó un sistema de coordenadas fijando el CEDI Buga y posteriormente al CEDI Palmira como los orígenes del sistema de coordenadas. Luego se define el tiempo de iniciación más temprano de la ruta determinado en 30 minutos, el tiempo más tardío de regreso al CEDI, el cual se dejó abierto, y la velocidad de los vehículos en distancia por hora (60 Km / hora). Los datos generales como lo son: el porcentaje a partir del cual el vehículo es utilizado para hacer las recogidas, fijado en cero para el caso de estudio ya que no se realizan recogidas, los tiempos máximos permitidos en ruta y los tiempos de las paradas son definidos como 9 horas y 30 minutos, respectivamente.

**Paradas:** Aquí se consideran las demandas en peso y la localización geográfica de las paradas, además se determina el tipo de parada, ya que existen paradas para recoger (Pickup) y paradas de entrega (Delivery). Cualquier parada puede tener ciertos momentos en los que las entregas o recogidas se pueden hacer (ventanas de tiempo), las cuales se especifican como una hora de inicio y una hora de fin-

Tabla 24.

Localización geográfica de clientes y CEDIS.

|               | Buga   |        | Palmira |        |
|---------------|--------|--------|---------|--------|
|               | X (Km) | Y (Km) | X (Km)  | Y (Km) |
| Buga          | 0,0    | 0,0    | 0,6     | 40,2   |
| Palmira       | -0,6   | -40,2  | 0,0     | 0,0    |
| Tuluá         | 11,4   | 20,5   | 12,0    | 60,7   |
| Anadaluca     | 14,6   | 30,0   | 15,2    | 70,3   |
| Bugalagrande  | 15,8   | 34,6   | 16,5    | 74,9   |
| La Paila      | 25,0   | 46,6   | 25,7    | 86,8   |
| Zarzal        | 25,2   | 55,0   | 25,8    | 95,2   |
| Roldanillo    | 15,9   | 57,0   | 16,6    | 97,2   |
| La Victoria   | 28,9   | 69,2   | 29,6    | 109,5  |
| La Unión      | -7,1   | -26,3  | -6,5    | 13,9   |
| Toro          | 24,0   | 79,1   | 24,7    | 119,4  |
| El Dovio      | 6,9    | 67,6   | 7,5     | 107,8  |
| Trujillo      | -2,4   | 34,7   | -1,8    | 74,9   |
| Guacarí       | -3,9   | -15,2  | -3,3    | 25,0   |
| Ginebra       | 3,5    | -19,6  | 4,1     | 20,6   |
| Cerrito       | -1,8   | -24,0  | -1,1    | 16,3   |
| Amalme        | 2,5    | -32,8  | 3,2     | 7,5    |
| Yumbo         | -22,6  | -35,0  | -21,9   | 5,2    |
| Darién        | -20,8  | 3,3    | -20,1   | 43,5   |
| Restrepo      | -25,0  | -8,8   | -24,3   | 31,4   |
| Dagua         | -43,4  | -27,1  | -42,8   | 13,1   |
| Buenaventura  | -78,0  | -35,3  | -77,4   | 4,9    |
| Candelaria    | -5,6   | -55,0  | -4,9    | -14,8  |
| Villagorgona  | -9,7   | -56,2  | -9,1    | -16,0  |
| Puerto Tejada | -13,2  | -74,6  | -12,6   | -34,3  |
| Padilla       | -1,8   | -75,8  | -1,1    | -35,5  |
| Guachené      | -10,6  | -85,4  | -9,9    | -45,2  |
| Villa Rica    | -60,7  | -154,9 | -60,1   | -114,7 |
| Santander     | -20,8  | -99,2  | -20,2   | -59,0  |
| Caloto        | -12,2  | -96,3  | -11,6   | -56,1  |
| Cali          | -25,0  | -51,6  | -24,3   | -11,4  |
| Popayán       | -35,0  | -162,8 | -34,4   | -122,6 |
| Timbío        | -42,8  | -172,6 | -42,2   | -132,4 |
| Piendamó      | -76,8  | -140,0 | -76,2   | -99,8  |
| Morales       | -35,5  | -127,3 | -34,9   | -87,1  |
| Pradera       | 5,9    | -53,4  | 6,5     | -13,2  |
| Florida       | 7,0    | -64,4  | 7,7     | -24,2  |
| Miranda       | 7,7    | -72,5  | 8,4     | -32,2  |
| Corinto       | 4,2    | -80,9  | 4,8     | -40,7  |
| Rozo          | -10,2  | -31,3  | -9,6    | 9,0    |
| Amalme        | 2,5    | -32,8  | 3,2     | 7,5    |
| Placer        | 47,4   | -4,8   | 48,0    | 35,4   |
| Tiendanueva   | 8,5    | -36,7  | 9,1     | 3,5    |
| Jamundí       | -26,4  | -71,2  | -25,7   | -31,0  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.

Demandas por nodo.

| Nodo          | Demanda Mensual (Ton) | Demanda Semanal (Ton) | Frecuencia | Demanda Por Ruta (Ton) |
|---------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------------------|
| Buga          | 16,203                | 4,1                   | 1          | 4,1                    |
| Palmira       | 96,652                | 24,2                  | 1          | 24,2                   |
| Tuluá         | 33,88                 | 8,5                   | 3          | 2,8                    |
| Andalucía     | 4,516                 | 1,1                   | 3          | 0,4                    |
| Bugalagrande  | 4,873                 | 1,2                   | 3          | 0,4                    |
| Zarzal        | 40,443                | 10,1                  | 2          | 5,1                    |
| Roldanillo    | 22,539                | 5,6                   | 2          | 2,8                    |
| La Victoria   | 25,903                | 6,5                   | 2          | 3,2                    |
| La Unión      | 26,094                | 6,5                   | 2          | 3,3                    |
| Toro          | 2,594                 | 0,6                   | 1          | 0,6                    |
| El Dovio      | 2,869                 | 0,7                   | 1          | 0,7                    |
| Trujillo      | 5,158                 | 1,3                   | 1          | 1,3                    |
| Guacarí       | 10,357                | 2,6                   | 3          | 0,9                    |
| Ginebra       | 19,753                | 4,9                   | 3          | 1,6                    |
| Cerrito       | 66,977                | 16,7                  | 2          | 8,4                    |
| Yumbo         | 14,094                | 3,5                   | 1          | 3,5                    |
| Darién        | 102,071               | 25,5                  | 3          | 8,5                    |
| Restrepo      | 78,736                | 19,7                  | 3          | 6,6                    |
| Dagua         | 11,418                | 2,9                   | 1          | 2,9                    |
| Buenaventura  | 81,986                | 20,5                  | 2          | 10,2                   |
| Candelaria    | 15,24                 | 3,8                   | 2          | 1,9                    |
| Puerto Tejada | 20,874                | 5,2                   | 2          | 2,6                    |
| Padilla       | 10,753                | 2,7                   | 2          | 1,3                    |
| Guachené      | 5,171                 | 1,3                   | 2          | 0,6                    |
| Santander     | 28,966                | 7,2                   | 1          | 7,2                    |
| Caloto        | 9,866                 | 2,5                   | 1          | 2,5                    |
| Cali          | 29,767                | 7,4                   | 3          | 2,5                    |
| Popayán       | 41,854                | 10,5                  | 2          | 5,2                    |
| Timbío        | 9,302                 | 2,3                   | 1          | 2,3                    |
| Piendamó      | 1,695                 | 0,4                   | 1          | 0,4                    |
| Morales       | 4,23                  | 1,1                   | 1          | 1,1                    |
| Pradera       | 68,814                | 17,2                  | 2          | 8,6                    |
| Florida       | 29,182                | 7,3                   | 2          | 3,6                    |
| Miranda       | 29,089                | 7,3                   | 2          | 3,6                    |

Fuente: Elaboración propia.

lización en minutos, ya que las ventanas de tiempo no son limitante, entonces los tiempos se establecen lo más amplios posibles utilizando el inicio más temprano y el tiempo de retorno al CEDI.

**Vehículos:** Aquí se establecen la cantidad de vehículos (dos para cada CEDI), el tipo de vehículo, el número de paradas que puede realizar cada vehículo en cada lapso y la capacidad en peso y volumen.

Con los datos anteriores se procede a ejecutar el modelo, de allí se genera el reporte que nos muestra la mejor solución factible, minimizando la distancia total recorrida y estableciendo las paradas, los horarios y la secuencia de las rutas. Estos resultados se presentan en las Tabla 27 y 28, pág 326.

Para el ruteo propuesto, se puede identificar una reducción en la frecuencia con que son atendidos los nodos desde

Tabla 26.

Capacidad de los vehículos.

| Buga         |                 | Palmira  |                 |
|--------------|-----------------|----------|-----------------|
| Vehículo     | Capacidad (Ton) | Vehículo | Capacidad (Ton) |
| VB1          | 10              | VP1      | 10              |
| VB2          | 6               | VP2      | 6               |
| <b>Total</b> | <b>5</b>        | <b>4</b> | <b>16</b>       |

Fuente: Elaboración propia.

el CEDI Buga de un 40%, ya que se tienen 13 rutas pero tan solo se atienden 21 paradas, que en el ruteo actual es de 13 rutas con 35 paradas; esta reducción implica la consolidación de las demandas para cada nodo, lo que permite ahorros significativos en tiempo y distancias, ya que se atiende toda la demanda (si esta no sobrepasa la capacidad del vehículo) de un nodo en una sola parada evitando el desplazamiento nuevamente hasta el mismo nodo.

En el caso del CEDI Palmira tenemos que con los cuatro nuevos nodos que le fueron asignados (Yumbo, Cerrito, Jamundí y Amaime), presenta una reducción en la frecuencia

Tabla 27.

Ruteo centro de distribución Buga.

| Ruteo para El Cedi Buga |                                    |          |                |                         |                          |
|-------------------------|------------------------------------|----------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| Ruta                    | Nodos                              | Vehículo | Tiempo de Ruta | Distancia Total de Ruta | Utilización del Vehículo |
| 1                       | Tuluá                              | VB1      | 5              | 46                      | 84%                      |
| 2                       | Andalucía - Zarzal - Bugalagrande  | VB1      | 8,3            | 119                     | 126%                     |
| 3                       | Roldanillo-La Unión-Toro- El Dovio | VB1      | 9              | 172                     | 122%                     |
| 4                       | Trujillo - La Victoria             | VB1      | 6,3            | 155                     | 74%                      |
| 5                       | Guacarí - Ginebra                  | VB1      | 4,5            | 42                      | 76%                      |
| 6                       | Darién                             | VB2      | 4,7            | 40                      | 80%                      |
| 7                       | Darién                             | VB2      | 4,7            | 40                      | 80%                      |
| 8                       | Darién                             | VB2      | 4,7            | 40                      | 80%                      |
| 9                       | Restrepo-Dagua                     | VB2      | 5,7            | 103                     | 80%                      |
| 10                      | Restrepo                           | VB2      | 3,8            | 51                      | 60%                      |
| 11                      | Restrepo                           | VB2      | 3,8            | 51                      | 60%                      |
| 12                      | Buenaventura                       | VB2      | 7,3            | 171                     | 90%                      |
| 13                      | Buenaventura                       | VB2      | 7,3            | 171                     | 90%                      |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28.

Ruteo centro de distribución Palmira.

| Ruteo para El Cedi Palmira |                               |          |                |                         |                          |
|----------------------------|-------------------------------|----------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| Ruta                       | Nodos                         | Vehículo | Tiempo de Ruta | Distancia Total de Ruta | Utilización del Vehículo |
| 1                          | Cerrito                       | VP1      | 7,2            | 32                      | 80%                      |
| 2                          | Cerrito                       | VP1      | 7,2            | 32                      | 80%                      |
| 3                          | Yumbo                         | VP1      | 3,2            | 43                      | 30%                      |
| 4                          | Candelaria-Cali               | VP1      | 8,9            | 61                      | 94%                      |
| 5                          | Puerto Tejada-Caloto-Guachené | VP1      | 8              | 115                     | 73%                      |
| 6                          | Santander                     | VP1      | 7,9            | 123                     | 70%                      |
| 7                          | Popayán                       | VP1      | 8,4            | 253                     | 50%                      |
| 8                          | Popayán                       | VP1      | 8,4            | 253                     | 50%                      |
| 9                          | Morales-Timbío-Piendamó       | VP2      | 7,7            | 311                     | 30%                      |
| 10                         | Pradera                       | VP2      | 7,1            | 29                      | 80%                      |
| 11                         | Pradera                       | VP2      | 7,1            | 29                      | 80%                      |
| 12                         | Florida - Padilla             | VP2      | 8,5            | 74                      | 87%                      |
| 13                         | Miranda                       | VP2      | 7,2            | 66                      | 73%                      |

Fuente: Elaboración propia.

con que son atendidos, pasando de 22 paradas visitadas en el ruteo actual a 19 paradas en el ruteo propuesto, pero se observa un aumento en la cantidad de rutas atendidas, pasando de 9 rutas a 13.

En las Figuras 10 y 11, se muestra la representación gráfica del ruteo de vehículos para el CEDI Palmira y Buga respectivamente; allí podemos observar la nueva configuración de rutas para cada uno de los centros de distribución.

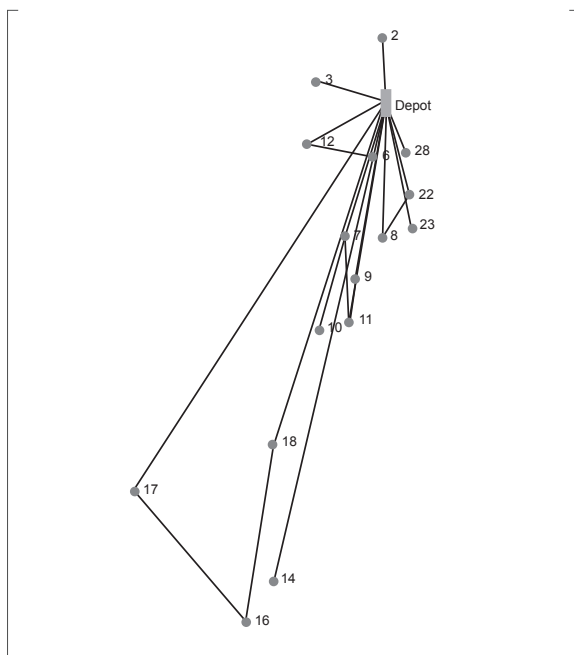


Figura 10. Ruteo para CEDI Buga.

Fuente: Elaboración propia

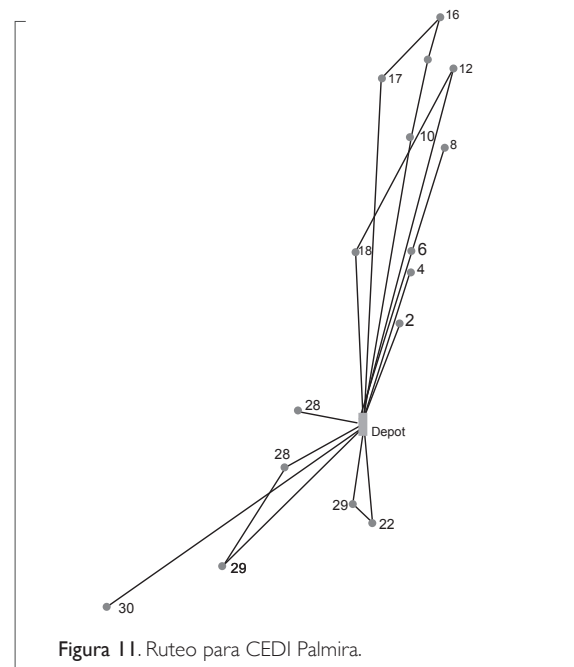


Figura 11. Ruteo para CEDI Palmira.

Fuente: Elaboración propia.

## Resultados de las salidas del sistema

**Confiabilidad de inventario.** En la Tabla 29 se presenta el indicador de confiabilidad de inventario para el periodo comprendido entre julio - diciembre de 2013. Estos datos son tomados del tablero de indicadores de la empresa.

Tabla 29.

Confiabilidad del inventario.

| Fecha      | Buga   | Palmira |
|------------|--------|---------|
| Julio      | 81,71% | 81,70%  |
| Agosto     | 92,05% | 92,05%  |
| Septiembre | 93,06% | 95,50%  |
| Octubre    | 89,20% | 95,67%  |
| Noviembre  | 92,58% | 96,33%  |
| Diciembre  | 91,01% | 94,43%  |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla anterior se puede observar el desempeño del indicador y cómo este ha mejorado en relación con el periodo de julio 2013; esto evidencia que las mejoras en los procedimientos permiten impactar en este indicador y a su vez en la percepción de servicio por parte de los clientes, mejorando de esta manera el tiempo de ciclo de pedido al disminuir los pendientes y los tiempos asociados a estos, debido a que existe una relación directa entre la confiabilidad de inventario y los tiempos de alistamiento y preparación de órdenes de pedido que es un componente del tiempo total del ciclo de pedido.

**Devoluciones:** A continuación se presenta el cálculo de este indicador tomando como referencia los datos del sistema de información de la empresa objeto de estudio:

$$1 - \frac{(\text{Devoluciones 2012})}{(\text{Devoluciones 2013})} = 1 - 11/82 = 87\%$$

Además, si se hace la comparación de las devoluciones presentadas en noviembre de 2012 con el mismo mes de 2013 tenemos que las devoluciones asociadas a mercancía no despachada y errores de inventario han presentado una disminución del 87%, pasando de 82 documentos a 11. Esto muestra una mejora importante en los procedimientos de entrada y salida de mercancía e información de los centros de distribución, que aportan a la disminución de los reprocesos, ya que se afecta en menor medida un factor de entrada al sistema como lo son las devoluciones provenientes de los clientes y disminuir sustancialmente la reprogramación de órdenes canceladas por concepto de errores de inventario o mercancía no despachada, y a la posterior disminución de los tiempos que esta reprogramación involucra.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se aborda un problema de diseño de red de distribución con el propósito de mejorar el desempeño logístico en un caso de estudio formulado a partir de una comercializadora ferretera. Contrastando la realidad de las operaciones y los diferentes enfoques teóricos presentados por autores como Ballou, (2004) y Chopra S. M (2008), se pudo evidenciar las grandes oportunidades de mejora asociadas a aspectos como procedimientos, análisis de costos, administración de inventarios y procesos de distribución y ruteo de vehículos, los cuales se vuelven muy sensibles en el desempeño financiero de la organización y en la percepción de servicio de los clientes.

Los modelos propuestos para el diseño de redes logísticas son múltiples, sin embargo, se toma como referencia a Vidal (2011), el cual aplica a la solución de problemas de este tipo el enfoque de Ballou (2004), que plantea la intervención a través de estrategias de inventarios, transporte y localización que impactan el nivel de servicio, y que los autores observan como pertinente y adecuado para su aplicación en este caso de estudio.

Se hace evidente que la red logística debe observarse como un modelo integrado que a partir de los referentes se estructuró en una propuesta que involucra elementos de entrada asociados a los procedimientos operativos, elementos propios del sistema logístico que considera la proyección de la demanda, la aplicación de estos datos dentro de un proceso de planeación de recursos en cuanto a inventario y distribución, y por último el impacto en el tiempo de ciclo, entendido para este caso en función del nivel de servicio percibido por el cliente.

A pesar de que se planteaba desde la mirada logística abordar en primera instancia el problema del diseño de la red considerando el tiempo de ciclo, se encontró en el desarrollo de la investigación que los tiempos de ciclo para la distribución al por mayor tenían un desempeño que se podría llamar adecuado en función al tiempo, pero con un alto impacto en cuanto a devoluciones, con un dato aproximado a \$ 11.000.000 por mes tomando como referencia noviembre de 2012, lo que afectaba enormemente la percepción de servicio de los clientes.

La confiabilidad del inventario, entendida como la seguridad de la disponibilidad del producto al momento de realizar la venta, se evidencia como fundamental desde la mirada del cliente por la confianza en el cumplimiento de los pedidos, así como desde la mirada de la empresa dado que se puede intuir un mejor desempeño en las ventas y una reducción en los costos asociados a reprocesos innecesarios por no disponibilidad del producto.

Se considera fundamental, como parte de la experiencia en la implementación del modelo propuesto en un caso real, el aspecto asociado a los procedimientos que implican manejo adecuado de información y control de las operaciones, así como la planeación de recursos de personal, tiempo y vehículos, para el adecuado desempeño de una red logística como la estudiada. Aunque en este documento no se presenta el impacto de la reducción de inventario asociada a la implementación del modelo, se pudo observar desde el mes de febrero de 2013 a noviembre de 2013 una disminución en el valor del inventario en aproximadamente \$1.100.000.000 con una confiabilidad en el mismo de cerca del 92% lo que valida la efectividad de un adecuado diseño de red y de su buena implementación.

No es fácil representar de manera fidedigna un problema de diseño de red a través de un modelo matemático, dado que son muchas las variables a considerar; sin embargo el modelo matemático que se usó en este trabajo permitió mostrar ineficiencias importantes que pueden servir a la administración para tomar mejores decisiones en cuanto a la gestión de sus recursos; en tal sentido se pueden hacer los siguientes aportes:

- Los costos de manejo y distribución (costo de transporte + costo mantenimiento de inventario) para el sistema objeto de estudio es mayormente sensible al cambio o a la variación de políticas de inventario. Esto se pudo validar incrementando en 15 días los niveles de inventario mínimo para cada línea de producto, lo que tuvo un impacto de \$ 598.186.000 respecto a la solución inicial representando un incremento de 116,35% en costos de manejo y distribución y un aumento equivalente al 35,5% en costos totales de logística.
- Para el segundo componente del costo total de logística que se refiere al costo de transporte, se puede observar que su impacto en el desempeño de costos totales no es tan importante como el caso anterior, dado que frente a una variación de fletes equivalente al 4,5% se obtuvo un aumento del 0,65% con un valor igual a \$ 10.940.000. De la misma manera, al hacerse una sensibilización aumentando el nivel de demanda en un 10% para dos líneas con una proporción del 57,7% de la demanda total se observa que el incremento en costos totales de logística es del 0,88%.
- El elemento de costo fijo, a pesar de ser un rubro representativo con una participación del 69,4%, para el caso de análisis, no se considera puesto que se maneja como una constante que se suma a los otros dos elementos de costo que componen el costo de manejo y distribución, sin querer significar con esto que este rubro no sea igualmente importante.



El modelo matemático permitió determinar los flujos óptimos de los dos centros de distribución a 36 nodos de demanda, lo que resultó en una reconfiguración de orígenes-destino reasignando algunos nodos pertenecientes anteriormente al CEDI Buga y que para efectos del modelo serán atendidos desde Palmira; estos nodos son:

- Cerrito.
- Jamundí.
- Palmira y zona de influencia.
- Yumbo.

Lo anterior deja ver la utilidad del modelo a pesar de que los resultados puedan parecer obvios. Sin embargo, la operatividad del día a día evita a los administradores hacer consideraciones de conveniencia logística en la toma de decisiones.

La determinación de los flujos en sí mismos no tiene mayor utilidad si no son operados de la mejor manera a través del ruteo adecuado de los vehículos. En este trabajo se toma como referencia el método de ahorros de Clarke & Wright (1964), para trabajar el ruteo. Este método sugiere las rutas que proponen los mejores ahorros en distancia y tiempos para la entrega de los productos. Para su implementación se utilizó el software Logware, encontrando algunos aspectos relevantes que se presentan a continuación:

- El método consolida las rutas, como se pudo evidenciar para el caso del CEDI Buga que pasó de 35 a 21 nodos que a pesar de su lógica existen algunas restricciones de programación que deben considerarse para su implementación.
- Para el diseño de rutas utilizando esta herramienta, la parametrización en cuanto a velocidad, tiempo de ruta y capacidad de vehículos se vuelve determinante al momento de obtener las rutas más eficientes.

El diseño de un sistema de distribución para el caso de estudio permitió mejorar procedimientos, identificar los elementos más relevantes de costos totales logísticos, conocer el impacto en la percepción de servicio al cliente y en general mejorar el desempeño del sistema logístico de la organización con base en los datos presentados en el documento y en algunas de las conclusiones aquí planteadas, lo que valida la pertinencia del estudio de la logística y el impacto en la competitividad dentro de esta organización.



### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Referencias bibliográficas

1. GOETSCHALCKX, Marc y TAYLOR Wendi. A decision support system for dynamic truck dispatching. In: Journal Computers and Industrial Engineering – Proceedings of the 9th Annual Conference on Computers and Engineering. 1987. Vol. 13, p. 120-123.
2. ALARCON VALERO, Faustino, ALEMANY DIAZ, Maria del Mar Eva, ORTIZ BAS, Angel y FRANCISCO CRUZ, Lario Esteban. "OrderPromising" y conceptos asociados: revisión de significados e interpretaciones y propuesta para su clasificación. En: IX Congreso de Ingeniería de Organización. 2005. Gijón.
3. ALARCON VALERO, Faustino, ALEMANY DIAZ, Maria del Mar Eva, ORTIZ BAS, Angel y FRANCISCO CRUZ, Lario Esteban. "Orderpromising" y gestión de pedidos: una visión de procesos. En: IX Congreso de Ingeniería de Organización. 2005. Gijón.
4. ARANGO SERNA, Martín D., PEREZ ORTEGA, Giovanni y ROJAS LOPEZ, Miguel D. Modelización de los indicadores de gestión en la cadena de suministro. Una visión sistémica. En: Dyna. 2008. Vol. 75, No. 156.
5. BALLOU, Ronald. Logística. Administración de la cadena de suministro. 5. ed. Pearson. Prentice-Hall. 2004
6. BELTRAN, J., RIVAS, M.A. y MUÑUZURI, J. Sistema de gestión logística: un enfoque para la valuación, integración y mejora de los procesos logísticos. En: Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro. 2007. Zaragoza.
7. BLANDING, W. Hidden Costs of Customer Service Management. En: Marketing publications. 1974
8. BOWERSOX, Donald, CLOSS, David y COOPER, M. Bixby. Administración y logística en la cadena de suministro. 2. ed. McGraw-Hill interamericana. 2007.
9. BRAVO, Juan José, OREJUELA, Juan Pablo y OSORIO, Juan Carlos. Administración de recursos de distribución. Indicadores para la priorización en transporte. En: Estudios Gerenciales. 2007. Vol. 33, No. 102.
10. CARRILLO, Martha. Helena. La gestión eficiente del ciclo de pedido en la cadena de suministro. Propuesta y aplicación al caso de una PYME colombiana. En: Revista cuatrimestral de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales. 2010. No. 79, p. 115-132
11. CHOPRA, Sunil. Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación. 3. ed. Pearson educación. 2008.
12. CHOPRA, Sunil, y MEINDL, Peter. Supply chain management: strategy. Planning and Operation. 3. ed. Pearson educación. 2007.
13. CLARKE, G., y WRIGHT, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. In: Operations Research. 1964. Vol. 12, p. 568-581.
14. CORRES, G., GARCÍA, J., y ZARATE, C. Uso de la simulación montecarlo para el cálculo de pronósticos de ventas. Comparación con otros modelos. En: VI congreso argentino de ingeniería industrial. Universidad tecnológica nacional. Facultad regional san Rafael. 2013.
15. DÍAZ MADROÑERO, Manuel, MULA, Josefa y CAMPUZANO, Francisco. Evaluación de proveedores en una cadena de suministro mediante dinámica de sistemas. En: XIV Congreso de Ingeniería de Organización Donostia- San Sebastián. 2010.
16. FLÓREZ CALDERON, Luz A., TORO OCAMPO, Eliana M. y GRANADA ECHEVERRY, Mauricio. Diseño de redes de logística inversa: una revisión al estado del arte y aplicación práctica. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2012. Vol. 22, No. 2, p. 153-177.
17. HESKETT, James. L. Controlling customer logistics service. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 1994. Vol. 24, No. 3, p. 141-145.

18. LARISSA, Kyj. Customer Service: Product Differentiation in International Markets. *In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1989. Vol. 19 , p 30-38.
19. LIM, Don. EDI in strategic supply chain: impact on customer service. *En: International Journal of Information Management*. 2001. Vol. 21, No. 3. p 193-211.
20. MARTÍNEZ SANCHEZ, Ángel y PÉREZ PÉREZ, Manuela. Servicio al cliente en la cadena de suministro: efecto de la adopción del EDI. *En: Revista de economía y empresa*. 2004. Vol. XXI, No. 2, p. 75-94.
21. SÁNCHEZ, Teresa, DURÁN, Alfonso y GUTIÉRREZ, Gil. Caracterización cuantitativa del ciclo logístico de las tiendas virtuales en el contexto de un proceso de mejora continua. *En: V Congreso de Ingeniería de Organización Valladolid-Burgos*. 2003.
22. VIDAL, Carlos Julio. Introducción a los sistemas de transporte y optimización de cadenas de abastecimiento. Programa Editorial – Universidad del Valle. 2011.