MODELO PARA TOMA DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN DINÁMICA DE DESPACHOS DE VEHÍCULOS TENIENDO EN CUENTA FACTORES DE ZONIFICACIÓN Y ENTREGAS PARCIALES EN LA SATISFACCIÓN TOTAL DE CLIENTES

ÁLVARO IVÁN CABRERA MORENO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI, VALLE DEL CAUCA
2015

MODELO PARA TOMA DE DECICIONES PARA LA PLANIFICACIÓN DINÁMICA DE DESPACHOS DE VEHÍCULOS TENIENDO EN CUENTA FACTORES DE ZONIFICACIÓN Y ENTREGAS PARCIALES EN LA SATISFACCIÓN TOTAL DE CLIENTES

ÁLVARO IVÁN CABRERA MORENO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Industrial en la modalidad de Trabajo de Investigación

Director

JUAN PABLO OREJUELA CABRERA, M.Sc.



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALI, VALLE DEL CAUCA

2015

NOTA ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

Director _____

Profesor

Jurado _____

Profesora

Jurado _____

Profesor

DEDICATORIA

La obtención de este logro, se la dedico especialmente a Dios todo poderoso, por concederme la oportunidad de vivir y haber alcanzado la meta propuesta.

A mis padres, por su valiosa colaboración y su esperanza puesta en mí, para alcanzar un peldaño más en mi formación personal y profesional.

A mis amigos, y en especial mi novia Ángela Tobar, gracias por compartir este proceso de esfuerzo y de logros, por darme ánimos para continuar con mi carrera Profesional.

A todas aquellas personas que de una u otra manera permitieron que este sueño de alimentar mi conocimiento, mis esperanzas y mi futuro se puedan hacer realidad, para poder transmitir mis saberes en el entorno laboral, profesional y personal.

Alvaro Iván Cabrera M

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios por permitirme continuar en este proceso de formación como Ingeniero Industrial.

A mi familia, mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en este proceso.

A la UNIVERSIDAD DEL VALLE, lugar de crecimiento académico y profesional.

A la ESCUELA DE INGENIERÍA y a todos sus profesores, en particular al profesor JUAN PABLO OREJUELA, por su disposición, asesoría y su confianza en el desarrollo y culminación de este trabajo.

El autor

CONTENIDO

		Pág.
	RESUMEN	***1***
1	***CAPITULO I. ELEMENTOS INICIALES DEL PROYECTO***	*3*
1.1	*INTRODUCCIÓN*	*3*
1.2	*PROBLEMA*	*8*
1.2.1	*FORMULACIONDELPROBLEMA*	*11*
1.3	*OBJETIVOS*	*11*
1.3.1	*OBJETIVO GENERAL*	*11*
1.3.2	*OBJETIVOS ESPECÍFICOS*	*11*
2	***CAPITULO II. MARCO TEÓRICO***	*12*
2.1	*CADENA DE ABASTECIMIENTO*	*12*
2.2	*IMPORTANCIA Y NATURALEZA DE LA LOGISTICA Y SCM*	*19*
2.2.1	*NIVEL ESTRATÉGICO*	*24*
2.2.2	*NIVEL TÁCTICO*	*24*
2.2.3	*NIVEL OPERACIONAL*	*24*
2.3	*EL AJUSTE ESTRATÉGICO DE LA CADENA DE SUMINISTRO*	*25*
2.4	*ELEMENTOS DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO*	*26*
2.5	*LOS CONSUMIDORES O CLIENTES*	*27*
2.6	*OTROS ELEMENTOS DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO*	*28*
2.7	*LAS DIRECTRICES O CONDUCTORES DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO*	*29*
2.8	*EL CONTROL DE INVENTARIO*	*30*
2.8.1	*SISTEMA (S,Q)*	*31*
2.8.2	*SISTEMA (S,S)*	*31*
2.8.3	*SISTEMA (R,S)*	*31*
2.8.4	*SISTEMA (R,S,S)*	*32*
3	***CAPITULO III. EL DESPACHO DE VEHÍCULOS***	*33*
3.1	*DESPACHOS DE VEHÍCULOS*	*33*
3.1.1	*CRECIMIENTOYDESARROLLO*	*35*
3.1.2	*OPERACIONESDETRANSPORTE*	*36*
3.1.3	*TIPO DE CARGA*	*36*
3.1.4	*COSTO DE TRANSPORTE*	*36*
3.2	*FACTORES DE ZONIFICACIÓN*	*37*
4	***CAPITULO IV ENTREGAS PARCIALES***	*40*
4.1	*EXPLORACION DE CRITERIOS DE PLANIFICACIÓN*	*42*

4.2	*INDICADORES PARA LA PRIORIZACION DE DESPACHOS*……	*46*
5	***CAPITULO V. PROPUESTA METODOLÓGICA***……	*48*
5.1.	*CASO DE ESTUDIO*……	*48*
5.1.1	*CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO*……	*49*
5.1.2	*SUPUESTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN*……	*49*
5.2	*CARACTERÍSTICAS Y SUPUESTOS DEL MODELO*……	*51*
5.3	*NOTACIÓN UTILIZADA PARA EL MODELO*……	*52*
5.4	*FORMULACIÓN VERBAL DEL MODELO* ……	*53*
5.5	*FORMULACIÓN MATEMÁTICA*……	*54*
5.6	*DESCRIPCIÓN DEL MODELO*……	*56*
6	***CAPITULO VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS***……..	*59*
6.1	*ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN EL VALOR DE LA PENALIZACIÓN DEL COSTO POR BACKORDER*……	*62*
6.2.	*ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN LOS VALORES DE LA DEMANDA*……	*66*
6.3.	*ANALISIS DE SENSIBILIDAD CAMBIOS CAPACIDAD DE LA ORDEN*……	*69*
6.4	*ANALISIS DE SENSIBILIDAD CAMBIOS ASIGNADOS POR DESPACHO*……	*71*
7	***CAPITULO VII. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO.***	*74*
7.1	*COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO ORIGINAL Y LOS MODELOS PROPUESTOS*……	*85*
	CONCLUSIONES……	*88*
	RECOMENDACIONES……	*94*
	REFERENCIAS……	*95*

LISTA DE FIGURA

Figura 1	Esquema de un ejemplo de zonificación …….	10
Figura 2	Una cadena de abastecimiento típica…….	15
Figura 3	Una red abastecimiento…….	18
Figura 4	Evolución costos totales y logística de transporte en E.U en 1980 y 2003	20
Figura 5	Costos de mantenimiento inventario en relación con E.U 1985 – 2008.	21
Figura 6	Logística en los departamentos de una Empresa……	22
Figura 7	El ajuste estratégico de la cadena de abastecimiento……	26
Figura 8	El ajuste estratégico y las directrices de la cadena de abastecimiento.	29
Figura 9	Ejemplo propiedades de las directrices cadena de abastecimiento (Caso de Wal – Mart)…….	30
Figura 10	Modelo de optimización de rutas……	38
Figura 11	Centro de Distribución del Proveedor…….	41
Figura 12	Criterios para la planificación del transporte……..	44
Figura 13	Representación del caso del estudio……..	49
Figura 14	Cantidad despachada Vs Backorder por día y por cliente……..	62
Figura 15	Cantidad despachada Vs Backorder para cada uno de los clientes…	64
Figura 16	Comparativo de despachos realizados con costo de Backorder SIM..	65
Figura 17	Backorder de cada cliente para demanda creciente y decreciente……..	67
Figura 18	Cantidad despachada a cada cliente para demanda creciente y dec,,,	68
Figura 19	Backorder de cada cliente incrementando en capacidad de orden……	70
Figura 20	Cantidad despachada a cada cliente incrementando en capacidad…..	70
Figura 21	Backorder de cada cliente reducción costos de transporte…….	72
Figura 22	Cantidades despachadas a cada cliente reducción costos de transporte…	72
Figura 23	Cantidad despachada Vs backorder por día y por cliente……	77
Figura 24	Comparativo de costos promedio de Backorder funciones (M2 y M3).	86
Figura 25	Comparativo de costos de despacho de funciones propuestas /M2 y M3).	87

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Información de tiempos de tránsito hacia las bodegas – clientes…….	50
Tabla 2	Backorder del producto 1 para todos los clientes (b) en los días (d)…….	60
Tabla 3	Cantidad despachada al cliente 1 b(1) de los productos 1 2 3 (p1 p2, p3)	61
Tabla 4	Costo total de backorder para cada día (d) comparado con los costos…..	61
Tabla 5	Costo total de backorder de disminución para los clientes……..…	62
Tabla 6	Cantidad despachada al cliente 1 (b1) de los puntos 1 2 3 (p1 p2, p3)….	63
Tabla 7	Costo total de backorder para cada día (d) comparados con costos……	64
Tabla 8	Costos totales por despacho en comparación a la simulación……..	65
Tabla 9	Costos totales por despacho para demanda creciente y decreciente ……	68
Tabla 10	Costos totales por despacho para incremento en capacidad orden 50%	71
Tabla 11	Costo por despacho a cada zona…….	75
Tabla 12	Backorder del producto 1 para todos los clientes (b) en los días (d)……	76
Tabla 13	Cantidad despachada al cliente 1al 6 (b1 – b6) de los productos 1 2 3.	76
Tabla 14	Comparación de costos de backorder entre los modelos 1 y 2…….	78
Tabla 15	Comparación de costos por despacho entre los modelos 1 y 2……	78
Tabla 16	Costo promedio por despacho dependiendo de la zona día y capacidad.	80
Tabla 17	Costo promedio por orden en el día…….	81
Tabla 18	Backorder para los tres (3) productos para todo cliente y todos los días	82
Tabla 19	Cantidades despachadas para el cliente 1……..	83
Tabla 20	Comparación costos de backorder entre modelo 2 y 3……..	84
Tabla 21	Comparación entre costos por despacho de propuestas modelos 2 y 3.	85

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Datos de ventas reales. Estudio de caso.	100
Anexo B.1	Modelo I. Comandos de iniciación de condiciones B.1.	106
Anexo B.2	Modelo I. Datos comandos,	107
Anexo B.3	Modelo I. Modelo final.	114

RESUMEN

El propósito fundamental de la presente investigación se direccionó a crear un modelo matemático para priorizar despachos que contemplen factores de zonificación y entregas parciales de pedidos a clientes. En este sentido el estudio se enfocó en determinar indicadores o parámetros de satisfacción del cliente, articulando la planificación de despachos desde un CEDIS, hacia varios clientes partiendo de tres (3) diferentes zonas presentando la particularidad que podrían ocurrir entregas de mercancía parciales. Es por ello, que se espera beneficiar a aquellas empresas prestadoras de servicio de transporte, a cadenas o grandes superficies las cuáles presentan estas dos nuevas variables en su continua operación y deben ser estudiadas para visualizar el impacto y priorizar la programación de despachos.

Para llevar a cabo los pasos que conllevan el desarrollo de la investigación, se aplicó la metodología de estudio de tipo exploratorio y descriptivo, el primero examinó las variables de planeación dinámica del modelo y el segundo argumentó y describió la situación problemática de satisfacción del cliente en los sistemas de entrega de mercancía, para definir los factores de zonificación del modelo.

Los resultados evidenciaron que la aplicación de las fórmulas matemáticas y los cálculos de los parámetros de costeo, se constituyen en la base para organizar los despachos por zona y por orden como factores principales y criterios de estudio. Las muestras representan el análisis de fondo desarrollado en este estudio argumentado en las entregas parciales y el criterio de priorización por zonas, además expresa información diferente y complementaria acerca del desabastecimiento de un producto en una bodega- cliente determinada.

En relación con el capítulo de las conclusiones, se determinó la importancia de un cliente respecto a otro, la relación entre zonas, la relevancia de los faltantes por entregas parciales o ventas sin existencia y las alternativas de los diferentes sistemas de costeo por despacho para el caso de varios productos y familias de productos; interrelacionando la metodología operativa para la priorización de despachos en un entorno dinámico de envíos.

Palabra claves: Planificación dinámica, ruteo, despachos de vehículos, zonificación, entregas parciales, indicadores y satisfacción al cliente.

ABSTRACT

The main purpose of this research was targeted to create a mathematical model to prioritize shipments factors that include zoning and partial delivery of orders to customers. In this sense, the study focused on identifying indicators or parameters of customer satisfaction, coordinating planning firms from CEDIS, to various clients based on three (3) different areas presenting the particularity that partial deliveries of merchandise could occur. Therefore, it is expected to benefit some companies providing transportation services to the chains or supermarkets which have these two new variables in continuous operation and must be studied to visualize the impact and prioritize programming offices.

To carry out the development of the steps that lead to the research, exploratory study methodology was applied and described, the first model examined the dynamic planning variables and the second model argued and represented the problematic situation of satisfaction customer in merchandise delivery systems which defined the factors zoning modeling.

The results showed the applied mathematical formulas were chosen in order to studied the impact of partial deliveries and prioritization criteria for areas on clients; besides these parameters express different and complementary information about the shortage of product on a customer.

To conclude, the study determined the importance of a customer over another, in the case of a product with a different scenario assuming partial deliveries and zone customization. Also, operational methodology for shipment priority in a dynamic environment is proposed shipment.

Key word: dynamic planning, routing, dispatching vehicles, zoning, partial deliveries, and customer satisfaction indicators.

CAPÍTULO I.
ELEMENTOS INICIALES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

La importancia del transporte terrestre a nivel mundial se cataloga regularmente como uno de los factores determinantes de la competitividad empresarial y de los países en su nivel de desarrollo. Es razonable que a medida que van surgiendo nuevos productos, nuevas marcas, nuevas alternativas de innovación el nivel de exigencia de los clientes va incrementando, aumentándose igualmente la necesidad de contar con un servicio al cliente más efectivo. A pesar de que el costo de transporte suele ser representativo respecto a los costos logísticos totales, en muchas organizaciones se decide mantener costos altos de transporte apoyando las labores que propendan por un buen servicio. (Bowersox, Closs, Cooper. 2002).

Es por ello, que a nivel gerencial se considera de gran relevancia la puesta en marcha de planes de mejoramiento de los sistemas de transporte, distribución y el seguimiento constante al servicio al cliente desde el punto de vista de indicadores logísticos y financieros. (Bravo, Osorio, Orejuela, 2007).

Debido en gran parte del incremento de carga por transportar, las relaciones entre las empresas generadoras de carga, las empresas transportadoras y los dueños de los vehículos no satisfacen a los usuarios en la actualidad. De hecho, hay notables falencias en la planificación del transporte que se señalan en el estudio; ésta es importante resaltar una generalización en cuanto al manejo deficiente de la información y la falta de indicadores que permitan realizar seguimiento a la gestión de transporte y la distribución. (Bravo, et al., 2007).

Las anteriores deficiencias en su conjunto conllevan a propiciar un servicio no satisfactorio al cliente final, quien busca agilidad en la entrega de los productos, puntualidad en los compromisos adquiridos, además de una excelente calidad en el servicio; este se ha visto seriamente afectado por un transporte deficiente, con coberturas incompletas, altos costos de fletes y mala planificación del proceso de distribución. Con estas deficiencias es difícil para las empresas productoras colombianas el competir activamente tanto nacional como internacionalmente.

A medida que avanza la competitividad de los mercados, obliga a que se genere una cultura de adaptabilidad y se ofrezcan servicios que generen en los clientes confiabilidad, flexibilidad, rapidez y competitividad en costos relacionados con el transporte de mercancía. Es por estos motivos que la toma de decisiones dentro de las gerencias de operaciones nacionales e internacionales sobre transporte es un tema de mucha importancia. (Aladi., 2003).

En virtud de lo anterior existen (algunas, en un bajo porcentaje) empresas que tienen implementado un sistema de optimización de rutas de despacho para los vehículos. En muchas ocasiones, las rutas son construidas por medio de la inspección visual del problema, generando así sólo una solución factible, pero no producto del desarrollo de alguna metodología analítica que use algún criterio de decisión basado en un análisis cuantitativo. Una de las razones para esta habitual práctica podría estar en el desconocimiento de las herramientas que se han desarrollado en los últimos años para el problema de ruteo de vehículos, o en la poca credibilidad en los beneficios que estas pueden traer en los niveles de servicio del sistema. Otra razón podría estar en la falta de oferta de herramientas destinadas a resolver este problema de ruteo, muchas veces, implementar un sistema de optimización sofisticado para resolver el problema podría necesitar de grandes inversiones, de tiempo y monetarias, las que, si se desconocen los beneficios que pueden producir, aparecen como no rentables. (Beltrami, et al., 1974). Es necesario resaltar, que la falta de puntualidad y de criterio al momento de visualizar los costos que genera el transporte de mercancía ha sido un factor crucial y de vital importancia para las grandes superficies.

La movilización de mercancías en el país en los últimos años, presentó un crecimiento promedio anual de 18% en el total de carga movilizada en el país a través de los diferentes modos de transporte, pasó de 564.634 miles de toneladas en el año 2012 a 633.349 miles de toneladas en el año 2013. El modo de transporte más representativo es el terrestre por carretera; la carga movilizada pasó de 185.553 miles de toneladas en el año 20012 a 234.254 en el año 2013, un crecimiento anual promedio de 15% en tres años. (Transporte en cifras, versión 2010).

Así mismo, en el periodo comprendido entre los años 2014 y 2015, se estima un crecimiento promedio anual de la carga movilizada del 6.25%.

El transporte terrestre tomará gran importancia a través del tiempo y su crecimiento inminente en los años venideros. Sin embargo, los compromisos adquiridos con respecto al servicio al cliente, se podría pensar que no se están gestionando, además de no llevarles un

control riguroso. La calidad en productos, puntualidad en entregas y satisfacción en servicio podrían ser consideradas bajo la opinión de expertos las deficiencias que se presentan comúnmente en empresas, en cuanto a servicio de transporte terrestre se refiere, tomando como referencia las constantes críticas de los usuarios y siendo estos los factores que más buscan mejorar las compañías.

A continuación se sustenta la literatura de las principales investigaciones que abarcan la necesidad del atender a los clientes, con eficiencia, eficacia y entrega oportuna a través de un transporte efectivo que promueva la distribución física de mercancías.

Se pensaría que en lo que respecta al servicio al cliente, existen factores claves que atañen directamente a la función de distribución física de la empresa. Se trata por ejemplo de aspectos como la frecuencia de despachos, la información sobre disponibilidad de inventarios y las fechas de despachos programadas, entre otros aspectos señala dos. (Innis, La Londe, 1994). Se tienen algunas conclusiones sobre la inherente complejidad del proceso de atención a clientes y se afirma que la variabilidad de la demanda de los clientes, la flexibilidad limitada en las plantas de manufactura, los largos tiempos de respuesta a las órdenes de clientes y la poca coordinación general entre los eslabones de la cadena de suministros, hace casi inevitable la existencia de altos inventarios tanto en los centros de distribución como en las instalaciones del cliente. Se anota además que los centros de distribución desean llegar a realizar despachos "justo a tiempo" pero que esto viene a imposibilitarse por falta de coordinación en los sistemas de información y planificación. (Holweg, 2005).

Por otra parte se concluye que los factores que afectan el servicio al cliente son principalmente seis: habilidad para cumplir una fecha de despacho prometida, aviso oportuno de la dilatación de los envíos, exactitud en la orden despachada, ágil respuesta a las quejas de clientes, fácil intercambio de información entre cliente y proveedor, y la duración de los tiempos de respuesta a pedidos “lead times”. (Dobie, 2005).

Los anteriores trabajos coinciden en afirmar que los componentes de un buen servicio al cliente tienen una estrecha asociación con aspectos relativos a la planificación de despachos o distribución física de productos. También se reconoce la complejidad actual de construir una buena estrategia de servicio, basada en un transporte eficiente, y la necesidad de ahorrar recursos en distribución alertando sobre la inconveniencia de centrarse sólo en el cliente y descuidar el impacto financiero de la estrategia de distribución finalmente escogida. (Goetschalckx, 1988).

Por lo anterior se puede sustentar la razón por la cual en muchas organizaciones no cuentan con los recursos necesarios, y solamente dejando algunos vehículos para su operación con el fin de cuidar y ser cautelosos en sus finanzas y causando en sus clientes una insatisfacción en el servicio.

La mayoría de la literatura que aborda la problemática del despacho de camiones, se centra en los problemas de ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés) y no considera de ninguna manera la priorización de despachos que aborda la imposibilidad práctica de tener una flota de camiones ilimitada. En Holweg, (2005). Muestran la implementación real de un software de ruteo y programación de envío de camiones en una empresa de distribución de gas industrial, empleando un algoritmo de optimización entera mixta. En dicho estudio se habla de la dificultad de tener cientos de clientes y solo unas decenas de camiones disponibles, y afirman que la localización geográfica de los clientes es el supuesto más lógico que tuvieron en cuenta para decidir a qué clientes visitar. En Ichoua, Gendreau, & Potvin (2000), se dice que generalmente los modelos de distribución asumen un envío instantáneo de productos hacia los clientes o bien consideran un número ilimitado de vehículos disponibles para envío de productos, advirtiéndose que en la mayoría de las situaciones reales o prácticas existe en lugar de esto una cantidad limitada de vehículos.

En la presente investigación se estudia a través de un modelo matemático de optimización, la planificación de envíos considerando la problemática de los faltantes y la distribución de clientes por zonas para el despacho de productos, y asociando el transporte a restricciones de costos a cada una de ellas. En este sentido, según (Bravo et al, 2007), propone una serie de indicadores que contribuyen a la priorización de los despachos, enfocados en un buen servicio al cliente y partiendo de información logística tradicional en cadenas regionales de abastecimiento tales como: demanda de clientes, variabilidad estimada de la demanda, inventario de los clientes (inventario de seguridad, inventario máximo permisible e inventario efectivo en el momento de realizar un pedido), tiempo de tránsito desde el distribuidor hasta el cliente y prioridad de zonas de mercado (Aladi. 2003).

Los indicadores de prioridad de bodegas o criterios propuestos en investigaciones anteriores (Bravo, et al 2007), son los siguientes: Criterio de cobertura en unidades (c.u.), criterio e tamaño del faltante (t.f.), criterio de cobertura en días (c.d.), criterio priorización de zona de mercado, criterio de demanda, criterio de variabilidad de demanda, criterio de tamaño del pedido

(t.p.).

Por lo anterior, se elabora la presente investigación evidenciado el estudio de indicadores y/o parámetros de satisfacción del cliente, en cuanto a la planificación de despachos desde un CEDIS, hacia varios clientes que se encuentran en tres diferentes zonas y que además se presentaba la particularidad de que podrían ocurrir entregas de mercancía parciales. Por ello, se espera beneficiar algunas empresas prestadoras de servicio de transporte, a cadenas o grandes superficies, las cuales presentan estas dos nuevas variables en su continua operación y que deben ser estudiadas para ver su impacto y prioridad en la programación de despachos y su impacto en el costo en el transporte.

El trabajo está subdivido por los siguientes capítulos:

En el capítulo I, se referencia los elementos iniciales del proyecto tales como introducción, antecedentes, justificación, problema, formulación del problema, objetivos y metodología de tipo modelo de programación lineal propuesto en este proyecto, visualizando todos los elementos que conforman la investigación.

En el capítulo II, se hace énfasis a una revisión teórica y amplia del tema de planificación dinámica de despachos.

El capítulo III, se enfoca a la operatividad de los despachos de vehículos, así como los factores de zonificación.

En el capítulo IV; se relaciona con las entregas parciales, exploración de criterios de planificación e indicadores para la priorización de despachos.

En el capítulo V, se presenta la propuesta Metodológica, argumentado el caso de estudio, características y supuestos del modelo y formulación del modelo dinámico de priorización de despachos multiproducto.

En el capítulo VI Se evidencia el análisis de resultados de los modelos matemáticos aplicados y el Capitulo VII, el análisis de la estructura del modelo. Por último se dan a conocer las conclusiones, recomendaciones y las referencias.

1.2. Problema

En el problema estándar del ruteo (VRP), un número de vehículos es designado para atender a un servicio o a una cantidad geográficamente dispersa de servicios. En él cada vehículo tiene una capacidad y cada servicio tiene una demanda. Este tipo de problema viene recibiendo bastante atención por los investigadores. (Golden, Wasil, Kelly & Chao. 1998).

En este sentido se han planteado muchos métodos para la solución del mismo; estos métodos incluyen tanto algoritmos como heurística. Dentro de este tema de estudio, se encuentra con varios modelos donde el despacho de mercancía hacia clientes externos o internos debe ser de la mejor manera, oportuna y efectiva. El anterior tema de estudio mencionado abarca el problema objeto de la investigación. Las soluciones más apropiadas para solucionar este problema pueden ser encontradas en tiempo razonable mediante programación lineal entera (Nilsson.et al, 2003).

Las acciones que toman las compañías para suplir esta necesidad fueron y siguen siendo ineficientes y comúnmente llamadas "apaga incendios", sin tener un resultado contundente sobre el problema. El déficit monetario causado por la constante pérdida de clientes a razón de un servicio mal estructurado y el deficiente desempeño del área de operaciones dentro de los establecimientos, se podría pensar que no han sido estudiados a profundidad, sin embargo, los indicadores de gestión de las empresas a menudo relacionados con el área de despachos no muestra incrementos considerables en rentabilidad y muestran decrecimiento en requerimientos o quejas por parte del cliente.

Por otra parte, otras variables adicionales deben ser trabajadas para que el problema raíz sea corregido, como por ejemplo, la disponibilidad de productos, fechas para el despacho, coordinación con el área de ventas y el inventario de los clientes, inventario máximo permisible e inventario efectivo. Para eso cabe preguntarse: ¿cuántos clientes se pierden por no prestar un excelente servicio por parte del área de despachos?, ¿qué tan eficiente es la asignación de órdenes a los transportadores para cumplir con los pedidos diarios?, ¿se cumple con entrega de órdenes completas? ¿Es el sistema de información lo suficientemente eficiente para agilizar el trámite de salida de los pedidos? ¿Se cuenta con órdenes parciales de clientes? ¿Cuál es el manejo a estas órdenes? ¿Se puede minimizar el efecto que tienen las órdenes parciales en un despacho, en la eficiencia de un sistema de rutas? (Bravo, et al., 2007)

De acuerdo a lo mencionado en los interrogantes anteriores, estos también son variables que afectan directamente el tema a trabajar y que deben ser objeto de estudio.

Las compañías de productos de consumo masivo cuentan con varios métodos de transporte de mercancía, en este caso puntual, el problema se centrará en el despacho de mercancía teniendo en cuenta varios indicadores que han sido analizados con anterioridad y que se tomarán como referencia para continuar la investigación del fenómeno de la problemática que ha sido estudiado por Bravo, Orejuela y Osorio (2009) "Modelo de priorización dinámica de despachos de vehículos utilizando proceso analítico jerárquico", pero adicionándole otros dos factores que hoy en día se consideran de importancia en el análisis en esta clase de despachos; la zonificación de acuerdo a las zona geográfica donde se realizan los despachos y la entrega de mercancía parcial a clientes por falta de existencias en los puntos de venta o ventas sin existencia. Estos dos factores crean una incertidumbre al momento de realizar un despacho y la prioridad que esto podría representar ante una programación de rutas o despachos. Las entregas parciales representan, en la parte financiera, un sobrecosto para las compañías, debido a que los clientes siempre pagan un solo transporte, pero el no tener disponibilidad de un ítem al momento del despacho, significa que la compañía debe incurrir en el costo que implica llevarle ese producto cuando esté disponible al cliente, y esto genera alteraciones en la operación y la priorización de despachos al tener que incluir nuevas rutas y asumir costos que no están contemplados.

De igual forma, la zonificación de los diferentes clientes, hace que se tenga desde la parte financiera una tarifa diferente dependiendo de la zona, y adicional a esto la priorización del despacho se ve afectada directamente.

A continuación se presenta un esquema donde se puede observar el contexto del problema. (Ver Fig.1).

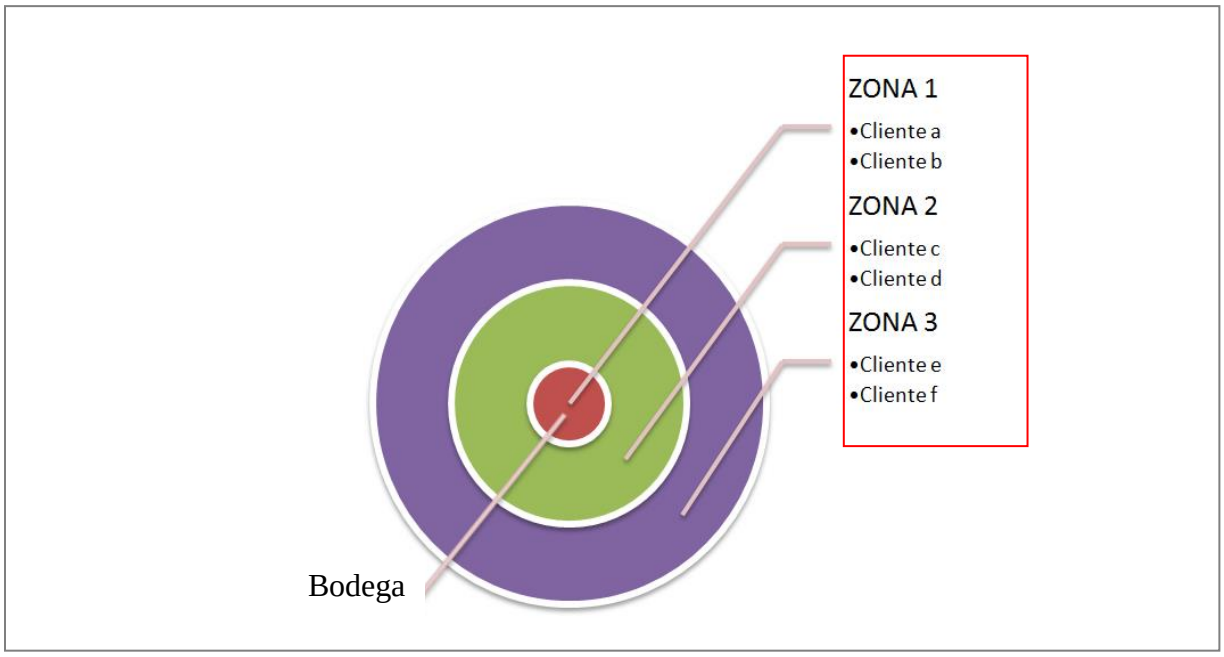


Figura 1. Esquema de un ejemplo de zonificación.

Fuente: Bravo, J.. 2007; 23 (102).

Por otra parte, los factores que afectan el servicio al cliente propuestos por Bravo, et al., (2009), son principalmente seis: habilidad para cumplir una fecha de despacho prometida, aviso oportuno de la dilatación de los envíos, exactitud en la orden despachada, ágil respuesta a las quejas de clientes, fácil intercambio de información entre cliente y proveedor, y la duración de los tiempos de respuesta a pedidos (lead times). Adicional a esto, se contará con la correlación que tenga los pedidos parciales y la priorización de entrega de acuerdo a las diferentes zonas en la satisfacción del cliente.

En este sentido, se debe reconocer la complejidad que presentan los problemas de ruteo, el objetivo de prestar un eficiente servicio al cliente y la necesidad de ahorrar en recursos en donde las organizaciones no se vean afectadas financieramente.

Según los diferentes autores que han realizado estudios sobre la formulación de los Problemas de Ruteo de Vehículos, una gran cantidad de métodos matemáticos han sido propuestos para su resolución. Estos métodos matemáticos incluyen tanto algoritmos exactos como heurísticas. (Ebensperger, 2009). En este trabajo se presenta características relevantes de algunas heurísticas y fórmulas matemáticas que han sido más significativas.

1.2.1Formulación del Problema.

¿La propuesta de un modelo matemático para priorizar despachos que contemplen factores de zonificación y entregas parciales, permitirá una optimización del recurso y eficiencia en la prestación del servicio?.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Desarrollar un modelo matemático para priorizar despachos considerando factores de zonificación y entregas parciales de pedidos a clientes.

1.3.2. Específicos

- Caracterizar el proceso de entrega de pedidos con el fin de definir el conjunto de factores que lo afectan.
- Seleccionar los indicadores de priorización de despachos con el propósito de identificar su relación con los factores de entrega por zonas y entregas parciales.
- Definir el conjunto de restricciones y atributos a involucrar en el modelo matemático.
- Modelar el problema y validarlo mediante un caso de estudio.

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los principios básicos de logística y temas concernientes a comprender el planteamiento y desarrollo del problema. Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo específico uno (1), se presenta un marco teórico amplio que permite identificar cuáles son los principales factores que hacen parte del proceso de priorización de despachos, del mismo modo se describe el desarrollo de los principales elementos involucrados asociados a la problemática de estudio**.**

2.1. Cadena de abastecimiento

Una adecuada gestión de distribución de la cadena de abastecimiento sustenta a la competitividad de las empresas. Y buena parte de la distribución física consiste básicamente en asignar una ruta a cada vehículo de una flota para repartir o recoger mercancías, lo que constituye un conjunto de problemas habituales que no se resuelven de manera óptima y acarrean una merma significativa en la cuenta de resultados de las empresas. El autor de este trabajo analiza los aspectos implicados en la problemática de la distribución, teniendo en cuenta desde las premisas matemáticas implicadas hasta las cuestiones que hacen a la mejor selección del modelo matemático.

Los problemas se evidencian, cuando no existe una coordinación del ruteo de los vehículos y son variados, se propone una clasificación que contiene un mínimo de 8x8x109 combinaciones posibles de modelos de distribución. (Yepes., 2002).

A grandes rasgos el problema de ruteo de vehículos (VRP) consiste en, dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez. Dentro de esta definición, el problema se ubica en un amplio conjunto de variantes. (Ralphs, Hartman & Galati, 2001).

El problema puede formularse matemáticamente mediante programación lineal entera (PLE) como sigue (Clarke & Wright., 1964).

Para la primera ciudad después de la ciudad de residencia del agente, (n – 2) posibilidades para la siguiente ciudad y así sucesivamente. El denominador 2 surge porque cada ruta presenta una ruta inversa equivalente con la misma distancia (TSP simétrico). Así, mientras un TSP con 10 ciudades tiene no menos de 200.000 soluciones factibles que deben ser consideradas, un problema con 20 ciudades podría tener fácilmente más de 100.000 soluciones. (Hillier & Lieberman., 2001).

Sin embargo, el ser considerado NP-hard ocasiona que no se obtengan para grandes instancias algoritmos (exactos) que encuentren soluciones óptimas en un tiempo polinomial Determinístico. (Nilsson., 2003).

En este sentido la solución puede encontrarse en el tiempo polinómico usando el método simplex y un algoritmo de separación de restricciones polinomial (Johnson, McGeoch, & Rothberg, 1996).

Para resolver el TSP normalmente se utilizan algoritmos de aproximación o heurísticos, los cuales proporcionan una garantía de cómo se puede obtener al menos soluciones factibles. Normalmente especificada como un tiempo c del valor óptimo. (Arora., 1998).

El algoritmo garantiza una aproximación de (1+1/c) veces el valor óptimo, para todo $c > 1$. Esto se basa en partición geométrica y árboles de expansión., aúnque teóricamente c puede ser un valor muy grande, usando programación lineal entera propuesta por (Miller, Tucker & Zemlim, 1960).

Los diversos estudios sobre la cadena de suministro son especialmente importantes dado que cada día los temas de logística y de cadenas de abastecimiento adquieren mayor importancia para todas las empresas, las diversas regiones y para el país entero. Una cadena se puede entender como el conjunto de todas actividades y operaciones de abastecimiento o de suministro (se utilizará estos dos términos como sinónimos) necesarias para satisfacer las necesidades de los clientes, tanto en sistemas de servicio como en sistemas comerciales o productivos. (Gaskell, 1967).

La administración de la cadena de suministro (Supply Chain Management ó SCM) comprende la planeación y administración de todas las actividades de adquisiciones y compras, conversión, y de administración de logística. Incluye también la coordinación y colaboración

entre canales, los cuales son planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento. (Schultz, 1985).

Pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de logística y clientes. En esencia, SCM integra las actividades de suministro y demanda dentro de y entre las compañías. SCM es una función integradora con responsabilidades primarias para ligar funciones mayores y procesos de negocios dentro de y entre las compañías hacia un modelo de negocios cohesivo y de alto desempeño. SCM incluye todas las actividades de administración de logística mencionadas arriba, al igual que las operaciones de manufactura, y lidera la coordinación de los procesos y actividades con y a lo largo de mercadeo, ventas, diseño de productos, finanzas y tecnología de información.

La cadena de abastecimiento típica se muestra en la Figura 2. Inicialmente, se tiene a los proveedores de materias primas, componentes, subensambles, insumos, etc., quienes, a través de un sistema de transporte, envían estos productos al sistema de manufactura de la empresa, constituido por plantas manufactureras. Los productos que salen de estas plantas son enviados por el sistema de transporte al sistema de distribución, para finalmente llegar donde los clientes. Tanto el sistema de producción como el sistema de distribución pueden comprender varias etapas, especialmente el último donde se pueden identificar centros de distribución, bodegas, distribuidores mayoristas y distribuidores minoristas, entre otros, hasta llegar a los puntos de venta o detallistas y así al consumidor final. Planeación, optimización y administración de cadenas de abastecimiento.

Una parte fundamental de la cadena de abastecimiento es la relacionada con la logística de reversa, inversa o reversiva (sinónimos). Estas actividades comprenden todo lo relacionado con la recolección de productos defectuosos, con errores de despacho, dañados o devueltos por el cliente por cualquier motivo y también el flujo inverso de productos y empaques que han cumplido su ciclo de vida y que podrían ser utilizados de nuevo en alguna parte de la cadena de suministro (operaciones de reciclaje o reciclado de productos, empaques y recipientes). La logística reversiva ha transformado las cadenas de abastecimiento en cadenas de ciclo cerrado, lo que se conoce como closed-loop supply chains. (Ver Figura 2)

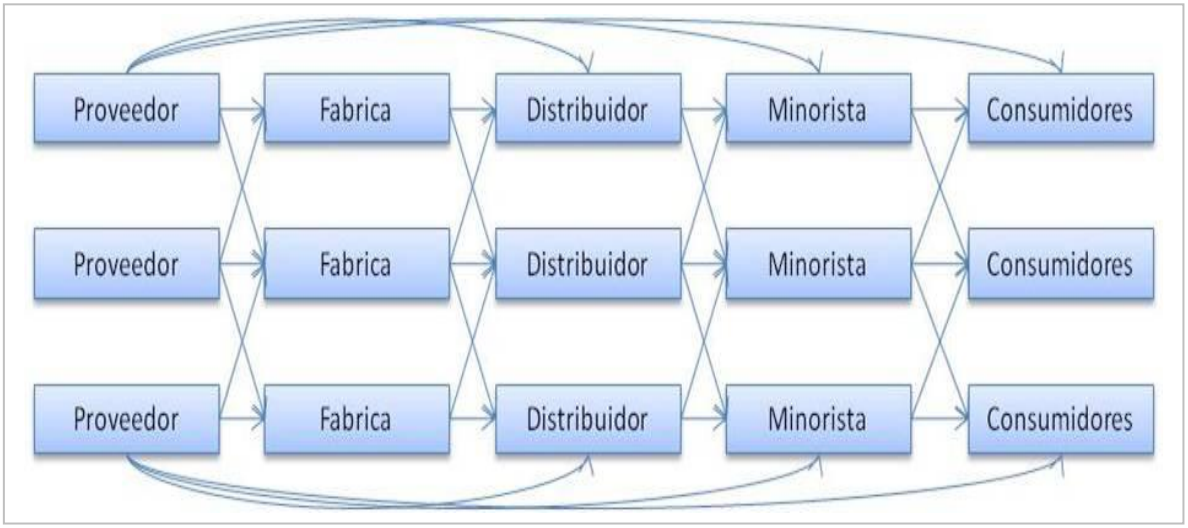


Figura 2. Una cadena de abastecimiento típica.

Fuente: http://www.cenicana.org/pdf/otros/foro_cosecha_transporte_2006/9_cadenas_abastecimiento_uso_transporte_cana_may9-2006.pdf

En una cadena de suministro se identifican tres flujos principales:

- El flujo de productos.
- El flujo de información.
- El flujo de dinero.

El flujo de productos ocurre en ambas direcciones y se compone de todas las materias primas, elementos, sub-ensambles, productos terminados y los productos y empaques de flujo en reversa. El flujo de información es fundamental en la cadena y comprende toda la información necesaria para planear y ejecutar todas las operaciones y actividades dentro de la cadena. Este flujo ocurre también en ambos sentidos. Por ejemplo, una planta puede estar interesada en conocer el estado del inventario de cierto producto en el centro de distribución (CD) para poder programar la producción convenientemente. A su vez, el CD puede necesitar información de la planta sobre las fechas de despacho de ciertos productos que ya han sido solicitados. El flujo de dinero generalmente ocurre de derecha a izquierda en la cadena, que es mediante el cliente donde se recupera todo lo invertido hasta allí para lograr que el producto le llegue a satisfacción desde todo punto de vista. Una cadena de abastecimiento exitosa logra hacer que el cliente esté dispuesto a pagar un poco más por el producto que lo que se invirtió en llevarlo hasta sus manos.

Los sistemas de servicio, como las cooperativas, los bancos y los hospitales también tienen estructuras de cadena de abastecimiento que incluso puede llegar a ser tanto o más

complicadas que las de organizaciones manufactureras. Por ejemplo, se puede hablar de la logística de manejo de los cajeros electrónicos de un banco, donde el proveedor principal de dinero y otros elementos puede ser el Banco de La República; las instalaciones son los bancos propiamente dichos, quienes a través de un sistema de transporte de vehículos de valores surten de dinero a los detallistas (cajeros electrónicos), donde finalmente el cliente adquiere el dinero. O los diversos procesos que se dan en un hospital, donde son fundamentales las actividades relacionadas con inventarios de medicamentos e insumos de todo tipo y donde, por ejemplo, las operaciones del manejo de los donantes, producción, almacenamiento y gestión y control de los inventarios de los productos de la sangre son unos de los problemas más complejos que se encuentran en logística.

Por otra parte, la red de transporte por la que transitan los vehículos se modela mediante un grafo ponderado G = (V, E, C). Los nodos representan a los clientes y depósitos. En problemas con una bodega y n clientes, el nodo 0 representa la bodega y los nodos 1, . . . , n a los clientes. En algunos casos (en que se explicitara´) se agrega una copia de la bodega etiquetada con n+1 para simplificar la formulación. Cada arco (i, j) ∈ E representa la mejor ruta para ir desde el nodo y hacia el nodo j en la red de transporte y tiene asociado un costo C_{ij} y un tiempo de viaje tij. Según la estructura de los costos, los períodos y las características de la red, el grafo puede ser simétrico o asimétrico. (Fisher & Jaikumar, 1981).

Puede asumir que G es completo, pues entre todo par de lugares de una red de transporte moderada, debería existir alguna ruta. Sin embargo, por una cuestión de flexibilidad, los modelos serán planteados sin realizar dicha hipótesis. (Fisher & Jaikumar, 1981).

La segunda formulación tiene que ver con en el Problema del Agente Viajero (o TSP por Travelling Salesman Problem) donde se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo minimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera no se distingue de los clientes), además, no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales. El problema puede formularse como: $ui - uj + nxij \leq n - 1 \quad \forall (i, j) \in E, i = 0, j = 0$. Estas desigualdades fueron propuestas por (Miller, et al., 1960).

El Problema de los m Agentes Viajeros o m-TSP es una generalización del TSP en la cual se tiene un depósito y m vehículos. El objetivo es construir exactamente m rutas, una para cada vehículo, de modo que cada cliente sea visitado una vez por uno de los vehículos. Cada ruta debe comenzar y finalizar en el depósito y puede contener a lo sumo p clientes.

(Miller, et al,1960).

El Problema con Capacidades (VRP o CVRP) es una extensión del m-TSP en la cual cada cliente i ∈ V \ {0} tiene asociada una demanda D_i 1 y cada vehículo tiene una capacidad C (la flota es homogénea). En este problema la cantidad de rutas no es fijada de antemano como en el TSP y en el m-TSP. Para un conjunto de clientes S, d(S) = Pi∈S di es su demanda total y r(S) indica la mínima cantidad de vehículos necesarios para servirlos a todos. En la formulación conocida con el nombre de flujo de vehículos de dos índices, se utilizan las variables binarias xij para determinar si el arco (i, j) se utiliza o no en la solución. El problema se formula de la siguiente manera. (Toth & Vigo, 2000).

En los problemas con flota heterogénea (FSMVRP) los costos y capacidades de los vehículos varían, existiendo un conjunto T = {1,. . ., |T |} de tipos de vehículo. La capacidad de los vehículos k ∈ T es qk y su costo fijo (si lo tuvieran) es f k. En esta formulación se asume que la cantidad de vehículos de cada tipo es ilimitada. El problema se denomina Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (o FSMVRP). No solo se debe decidir las rutas, sino la composición de la flota de vehículos a utilizar. Usualmente, al tratar con problemas de flota heterogénea, se opta por utilizar este modelo aún cuando en algunos casos no refleja la realidad. Si la cantidad de vehículos disponibles de cada tipo k fuera vk, conocida de antemano, debería agregarse las restricciones. (Toth & Vigo, 2000).

La dinámica actual de las cadenas de abastecimiento hace que existan verdaderas redes de abastecimiento en lugar de simples cadenas. Por ejemplo, la Figura 3 muestra una posible red de suministro de un fabricante de detergentes. Este productor puede tener relación con múltiples cadenas de suministro, como pueden ser fabricantes de productos químicos, fabricantes de empaques, etc., quienes a su vez tienen sus propias cadenas y así sucesivamente hasta llegar inclusive a las cadenas primarias de recursos naturales, como la industria maderera. En el medio común, el ejemplo clásico se evidencia en los ingenios azucareros. Un ingenio es una cadena de abastecimiento que interactúa con múltiples cadenas de productores de dulces, gaseosas, productos químicos, alcohol carburante, etc. Un análisis integrado de este tipo de cadenas es un apasionante tema de logística. (Ver Fig. 3).

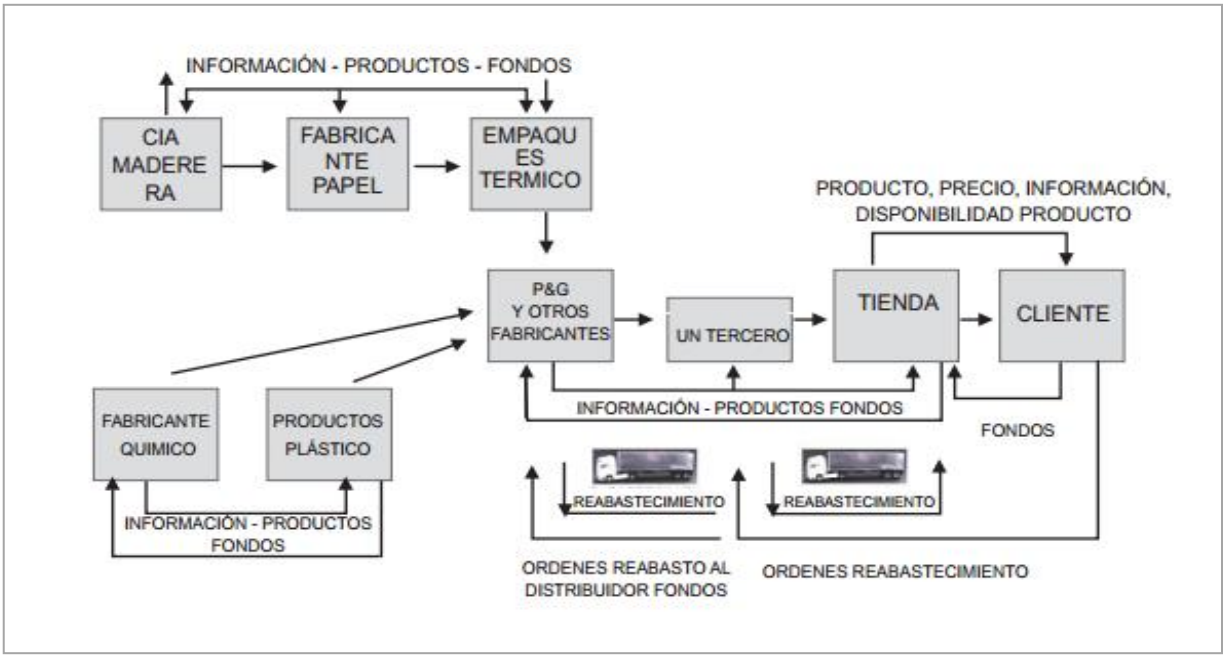


Figura 3. Una red de abastecimiento (la cadena de suministro del productor de detergentes está íntimamente ligada con otras cadenas de abastecimiento).
Fuente: Disponible en internet. repository.urosario.edu.co/bitstream/10336/.../1/1032409237-2010.pdf

La definición propuesta por Ballou, (2003), apunta a que la logística debe ser completa: nada puede fallar. Si se llega con el producto errado al lugar correcto en el instante adecuado, la logística no ha cumplido la misión. Igualmente, si se llega con el producto adecuado al lugar correcto, pero tarde, tampoco habrá cumplido. Se falla también si se llega con el producto correcto en el instante adecuado pero en el lugar errado, o si está en el lugar correcto, en el instante adecuado con el producto solicitado, pero dañado por causa del transporte. Desde este punto de vista, la logística tiene que ser exhaustiva y completa: nada puede fallar. De esta forma se puede discernir que la logística añade valor medido en tiempo y lugar: No es lo mismo tener el producto en Hong Kong que tenerlo en Cali, ni es lo mismo tenerlo en Cali hoy a las 8 a.m. que mañana a las 6 p.m.

En virtud de lo anterior, la figura 3, muestra un resumen sobre los aspectos principales de una red de abastecimiento: La localización, las redes y el transporte, los inventarios, el almacenamiento, los suministros.

Como la figura lo sugiere, todos están interconectados de tal forma que cualquier decisión que se tome en uno de ellos puede afectar a los demás y viceversa. Así, es primordial en todo momento tener una visión integral de la logística y de la cadena de abastecimiento.

Dentro de los modelos que se estudian frecuentemente, están los de optimización de cadenas de abastecimiento. Generalmente, son modelos de programación matemática, lineal, no-lineal, entera-mixta o algunos más especializados, que reflejan los problemas de diseño de la cadena de abastecimiento y producen soluciones para la localización de plantas y centros de distribución y los flujos de materias primas y productos correspondientes. La aplicación de este tipo de modelos es muy útil para el diseño de las cadenas y cada vez tiende a tener más acogida. Shapiro en uno de sus textos, por ejemplo, expresa que:

> Los modelos de optimización son herramientas necesarias y deseables para identificar decisiones efectivas en la cadena de abastecimiento. Son las únicas herramientas capaces de analizar las complejas interacciones de las decisiones tomadas a lo largo de la cadena de abastecimiento de la compañía de una forma holística. (p. 1).

De la definición de Shapiro, se puede rescatar dos premisas. La primera es que habla de herramientas necesarias para la toma de decisiones en la cadena de abastecimiento. La segunda es que el profesor Shapiro, pertenece a la Escuela de Administración del MIT y no a una escuela de ingeniería.

2.2. Importancia y naturaleza de la logística y SCM

La logística y SCM, son fundamentales para la economía y la competitividad de un país. Por ejemplo, de acuerdo con Wilson (2008), los costos totales de logística han representado entre un 9.5% y un 10.1% del PNB de Estados Unidos entre 2005 y 2007. En 2008, según Wilson (2009), estos costos decrecieron al 9.4% del PNB. Indudablemente, esto representa una cantidad inmensa de dinero. En países como Colombia y Brasil, esta cifra puede ser superior porcentualmente y podría ubicarse entre un 15% y un 20% del PNB (Bowersox et al., 2007).

De acuerdo con Ballou (2004), los costos totales de logística pueden variar entre un 4% a más de un 30% de las ventas para organizaciones de diferentes sectores, convirtiéndose en el segundo costo más importante después del costo de los productos vendidos (compra o producción). Dentro de los costos de logística, el transporte ocupa el primer lugar, ya que puede representar entre un tercio y dos tercios de los costos totales de logística. En Estados Unidos, por ejemplo, en 2008 los costos de transporte representaron el 65.6% de los costos totales de logística. (Wilson, 2009) La Figura 4, se ilustra la evolución de los costos totales de logística y de transporte en Estados Unidos entre 1980 y 2003. La tendencia creciente de ambos costos a lo largo del tiempo son un medidor de su importancia para la economía y competitividad del país. (Ver Fig. 4).

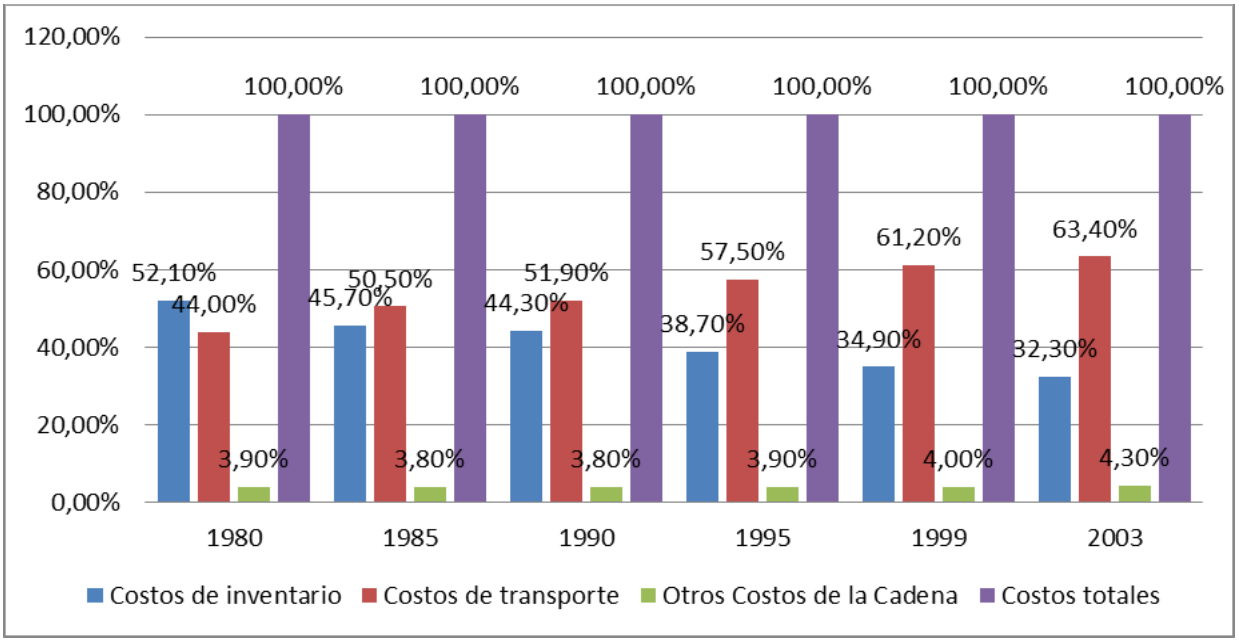


Figura 4. Evolución de los costos totales de logística y de transporte en Estados Unidos entre 1980 y 2003

Fuente: Elaboración propia con base al estudio desarrollado con referencia a los datos de Wilson (2008, 2009)

En la anterior figura 4, se muestra la relación entre los costos de mantenimiento del inventario y los costos totales de logística en Estados Unidos, entre 1985 y 2008. Es interesante la tendencia decreciente que presentan estos costos como porcentaje de los costos totales de logística, lo que puede evidenciar un mejor manejo y control de los inventarios y un avance en tecnologías de información y planeación de inventarios, simultáneamente con un aumento de la participación de los costos de transporte a lo largo de la historia. (Ver Figura 5)



Figura 5. Costos de mantenimiento del inventario en relación con los costos totales de logística en Estados Unidos (1985-2008).

Fuente: Elaboración propia con base al estudio desarrollado con referencia a los datos de Wilson (2008, 2009)

La logística también ha cobrado una gran importancia en los últimos años, especialmente en los países de América Latina, debido cada vez a su mayor interrelación e influencia sobre otros departamentos de las empresas, como mercadeo y producción. Se puede decir que la logística tiene ciertas actividades propias que la caracterizan y otras que comparte estrechamente con los departamentos mencionados. La Figura 6, ilustra estos conceptos. (Ver Figura 6).



Figura 6. Logística en los departamentos de una Empresa.

Fuente: Elaboración propia con base al estudio desarrollado con referencia a los datos de Wilson (2008, 2009)

En este caso, la logística se relaciona con producción a través de la influencia que tiene sobre el diseño y desarrollo de productos. Actualmente, los productos no sólo se diseñan para que puedan ser producidos eficientemente en una planta, sino también para que puedan ser eficientemente almacenados, transportados y controlado su inventario. Existe el principio de postposición de forma, bajo el cual la forma final (clientelización del producto o *product customization*) sólo se da cuando ya se tiene alguna información adicional de la demanda y se prefiere producir y mantener en inventario un producto básico estándar que luego se adapta a las condiciones de la demanda. (Innis & La Londe, 1994).

En cuanto a la localización de plantas, evidentemente la logística tiene que relacionarse estrechamente con las actividades de producción, ya que lo que ocurre al interior de las plantas influye significativamente en las decisiones estratégicas para localizarlas. Por ejemplo, en un modelo de optimización para localizar una nueva planta manufacturera, deben considerarse las fórmulas de materiales (BOM ó Bill of Materials) y los diferentes proveedores, pues éstos, además de la relación con el sistema de distribución de la empresa, pueden influir notablemente en la localización óptima de la planta. (Innis & La Londe, 1994).

En cuanto a la relación de la logística con mercadeo, es indudable que el servicio al cliente forma parte fundamental de las dos actividades. Igualmente, los precios de los productos se ven afectados por los costos totales de logística, mayormente por los costos de transporte. Por otra parte, el diseño de los empaques es una de las más apasionantes ramas que tiene el mercadeo y la logística. Un empaque no sólo sirve para promover la venta del producto y protegerlo, sino

también que puede estar diseñado para facilidad de almacenamiento, manejo, transporte y reciclaje (logística inversa). Por ejemplo, un buen diseño de empaque puede aumentar la eficiencia de los sistemas de transporte al aumentar la densidad del producto a transportar. Finalmente, la logística y mercadeo se relacionan a través del énfasis en la localización de cd's, de tal forma que se pueda suministrar el mejor y más rápido servicio al cliente a costos razonables.

Otros aspectos que marcan la importancia de la logística y de SCM en la época actual son la proliferación de los tratados de libre comercio entre los países, la oportunidad que representan para la comunidad profesional y académica de un país y el hecho que la logística y SCM sean aplicables prácticamente a cualquier cadena de suministro comercial, productiva o de servicios. En Colombia, por ejemplo, con la posibilidad de tener múltiples tratados de libre comercio, las operaciones de comercio exterior se van a incrementar notablemente en los próximos años. El país se está preparando para estos retos a través de obras de infraestructura en todos los modos de transporte, simplificación de regulaciones, capacitación de recursos humanos y formación de alto nivel, emisión de políticas nacionales de logística la de transporte de carga y el aumento del presupuesto para investigación, entre otras posibles estrategias.

La logística y SCM se caracterizan por algunos aspectos clave, a saber:

- Son integradas.
- En general, están relacionadas con los ambientes internacionales o globales.
- Tienen estrecha relación con las comunicaciones y los computadores (internet, sistemas avanzados de información y de planeación, GPS, EDI, RFID, etc.).
- Presentan inversiones altamente justificadas (exhaustivo análisis financiero).
- Sufren cambios radicales frecuentes (*outsourcing*, proveedores de logística, comercio electrónico, sistemas automáticos de identificación como RFID).
- Requieren de personas altamente calificadas.
- Tienen estrecha relación con las funciones de mercadeo y producción de la empresa.

Existen en logística y SCM tres niveles de decisión: estratégico, táctico o de planeación y operacional, los cuales se caracterizan por lo siguiente:

2.2.1. Nivel estratégico

- Decisiones fundamentales para la empresa. NO se admiten errores.
- Datos agregados y estimados acumulados.
- Horizonte de tiempo largo (1 año o más).
- Ejemplo: localización de una nueva planta o centro de distribución (CD) en uno o varios países.

- Aplicación de grandes modelos estratégicos de localización de plantas y CD.

2.2.2. Nivel táctico

- Decisiones fundamentales para la empresa. En general se pueden corregir errores más fácilmente que en el nivel estratégico.
- Datos con un menor grado de agregación que el estratégico.
- Horizonte de tiempo medio o corto (6 meses o menos).
- Ejemplo: definición del sistema de gestión y control de inventarios en un CD; selección de transportistas.
- Aplicación de modelos especializados (control de inventarios, selección de modo y transportador).

2.2.3. Nivel operacional

- Decisiones del día a día. Los errores, aunque inaceptables, se pueden corregir sin gran impacto.
- Datos con el más alto grado de precisión posible.
- Horizontes de tiempo muy cortos (1 día, horas, minutos).
- Ejemplo: tamaño de lote a ordenar del ítem X, ruta específica de los camiones que salen del CD en 1 hora.
- Aplicación de modelos operacionales especializados (pronósticos, tamaño de lote, ruteo de vehículos, scheduling).

2.3. El ajuste estratégico de la cadena de suministro

Chopra y Meindl (2008); discuten un aspecto muy interesante: El concepto del ajuste estratégico de la cadena de abastecimiento. Claramente, lo que ellos mencionan es que el diseño de la cadena de abastecimiento y la estrategia competitiva de la empresa deben tener los mismos objetivos o que sus objetivos estén alineados.

La estrategia competitiva de una empresa consiste en el conjunto de necesidades del cliente que ella desea satisfacer a través de sus productos o servicios. Tradicionalmente, la estrategia de una empresa se planea a través del costo, calidad, innovación del producto, nivel de servicio al cliente (variedad, disponibilidad y rapidez) o una combinación de dos o más de los anteriores elementos. Se puede decir que actualmente es muy difícil competir con calidad y costo porque los productos a nivel mundial son muy uniformes en cuanto a estas características. Así, queda la opción de idear y producir productos innovadores y también de mejorar el nivel de servicio al cliente, con lo cual el diseño de la cadena de abastecimiento y la logística pueden contribuir significativamente.

Por ejemplo, si una estrategia de competencia es prometer la entrega de productos al día siguiente de obtener el pedido de parte del cliente, evidentemente debe existir suficiente disponibilidad del producto y éste debe ser transportado por los modos de transporte más rápidos. Si la cadena no se ha diseñado de esta forma, entonces la capacidad competitiva planteada no podrá cumplirse.

La Figura 7, muestra la forma de lograr el ajuste estratégico. El eje vertical representa los extremos de una cadena de suministro con alto nivel de respuesta (arriba) y una que privilegia los costos (abajo). El eje horizontal representa la incertidumbre de la demanda implicada del producto. La regla general es que, si la incertidumbre de la demanda implicada es alta, entonces el ajuste estratégico se podrá lograr a través de una alta respuesta, por ejemplo con flexibilidad de producción y sistemas de transporte altamente responsivos. Por el contrario, si la incertidumbre de la demanda implicada del producto es baja, entonces se puede privilegiar la eficiencia y el bajo costo con un nivel de respuesta aceptable para lograr el ajuste estratégico. Existen muchas cadenas, por supuesto, que tienen productos de baja y alta incertidumbre implicada de la demanda y, por lo tanto, tienen diseños híbridos de la cadena de abastecimiento. Para lograr el ajuste estratégico, la compañía debe entender primero las necesidades del cliente que está atendiendo, entender la incertidumbre de la cadena de suministro e identificar la

incertidumbre implícita. En segundo lugar, debe entender las capacidades de la cadena de suministro en términos de eficiencia y capacidad de respuesta. La clave de un ajuste estratégico es asegurar que la capacidad de respuesta de la cadena de suministro sea congruente con las necesidades del cliente, las capacidades de suministro y la incertidumbre implícita resultante. (Ver Fig. 7).

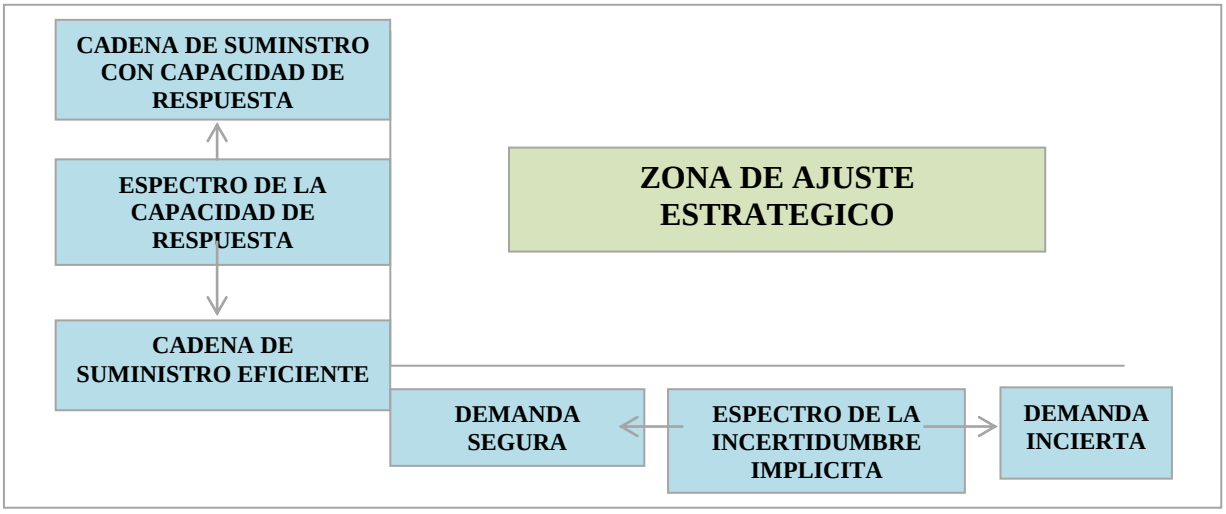


Figura 7. El ajuste estratégico de la cadena de abastecimiento
Fuente: Chopra, S y cols., 2001; (34).

Por lo anterior se debe menciona, que para lograr el ajuste estratégico todos los elementos específicos que componen la cadena de abastecimiento y los de su entorno, deben tener las funciones y capacidades que soporten la estrategia competitiva de la empresa. Dentro de estos elementos están el diseño y desarrollo de productos, las tecnologías de información y comunicaciones, los elementos financieros, los recursos humanos y, por supuesto, la cadena de abastecimiento propiamente dicha con todos sus componentes, como son compras, manufactura, inventarios y almacenamiento, transporte, distribución y servicio al cliente. (Chopra, 2001).

2.4. Elementos de la cadena de abastecimiento

Una vez expuestas las ideas básicas sobre logística y cadena de abastecimiento y habiendo descrito las características del ajuste estratégico, se describe a continuación los elementos básicos de una cadena y sus principales características. Dentro de estos elementos se encuentran los siguientes:

- Los productos (en transformación, en transporte, en almacenamiento).
- Los consumidores o clientes.
- Los proveedores.
- Las plantas de producción.

- Los centros de distribución.
- Los distribuidores mayoristas.
- Los detallistas o minoristas (*retailers*).
- Los operadores logísticos.
- Los sistemas o modos de transporte.
- Los sistemas de información.
- La logística reversiva y la logística verde.
- Otros posibles, principalmente relacionados con logística internacional (Sociedades Intermediarias Aduaneras (SIAs), operadores de puertos, policía antinarcóticos, autoridades agrícolas, autoridades aduaneras y de impuestos como la DIAN en Colombia, etc.).

2.5. Los consumidores o clientes

En una cadena de abastecimiento el papel fundamental lo cumplen los clientes internos y externos. Existe siempre la necesidad de buscar la forma de atender a los clientes ágilmente, con un transporte eficiente y oportuno, minimizando los agotados en las estanterías del cliente y promoviendo por tanto un buen servicio al consumidor final. (Ballou, 2004).

Se refiere a la distribución física de mercancías como un elemento clave del servicio al cliente. En un artículo presentado por Innis & La Londe.(1994), se puede resumir que cualquier aspecto o factor que intervenga en el servicio al cliente es de suma importancia y se relaciona con la distribución física y a la vez cómo se puede mejorar la experiencia y servicio. Sin embargo no abarca y precisa aspectos cualitativos tales como priorización de despachos por entregas parciales o ubicación al centro de distribución Se podría pensar que en lo que respecta al servicio al cliente, existen factores claves que atañen directamente a la función de distribución física de la empresa. Se trata por ejemplo de aspectos como la frecuencia de despachos, la información sobre disponibilidad de inventarios y las fechas de despachos programadas, entre otros aspectos señalados en el estudio.

En otro artículo propuesto por (Holweg ., 2005) presenta un completo estudio realizado en el sector automotriz del Reino Unido, acerca de la responsabilidad de los proveedores, y concluye sobre la inherente complejidad del proceso de atención a clientes, sustenta que la variabilidad de la demanda de los clientes, la flexibilidad limitada en las empresa, los largos tiempos de respuesta a las órdenes de clientes y la poca coordinación general entre los eslabones de la cadena de suministros, hace casi inevitable la existencia de altos inventarios tanto en los centros de distribución como en las instalaciones del cliente. Anota que los centros de distribución desean llegar a realizar despachos

"justo a tiempo" pero que esto viene a imposibilitarse por falta de coordinación en los sistemas de información y planificación. Lo anterior, es de suma importancia para esta investigación puesto que en este punto ya se tiene un cuenta los tiempos de respuesta con base a criterios cualitativos pero se sigue sin tener en cuenta aspectos como distancias o zonas entre cliente – empresa o la urgencia de cumplir con un despacho por entregas incompletas.

Otro artículo realizado por Sterling & Lambert (1989) concluyen, después de realizar estudios en diversas industrias en Estados Unidos, que los factores que afectan el servicio al cliente son principalmente seis: habilidad para cumplir una fecha de despacho prometida, aviso oportuno de la dilatación de los envíos, exactitud en la orden despachada, ágil respuesta a las quejas de clientes, fácil intercambio de información entre cliente y proveedor, y la duración de los tiempos de respuesta a pedidos,

Los tres (3) artículos comentados coinciden en afirmar que los componentes de un buen servicio al cliente tienen una estrecha asociación con aspectos relativos a la planificación de despachos o distribución física de productos. En otro estudio realizado por Dobie (2005) se reconoce la complejidad actual de construir una buena estrategia de servicio, basada en un transporte eficiente, y comenta sobre la necesidad de ahorrar recursos en distribución alertando sobre la inconveniencia de centrarse sólo en el cliente y descuidar el impacto financiero de la estrategia de distribución finalmente escogida. Aquí se puede justificar por qué en muchas empresas existen recursos de distribución limitados, cuidando celosamente sus finanzas, con unos cuantos camiones, sin contar quizás con la flota "ideal" de vehículos que permitirían clientes "totalmente satisfechos".

2.6. Otros elementos de la cadena de abastecimiento

Es difícil decir que una lista de elementos de la cadena de abastecimiento es exhaustiva, porque siempre habrá elementos nuevos o que no se hayan considerado. En logística internacional, por ejemplo, hay muchos componentes que interactúan con los demás elementos de la cadena. Por ejemplo, para exportar eficientemente por el puerto de Buenaventura, debe contactarse a una Sociedad de Intermediación Aduanera o SIA y al operador del puerto, entre otros posibles intermediarios. Por otra parte, el proceso de exportación se relaciona también con otros entes de la cadena, como las autoridades locales de antinarcóticos, el ICA y la DIAN.

2.7. Las directrices o conductores de la cadena de abastecimiento

Chopra & Meindl (2008) definen los siguientes elementos de la cadena como las directrices de la misma:

- Las instalaciones.
- Los inventarios.
- Los sistemas de transporte.
- La información.
- El aprovisionamiento (procurement).
- La fijación de precios (revenue management).

En realidad, cualquier cadena de abastecimiento funciona en torno a estas directrices y es con base en su información y en sus indicadores de desempeño que se toman las principales decisiones en la cadena. La Figura 8 relaciona las principales directrices de la cadena con el concepto de ajuste estratégico. De esta forma, la estructura de la cadena de abastecimiento siempre se mueve entre los extremos de la eficiencia (énfasis en costo) y el nivel de respuesta y esto se ve reflejado en las características de cada una de las directrices de la cadena. (Ver Figs 8 y 9).

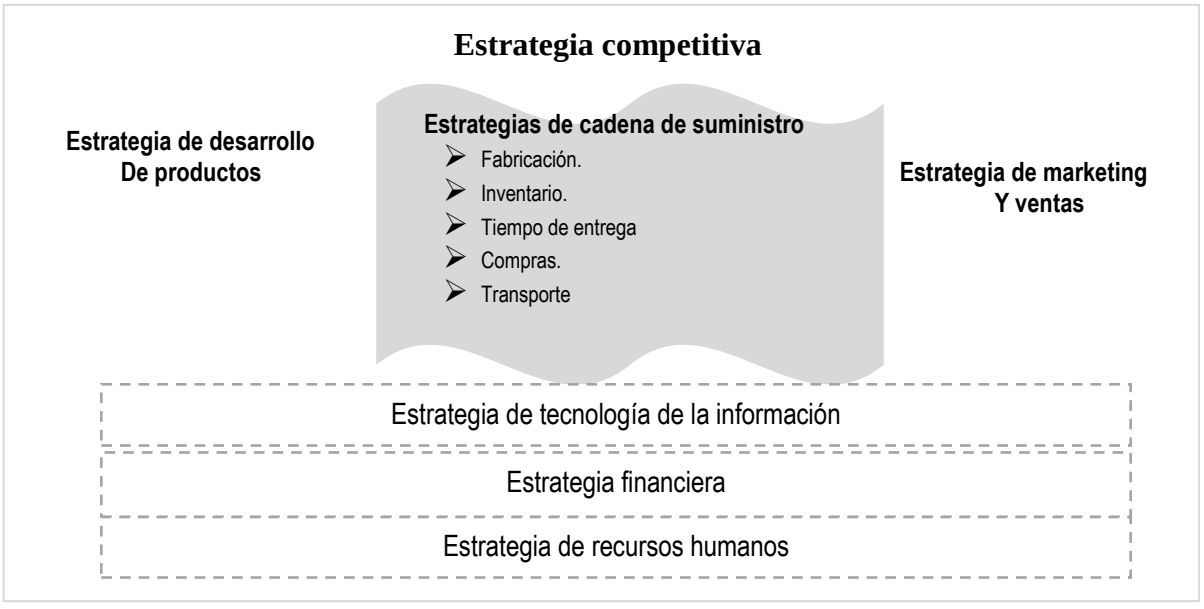


Figura 8. El ajuste estratégico y las directrices de la cadena de abastecimiento

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Chopra y Meindl, 2008

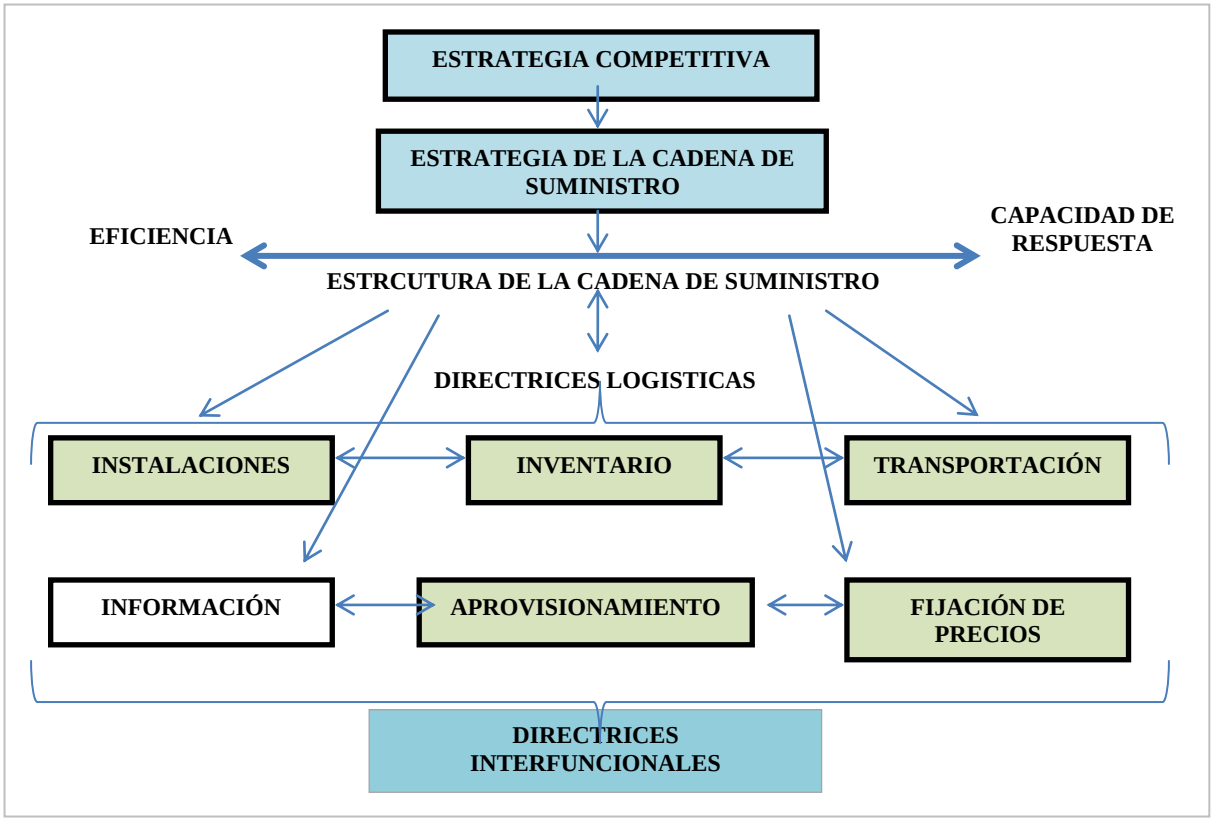


Figura 9. Ejemplo de las propiedades de las directrices de la cadena de abastecimiento para producir el ajuste estratégico (caso de Wal-Mart)

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Chopra y Meindl, 2008

Como ejemplo, Chopra y Meindl (2008) presentan las principales características de la cadena de abastecimiento de Wal-Mart en Estados Unidos. La Figura 9 ilustra dichas propiedades. La estrategia competitiva de la empresa es proveer una gran variedad de productos de consumo masivo a costo razonable; por lo tanto, el diseño de la cadena privilegia la eficiencia en costo, sin descuidar el nivel de respuesta. Esto se logra mediante las características de cada una de las directrices de la cadena. (Ver Figura 9).

2.8. El control de inventarios

El control de inventarios implica la definición de ciertas políticas que deben responder a las siguientes preguntas:

- ¿Con qué frecuencia debe revisarse el nivel de inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

Para responder a la primera pregunta relacionada con la frecuencia de revisión de los niveles de inventario existen dos propuestas: la primera de ellas es un sistema de revisión continuo y la segunda, es un sistema de revisión periódica.

Los sistemas de revisión continuos se caracterizan por ser más costosos debido al hecho de revisar constante y físicamente los niveles de inventario. Es importante destacar que con este sistema el control es mucho mayor, lo cual se ve reflejado en menores niveles de inventario de seguridad. Por su parte, en los sistemas de revisión periódica, los niveles de inventario se consultan cada R unidades de tiempo. (Ballou, 1999).

Las preguntas segunda y tercera se pueden responder después de seleccionar la política de reabastecimiento de inventario, en el marco del sistema de revisión que se prefiera. Existen diversos tipos de sistemas de control de inventarios probabilísticos, entre los más comunes se encuentran:

- Sistema (*s, Q*).
- Sistema (*s, S*).
- Sistema (*R, S*).
- Sistema (*R, s, S*).

2.8.1. Sistema(s, Q)

En este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae a un punto de reorden ***s*** o por debajo de él, se ordena una cantidad fija ***Q***. Dicha cantidad a ordenar, generalmente es considerada el EOQ (Economic Order Quantity por sus siglas en inglés) o es fijada a través de políticas internas de la compañía.

2.8.2. Sistema(s, S)

En este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae al punto de reorden ***s*** o por debajo de él, se ordena una cantidad tal que se incremente el inventario efectivo hasta el nivel máximo ***S***. La cantidad a ordenar depende de estos dos niveles de inventario, razón por la cual, puede variar entre un período y otro.

2.8.3. Sistema (R, S)

En este sistema de control periódico, se revisa el inventario efectivo cada **R** unidades de tiempo, y se ordena una cantidad equivalente a la diferencia entre el inventario máximo permisible **S** y el inventario efectivo en el momento de la revisión. Para la presente investigación se escogió este sistema de control, puesto que sus características se consideran

apropiadas a la situación bajo la cual se genera la problemática de priorización de despachos.

2.8.4. Sistema (R, s, S)

Este sistema es una combinación de los sistemas (**s**, **S**) y (**R**, **S**). Consiste en que cada **R** unidades de tiempo, se revisa el inventario efectivo. Si éste es menor o igual que el punto de reorden **s**, entonces se emite un pedido por una cantidad tal que el inventario efectivo se recupere hasta un nivel máximo **S**. Si el nivel de inventario efectivo es mayor que **s**, no se ordena cantidad alguna hasta la próxima revisión que tendrá lugar en **R** unidades de tiempo. (Ballou, 1999).

En virtud de lo anterior, los antecedentes presentados permiten caracterizar los principales elementos generales y de importancia para las cadenas de suministros, los cuales son los inventarios, el transporte y la información, proporcionándoles a las empresas grandes ventajas al momento de enfocar todos sus esfuerzos en ellos; además de verse representando en gran porcentaje en ganancias monetarias y reducción de costos.

En el desarrollo metodológico se involucran estos conceptos, para articular la estructura de las cadenas de suministros y abastecimiento y así lograr un panorama más amplio y extenso del comportamiento de ciertos factores que inciden en el caso de estudio. Partiendo de lo expuesto se da cumplimiento a una parte del objetivo específico uno (1), el cual se seguirá desarrollando en el capítulo siguiente. De esta misma manera, la metodología propuesta relaciona los aspectos ya mencionados, teniendo como base referencias y fuentes de información importantes en la investigación de aspectos relevantes del funcionamiento de las cadenas de abastecimiento.

CAPÍTULO III.
EL DESPACHO DE VEHÍCULOS

3.1 Despachos de vehículos

En este capítulo se explica la importancia del despacho de vehículos y sus características principales para las empresas, al igual que su transcendencia en el cumplimento de los requerimientos de clientes y su satisfacción total. Por otra parte, se analiza su evolución a través del tiempo del mismo y como ha impactado en las empresas hasta el día de hoy, siendo exhaustivo y enfático en las condiciones de zonificación el manejo de las empresas actualmente en sus procesos de despacho de mercancía; logrando así, proporcionar una información confiable sobre la caracterización del caso de estudio en esta investigación, la cual se plantea en el objetivo específico uno (1).

La historia del transporte de carga en Colombia se remonta, posiblemente, a la época de la conquista, cuando llegan los españoles y la población indígena empieza a ser la base para el comercio interno de forma más estructurada. Es así, como los animales son utilizados como medio de transporte para movilizar, de un lugar a otro, aquellos artículos que eran fabricados o extraídos de la naturaleza por los aborígenes, y comercializados, directamente, por los españoles. Aunque, ya hace varios siglos, la rueda había hecho su aparición, en América Latina, sólo fue conocida cuando los europeos empiezan a colonizar territorios del continente y es utilizada básicamente para la producción de cierto tipo de textiles por los indígenas. (Cabezas, 2010).

Igualmente, el transporte aéreo se exhibe como una alternativa de movilización, concretamente para personas; es así, como resultado de la Segunda Guerra Mundial, el país realiza un acuerdo con una empresa alemana de aviación, específicamente comercial, la cual, años más tarde, sería reemplazada por la Aerovías Nacionales de Colombia (Avianca) en 1940.

Tomando como referenciael transporte terrestre de carga, su evolución, avance y aporte a la economía del país fue mucho más pausado, debido a la falta de infraestructura y a las políticas impuestas por los gobiernos de turno para dar prioridad a la realización de carreteras y caminos que facilitaran el transporte de mercancías o de las personas de la región. Es así como al ferrocarril y a la navegación por el río Magdalena se le da mayor importancia, desconociendo

que el transporte terrestre cobraba relevancia a la hora de comunicarse con otras poblaciones y comerciar con las mismas.

Sin embargo, en el año 1845, se construye la primera ley para la realización de un plan de caminos nacionales. La idea inicial, era la construcción de caminos, desde Bogotá hacia diferentes lugares del país, de la cual no se logró ni un 25% del plan, como consecuencia de la falta de seguimiento y desvío del presupuesto hacia otras actividades. Es por lo anterior que "antes de 1920 toda discusión sobre fletes terrestres es muy poco productiva porque sobre todo el territorio nacional impera la arriería. Los ferrocarriles todavía no se han integrado y las carreteras prácticamente no existen". (Alvear, 2007: 122)

Es entonces, con la llegada del primer automóvil al país, iniciando el siglo XX, se da a conocer otro medio de transporte, el cual fue integrándose a la sociedad colombiana lentamente y solamente en la élite, ya que era la única, en ese momento, que podía tener acceso a ella. Luego de la década de 1920, el Estado, deja un poco relegado la construcción y el mantenimiento de vías férreas, para dedicarse a la realización de caminos decentes para la circulación de automóviles. Consiguiente a esto, paulatinamente, aparecen carros con mayor capacidad, como autocamiones y autobuses.

"A partir de la crisis económica causada por la recesión del año 1929, se decide fomentar la explosión del transporte carretero, entre cabeceras urbanas. Este nuevo medio en Colombia, facilita trasladar los beneficios del café, a la economía del campo: además del puesto de salud, el acueducto, la electricidad y la escuela, se abren las vías rurales para el Willys y la "Chiva" (Duque., 2006)

Por lo anterior, el transporte terrestre de carga cobra importancia sobre las otras modalidades de distribución, movilizando en mayor proporción mercancía por carretera, reemplazando el ferrocarril y el río. Todo ello conlleva a que en el año de 1990 se transporte en camiones aproximadamente el 90% de la producción nacional. Se podría inferir además, que aquellas empresas encargadas del transporte ferroviario y/o fluvial, debían ser reformadas o liquidadas, con el fin de organizar todo lo referente en materia de transporte y así contribuir al crecimiento y economía de Colombia. (Rojas y Cabezas, 2010).

3.1.1. Crecimiento y desarrollo

Sin duda alguna, el transporte terrestre de carga se ha convertido en el medio más recurrido de movilización de mercancía tanto en el comercio interno como en materia de importaciones y exportaciones. Debido al desarrollo en los últimos años de carreteras en todo el País, el relevo de esta modalidad frente a modos como el ferroviario o el fluvial y por supuesto, los bajos costos que presenta al compararlo con otros medios de transporte.

Si se observa detenidamente, puede deducir que el ajuste de carreteras para el transporte de cualquier clase de vehículo, gracias a la gestión de cada departamento, ha generado el desarrollo económico de las ciudades, lo cual se ve reflejado en largo plazo en la economía del país y en la llegada de nuevos mercados

Sin embargo, el crecimiento no se ha dado de manera constante. A pesar de una buena economía en los noventas, la falta de seguridad a raíz de los conflictos sociales internos y las continuas luchas de poder, desencadenó, a mediados de la década de los noventa, la desaceleración de la economía como consecuencia de la imposibilidad de llevar de forma segura y a tiempo la mercancía a su lugar de destino, siendo éste la fuente principal de ingresos netos y crecimiento del país.

No obstante, una vez se realizaron reformas y cambios en los gobiernos de ese año, la situación mejoró, sin dejar de lado, que aún se presentan inconvenientes en materia de seguridad, pero que permiten, la consecución permanente de la movilidad de transporte de carga para el desarrollo sostenible de la nación.

Para el desarrollo de la actividad logística en una organización, es necesario tener claridad en cada uno de los procesos que se deben llevar a cabo para una correcta gestión de la misma. Es por lo anterior, que la consecución de tareas de manera ordenada y precisa, aumenta el nivel de servicio hacia los clientes y por ende el nivel de confianza hacia la empresa.

Por lo tanto, los tres puntos que se nombran y explican a continuación, hacen parte del proceso logístico como tal, haciendo énfasis en el despacho de mercancía con el fin de dar cumplimiento a las metas y objetivos que persigue la organización a través de ésta actividad. (Rojas y Cabezas, 2010).

3.1.2. Operaciones de transporte

La gestión de transporte, cualquiera que sea su naturaleza, se convierte en un punto relevante a la hora de evaluar la manera de hacer llegar los productos de la mejor forma posible al cliente, teniendo en cuenta siempre factores importantes tales como calidad y los costes en los cuales se incurrirán para cumplir con este propósito. Por lo tanto, la finalidad del servicio de transporte se podría decir que es la forma de movilizar objetos entre dos puntos, desde el momento en que ellos están cargados hasta que llegan a su destino para ser entregados, en un tiempo prestablecido y en valor de común acuerdo entre las partes. (Documento CONPES 3489, 2007)

Los factores que inciden en la escogencia de un medio de transporte son:

3.1.3. Tipo de carga

De acuerdo al producto o bien que desee transportarse, se debe analizar cuál es el mejor medio para movilizar la mercancía. Por ejemplo:

a. Líquidos: carrotanques.

b. Sólidos: contenedores, furgones.

c. Altas cantidades: tractomulas.

d. Paquetes: sistema de paqueteo.

e. Granel: marítimo y ferroviario.

f. Medicamentos: aéreo.

3.1.4. Costo de transporte

El costo medio del transporte debe estar sustentado por el valor del producto, para que de esta manera se vea reflejada la inversión en la modalidad de transporte que se escoja y por ende la ganancia que se obtenga de dicha operación.

Los aspectos a tener en cuenta para establecer un costo aceptable de flete, son la competencia, la distribución y el costo de bienes parecidos, y la manera cómo afectará el precio de venta final del producto en el consumidor. (Rojas y Cabezas, 2010).

Es de vital importancia que las empresas conozcan a fondo, cuáles son las necesidades y requerimientos del transporte en el medio que los rodea, cuáles son sus ventajas y desventajas ante la rigurosidad de un cliente. Hoy en día, las empresas son ajenas a estos factores, y tanto transportador como proveedor logístico, hablando en términos de transporte local, toman ventaja

de los mismos para ofrecer servicios por fuera de los rango lógicos, logrando impactar directamente en los asuntos financieros de la empresa y la cual se ve impedida ante una posible negociación de los mismos por carencia de conocimiento y de estrategia.

En nuestro entorno la variable costo de transporte está íntimamente ligado con el precio de venta final del producto a un cliente, por lo que las empresas no se percatan de que este factor debe ser analizado y estudiado a profundidad asi como los parámetros de ventas o inventarios. Buenas negociaciones y tarifas de fletes apropiadas y acertadas según las condiciones prestadas son estrategias eficaces y eficientes al momento de buscar una satisfacción en los clientes.

3.2. Factores de zonificación

La necesidad de plantear un nuevo modelo de análisis de priorización de despachos, como parte de esta investigación, incidirá en que se tendrá una nueva visión de indicadores que contemplen la satisfacción del cliente dentro de un contexto que está en estudio, el despacho por zonificación y entregas parciales de mercancía a clientes.

Teniendo claro que ya se han realizado estudios de este tipo, pero sin contemplar las dos nuevas variables mencionadas anteriormente, es necesario aclarar que el despacho por zonificación se está implementado en grandes superficies o empresas que proyectan en la parte financiera una oportunidad de ahorrar dinero y recursos al tener un despacho el cual se puede planificar por zonas, y que permita optimizar los vehículos, recursos y tiempo. Adicionalmente es pertinente que se estudie los casos en los que se tengan entregas parciales ya que es un común denominador para muchas empresas y que es relevante analizar y estudiar su impacto en la priorización de despachos.

La zonificación y las entregas parciales son los dos criterios que se encuentran desacoplados al proceso de despachos y que sin su control o posible entendimiento, será muy difícil para la empresa lograr que este proceso sobresalga y lleve a los millones de clientes a una satisfacción total.

Es de suma importancia del objeto de estudio, que la hoja de ruta que entrega algunas empresas a los transportadores contiene el valor del flete de acuerdo al área en la cual se encuentra ubicado el cliente. Un ejemplo de este caso, se muestra en la presente figura para la cual, se cuenta con modelo de optimización de rutas. (Ver Fig. 10).

Dadas unas limitaciones Kms o de tiempo por vehículo

Definir la RUTA OPTIMA a seguir

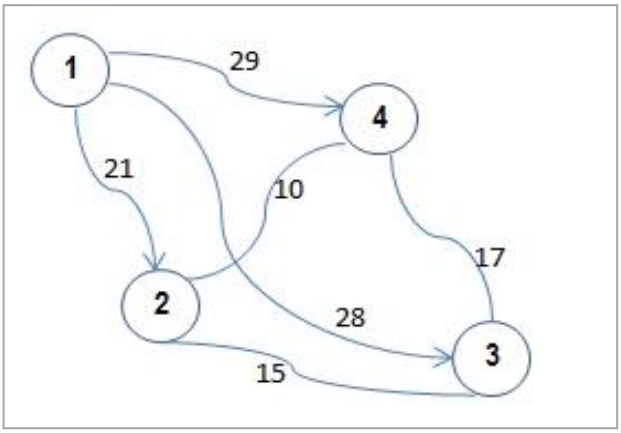


Figura 10. Modelo de optimización de rutas
Fuente: Mauttone A y col., 2001.

Dentro de los estudios de priorización de despachos, se pueden mencionar dos importantes donde se analiza el tema relacionado con la zonificación. En otras palabras, tener en cuenta los diferentes clientes o bodegas a donde se pretende entregar la mercancía y su distancia lejana o cercana tomando como punto de referencia un centro de distribución.

Vargas, Bravo, Salazar, y Orejuela (2010), presentan un modelo matemático de priorización de productos para la planificación de la distribución física en ambientes bajo incertidumbre, donde básicamente el problema objeto de estudio es determinar la prioridad que tienen los clientes en el momento de realizar el despacho de pedidos desde un centro de distribución (CD), bajo un ambiente de incertidumbre. Teniendo en cuenta además, recursos limitados como el número de camiones y el tiempo a utilizar en las labores de distribución, sin embargo plantean un caso de múltiples productos que presentan otros elementos a tener en cuenta para la correcta distribución y buscar así la mayor satisfacción del cliente. Autores como Li, Guo, Wang & Lim (2004), señalan que las propiedades de los productos tales como volumen, peso, valor, material y compatibilidad de almacenamiento, hacen el problema del despacho de vehículos muy complejo. Además, es posible que por estas características sea necesario despachar pedidos parcialmente, lo cual establece una dinámica al despacho que puede proporcionar elementos catalizadores de situaciones de error para el gerente de logística de una compañía.

Por otra parte, López (2009), propone una metodología para la priorización dinámica de despacho mediante AHP, para la cual realiza un análisis alterno al de Bravo, et al (2007), y para el cual se demuestra que las distancias o zonificación como lo llamaremos en esta investigación terminan siendo un factor prioritario cualitativo para determinar la prioridad de despachos de vehículos.

Sin embrago, a pesar de esto grandes estudios y su impacto en el cliente, la dinámica del despacho ha cambiado hoy por hoy, y estratificación de clientes, el impacto del incumplimiento en el despacho total de los productos y aún más importante, el impacto de los costos de transporte asociados a ellos, nunca han sido objeto de estudio por lo que se desconoce sus impacto y repercusiones en el cliente y empresa. La siguiente afirmación derivada del estudio de la bibliografía usada en el marco de referencia.

Las referencias presentadas facilitan una descripción clara sobre la importancia que ha tenido el despacho de vehículos a través del tiempo para las organizaciones y como ésta ha sufrido varios cambios hasta llegar a formar parte fundamental de los procesos de prioridad para la alta gerencia. De igual forma, se muestra el paso de un despacho sin lógica y sin organización a una entrega de productos o mercancía caracterizada por factores como tipo de cliente, prioridad, distancia, zona entre otros.

Según lo expuesto, se puede dilucidar y percibir la contribución de esta investigación en el campo de la logística de transporte y el impacto que tiene este estudio en los procesos de priorización de despachos.

CAPÍTULO IV.
ENTREGAS PARCIALES

En este capítulo se expone el proceso de entrega de pedidos con el fin de definir el conjunto de factores que lo afectan, además de analizar los indicadores de priorización de despachos con el propósito de identificar su relación con los factores de entrega por zonas y entregas parciales posteriormente. Es por ello que se van a considerar algunas métricas que se constituyen, cuando se usan de manera combinada, como un apoyo valioso para los procesos de planificación de despachos considerando el caso típico de envíos desde un centro de distribución hacia "n" bodegas, las cuales podrían considerarse como clientes internos o externos. De igual forma, este capítulo proporciona información para culminar la caracterización del caso de estudio y corrobora la importancia de seleccionar estos indicadores como parte fundamental de la aproximación a un buen planteamiento de los mismos y su impacto en el caso de estudio, dando así cumplimento al segundo objetivo específico.

Se muestran entonces seguidamente las siguientes características referenciales, como el marco experimental para la identificación de criterios que permitan apoyar los procesos de planificación del transporte según lo postula. (Bravo, et al, 2007).

Dentro del esquema de la Figura 11, se asume que se dispone de un (1) centro de distribución (CD) que abastece a quince (15) bodegas menores (BM) ubicadas en diferentes ciudades del país.

Se considera inicialmente la problemática de despachos de un producto (o familia de productos) que se le llamará P1.

Se tienen los datos de tiempos en tránsito (Lead Time) desde el CD hasta cada BM, así como los datos de demanda promedio semanales por producto y desviación estándar de dicha demanda. También se cuenta con la información de inventarios actuales (al inicio de la semana) y la zona de ventas en la cual la bodega está localizada.

Existe un sistema de revisión periódica semanal de inventarios en las BM, conocido como sistema R.S. (Chopra et al., 2001,) donde el parámetro "R" corresponde al periodo de revisión (una semana) y "S" el inventario máximo permisible del producto en una bodega (el cual se debe calcular). Al inicio del periodo de revisión (por ejemplo, los lunes de cada semana) se

calculan los pedidos para todas las bodegas y se programan los despachos que se harán efectivos en el transcurso de la semana, desde el CD hacia cada una de ellas. Los pedidos de las bodegas se calculan como "S" menos el inventario efectivo en el momento de la revisión.

Se deben programar los despachos de pedidos completos. Es decir, no se consideran envíos con pedidos parciales. Por ello las zonas geográficas pueden implicar una prioridad diferente desde el punto de vista competitivo para la organización. (Osorio, Orejuela y Bravo, 2005) .

Aquí simplemente se desea reconocer, de modo preliminar y no cuantitativo, que las bodegas pueden pertenecer a zonas distintas y que cada zona puede afectar la priorización de una bodega, dada la prioridad predeterminada de la zona. (Ver Figura 11).

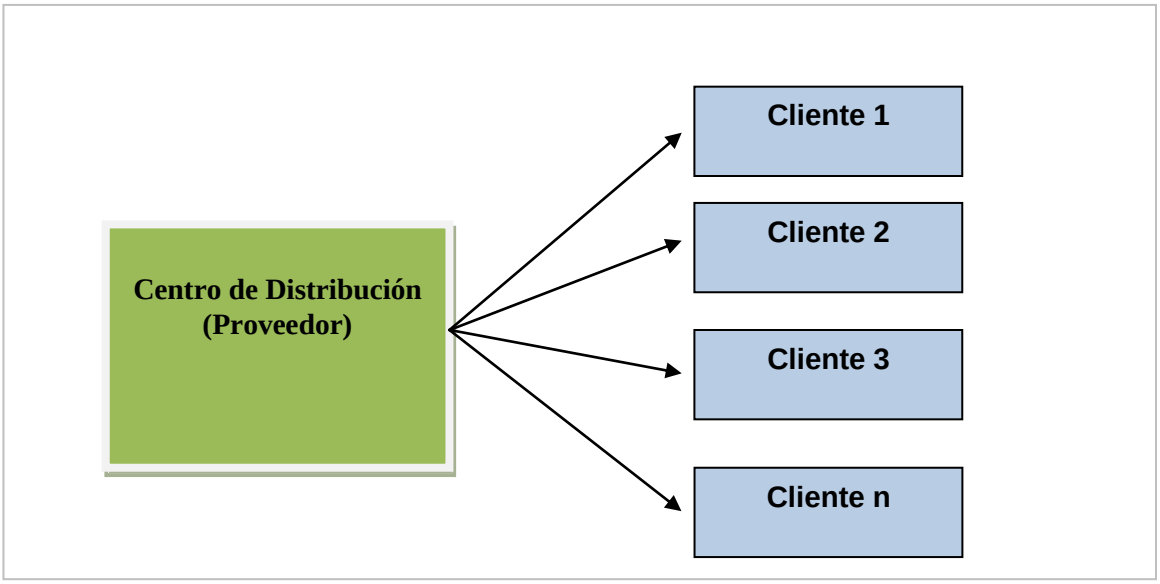


Figura 11. Centro de Distribución del Proveedor.

Fuente: Bravo, J., 2007. Vol. 23.

Es por esta razón, que al contemplar el envío de pedidos parciales a clientes es de gran relevancia para las organizaciones hoy en día. Si los clientes no pueden obtener la totalidad de sus productos por alguna razón, podrían considerar la opción de asumir un costo extra en transporte por ejemplo, siempre y cuando estos sean entregados en un tiempo prudencial. Es por ello, que las organizaciones no se pueden dar el lujo de incurrir en pérdida de los clientes o la misma venta, por lo cual siempre deben diseñar estrategias y ofrecer alternativas hacia la satisfacción de esta necesidad. Ejemplo de ello, la empresa en estudio ofrece alternativas para solventar esta falencia de venta, la posibilidad de entregar el producto faltante en un lapso no mayor de tres (3) días. Sin embargo, es importante aclarar que este costo de transporte extra es asumido por la

empresa y no por la trasportadora. Es por esto, que de igual forma las zonas geográficas donde estos clientes están ubicados repercuten al momento de priorizar despachos.

4.1. Exploración de criterios de planificación

Se plantea un esquema de decisión de un CD al tener que considerar para cada bodega BM un conjunto de información, la cual se deberá procesar para detectar el nivel de prioridad de cada bodega respecto a las demás, partiendo de la premisa de que existen recursos de transporte restringidos como los vehículos.

La lista de información fue seleccionada por el autor dado que en la práctica, y con base en la realidad industrial nacional, se trata de una información sencilla de obtener. Según el caso de referencia de la sección, al inicio de cada semana el CD debe obtener para cada bodega BM la siguiente información:

- **Lead Time:** corresponde al tiempo de transporte desde el CD hacia la BM y puede referirse a un dato promedio que resulte de la experiencia de los transportadores.
- **Demanda:** Se refiere al promedio de unidades demandadas por semana, obteniéndose este dato del sistema de información de la empresa. Este dato se requiere por producto.
- **Inventario efectivo:** Para cada bodega y cada producto se escribe simplemente como "inventario", y es en la práctica el resultado del inventario físico en la bodega más la cantidad de producto pendiente por llegar, menos la cantidad de producto comprometida y pendiente por entregar a clientes.
- **Inventario de seguridad:** Se puede decir que corresponde al inventario efectivo de un producto, justo en el momento en que la bodega realiza una orden al proveedor, y dispuesto a atender las variabilidades de la demanda durante el tiempo de tránsito de la orden. El inventario de seguridad, por tanto, permite atender la variabilidad de la demanda mientras la orden de producto llega finalmente a la bodega, tratando de evitar el agotamiento del producto, además de un mal servicio al cliente.
- **Variabilidad de la demanda:** estadísticamente se habla de la desviación estándar de la demanda, que se calcula con los datos de la demanda histórica del producto.
- **Prioridad de la zona de mercado:** como se dijo anteriormente, puede resultar de un análisis numérico multicriterio o simplemente de la experiencia de personal de la empresa.

- **Inventario máximo:** Corresponde a la cantidad máxima de cada producto que es permisible que exista en cada bodega. Puede resultar de políticas internas de la empresa, de restricciones de espacio o de cálculos matemáticos propios de la industria.

Para esta investigación, inicialmente se contemplaron los criterios mencionados anteriormente, sin embargo con el transcurso del tiempos se optó por estudiar los indicadores propuestos, entregas parciales y zonificación de una forma independiente al documento base (Osorio, et al, 2005), debido a que se necesitaba saber el comportamiento de estos directamente con los despachos en una organización y su impacto a los clientes. Sin embargo no se dejó de lado el análisis de la relación que tenían las investigaciones anteriores con la propuesta, puesto que las variables que intervienen en este estudio están correlacionadas con las ya propuestas en estudios anteriores. Por otra parte se deja como recomendación realizar un estudio posterior del análisis de todos los indicadores en conjunto y su efecto en el sistema de despachos y priorización.

Cabe preguntarse ahora cómo debería mezclarse lógicamente esta información para extraer de ella una nueva y valiosa información que permita entender las necesidades reales de una BM, estableciendo así unas reglas de prioridad de despachos que vayan de la mano con políticas de servicio al cliente pre-establecidas. (Ver Figura 12).

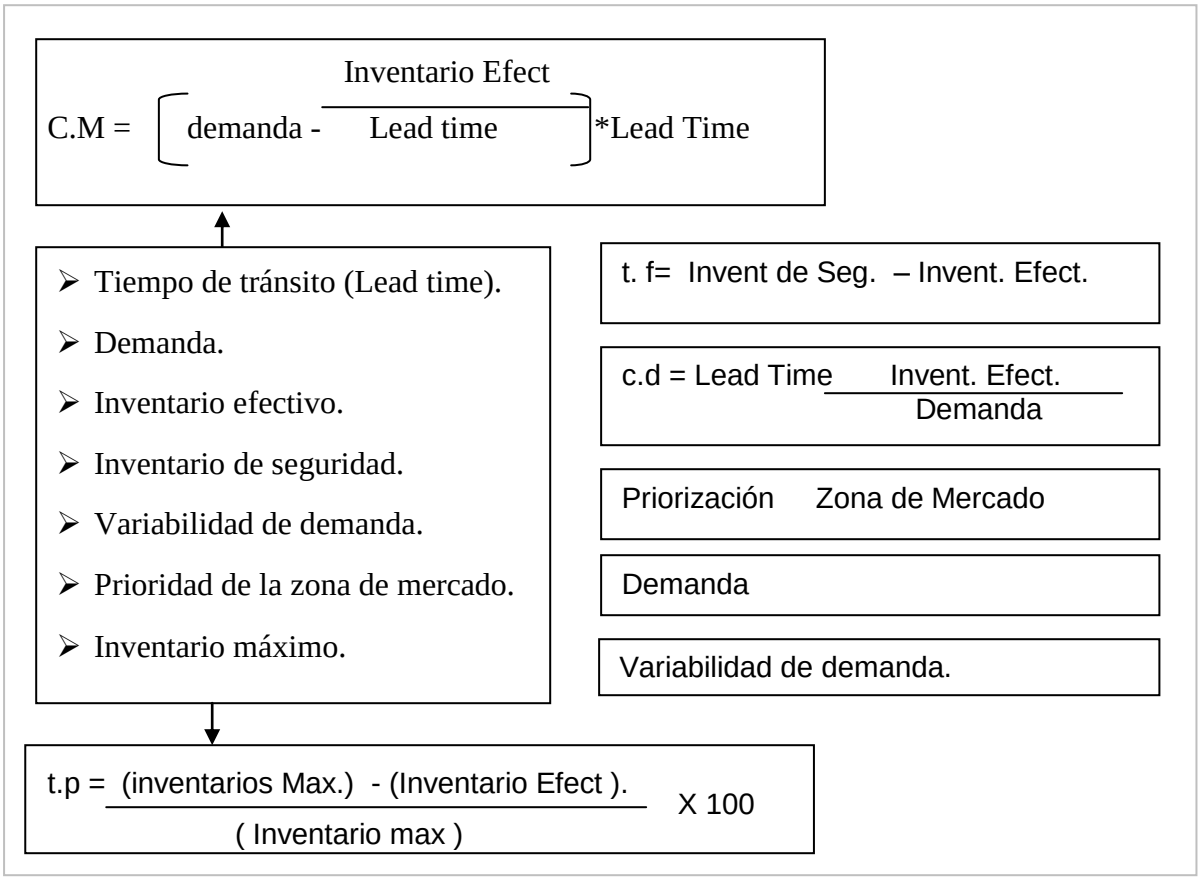


Figura 12. Criterios para la planificación del transporte.
Fuente: Bravo, J y cols 2007. Vol. 23

En la Figura12, los autores proponen siete (7) criterios para determinar la planificación del transporte. Se muestra de una forma breve los criterios con aplicación directa a un producto o familia de productos.

Para el primer criterio Obsérvese que el signo positivo de este indicador sugiere problemas con el producto, y que un valor negativo hace que el despacho de ese producto no sea tan prioritario.

Segundo criterio. Tamaño del faltante (t.f.). Para el cálculo de este criterio, en el caso de un producto específico, es necesario en primera instancia calcular el Inventario de Seguridad de dicho producto.

Teniendo en cuenta los elementos de la teoría de inventarios, el inventario de seguridad se calcula con la siguiente fórmula:

$IS = K\ \sigma_{R+LT}$

Siendo, σ igual a la desviación estándar de la demanda durante R+LT.

Asumiendo que la demanda del producto se comporta según la Distribución de Probabilidad Normal, un nivel de servicio del 95% representa un cubrimiento en ese porcentaje.

Este indicador siempre debe ser positivo y un valor de t.p de 100% concluirá que el nivel de inventario es nulo y que como consecuencia se debe hace otro pedido con el valor de "S" o pedido máximo. Por otra parte un nivel de 0% indicada que existe suficiente inventario para suplir cada uno de los requerimientos.

Se define como criterios de demanda que entre dos bodegas se escogerá la más prioritaria teniendo como base la que tenga un valor mayor en su demanda promedio de productos. Se debe tener en cuenta que la demanda y la variabilidad deben estar relacionadas con la "importancia" de los clientes que la bodega atiende. Esta importancia se puede ver expresada en la definición de zonas de mercado.

El modelo presentado en esta investigación se tomó como referencia tres (3) zonas para los cuales ya se sabe de antemano que clientes pertenecen a que zona. El criterio de priorización de despacho de una orden está dado por la cantidad de pedido pendiente que tenga en espera y el costo asociado a realizar un despacho a cada una de las zonas.

Gestionar los despachos es una labor que exige un sistema de información estructurado que, ante la carencia de abundancia de recursos, permita una planificación del transporte justa, considerando que las políticas de servicio al cliente deben sostenerse. Si se usa un solo criterio, seria de poco valor teniendo en cuenta la complejidad de cada uno de los procesos, especialmente en el despacho de mercancía y planeación de la misma.

Es común que se envíe mercancía primero a la Bodega o cliente que hizo el mayor pedido, o aquella que sea prioritaria, o aquella que esté más cerca o más lejos del centro de distribución. Pero como se muestra en lo anterior, cada criterio trata la priorización desde aspectos diferentes, y existe una necesidad de asociar todas esas percepciones y sacar una única y robusta conclusión con miras a una priorización y planeación más eficiente.

Es de destacar con base en lo anterior, que existen empresas en donde el sistema de despacho aún se gobierna por la importancia y prioridad en sus clientes y el mantenerlos con una satisfacción total, sin importar el costo que haya que asumir; es por esto que el modelo propuesto prioriza bajo la perspectiva de estos factores cualitativos, antes que unos cuantitativos.

La naturaleza de la planificación del transporte es multi-criterio y por ello debe tratarse con técnicas cuantitativas y cualitativas multicriterio, de tal manera que entre varios indicadores o variables de estudio se pueda sacar uno solo que resuma la información de los demás. Antes de este proceso, debe extenderse el análisis de criterios al caso multiproducto. El considerar, por ejemplo, cinco productos P1, P2, P3..P5 (y familias de productos) F1,F2 y F3, el problema de estructuración de criterios crece ampliamente en complejidad y esto se puede evidenciar en esta investigación y en el diseño del modelo matemático. Adicional a esto, se puede decir que los factores que se estudiaron participan de una forma directa en el proceso con el fin de conservar un buen ambiente entre empresa y cliente

4.2. Indicadores para la priorización de despachos

Aunque aún no han sido definidos de manera clara, los indicadores que permitan planificar los despachos de la organización, se puede apuntar a unas variables claves para el servicio al cliente y la gestión efectiva de los recursos de los que dispone una empresa.

Se proponen dos variables que contribuyen a la priorización de los despachos, enfocados en un buen servicio al cliente y partiendo de información logística tradicional en cadenas regionales de abastecimiento tales como: demanda de clientes, variabilidad estimada de la demanda, inventario efectivo en el momento de realizar un pedido), capacidades de las ordenes, y los más importante, asumir una parte financiera asociada con costos de despacho , lo cual nunca se había contemplado en investigaciones pasadas.

Los indicadores de prioridad de bodegas o criterios propuestos por Bravo et al son los siguientes: Criterio de cobertura en unidades (c.u.), Criterio de tamaño del faltante (t.f.), Criterio de cobertura en días (c.d.), Criterio priorización de zona de mercado, Criterio de demanda, Criterio de variabilidad de la demanda, Criterio de tamaño del pedido (t.p.). Las variables propuestas en esta investigación son: Costos de despacho por zona (Cost Zona), backorder por cliente o faltante (BK2).

Este trabajo dentro de su desarrollo y análisis, muestra una gran estructura y unos resultados que evidencian la importancia del estudio de estos problemas desde la perspectiva cualitativa y cuantitativa del transporte dentro de la organización. La satisfacción del cliente es

un aspecto que debe ser estudiado desde todos los ángulos, de igual forma los factores relevantes y que inciden en esta situación.

CAPÍTULO V.
PROPUESTA METODOLÓGICA

En esta sección se presentará un modelo matemático de optimización para la planificación de despachos teniendo en cuenta criterios de zonificación y entregas parciales, en la primera fase se presentará un caso de estudio con el objetivo de evaluar la propuesta de metodología de priorización de despachos, se aplicara el modelo de optimización a un caso de estudio hipotético de una empresa dedicada al negocio del retail; la segunda fase presentara los supuestos desarrollados, la tercera explicará la notación utilizada en el mismo, la cuarta fase se realiza una breve descripción de las restricciones y la función objetivo, en la quinta fase se detalla la formulación matemática, por último en la sexta fase se hará una descripción de las formulación planteada

5.1. Caso de estudio

A continuación se presenta un caso de estudio diseñado de tal forma que cumpliera con parámetros similares a los presentados en la vida real de una empresa del retail y de donde nació la idea de mejorar su proceso de despacho; para efectos de la investigación, se mantendrá su nombre bajo confidencialidad. Por otra parte, también se han tomado datos de ventas reales para tres productos que se comercializan en diversas sucursales. A partir de esta información, se han realizado cálculos posteriores para su análisis, se obtuvieron datos de cantidades y capacidades.

Para el desarrollo del caso de estudio se escogió este tipo de empresa puesto que cumple con las características propias del modelo que se propone en esta investigación, las cuales son el disponer de un CD desde el cual se realiza el despacho de productos hacia varios clientes que se encuentran ubicados en diversas zonas geográficas distantes del mismo.

En la siguiente sección se realiza la caracterización del caso de estudio, con el objetivo de presentar la información necesaria para aplicar el modelo de priorización de despachos propuesto. Posteriormente, se presentará el análisis respectivo de los resultados obtenidos para finalmente concluir sobre los mismos.

5.1.1. Caracterización del caso de estudio

A continuación se presentan los supuestos, características e información necesaria para el desarrollo del caso de estudio:

5.1.2. Supuestos y características del proceso de distribución

Se asume que se dispone de un (1) CD desde el cual se abastece a seis (6) bodegas-clientes ubicadas en diferentes sectores o zonas. La Figura 13 representa esta situación. (Ver Fig. 13)

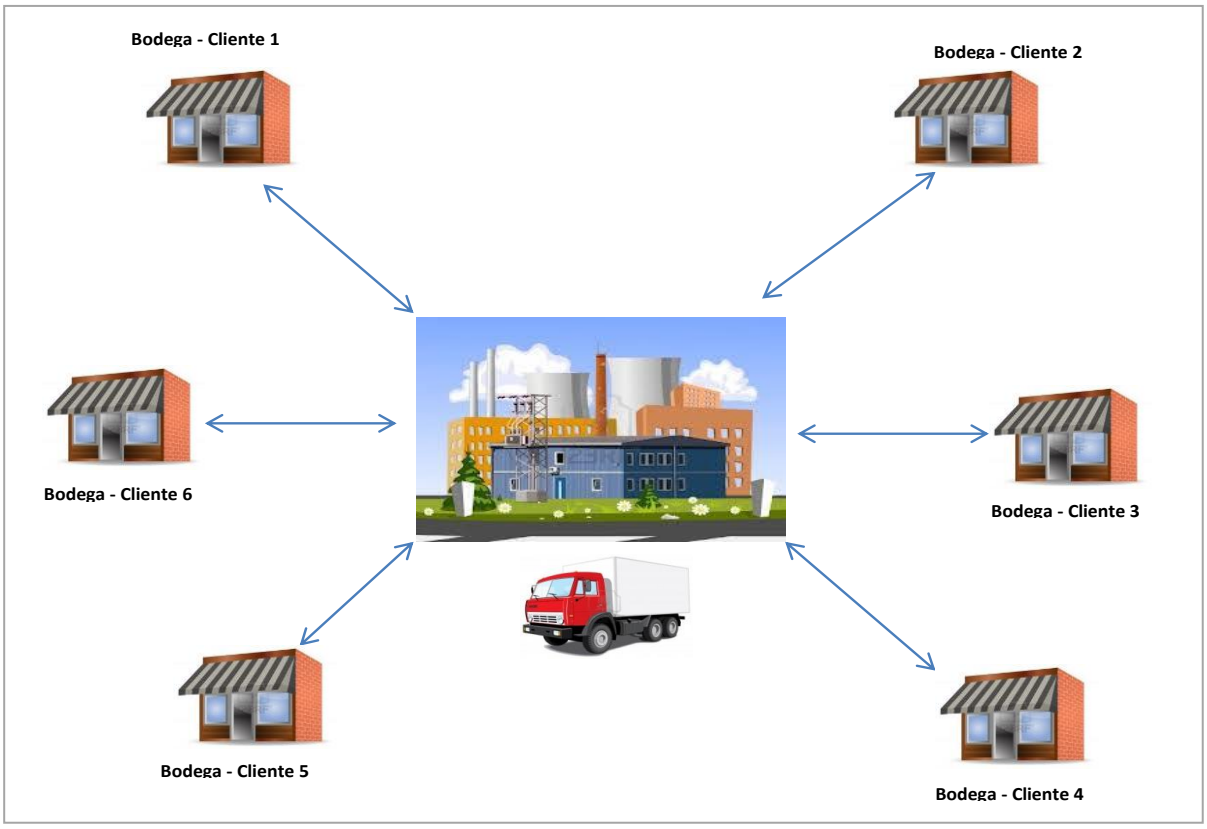


Figura 13. Representación del caso de estudio
Fuente: Elaboración presente estudio. Año 2013.

Los clientes b1 y b2 pertenecen a la zona 1, b3 y b4 pertenecen a la zona 2 y b5 y b6 a la zona 3.

Se considera inicialmente la problemática de despachos de tres (3) productos (P), y cada producto pertenece a una familia de productos (F) a los que se les llamará P1, P2, P3, respectivamente. Definiendo P1 y P2 pertenecientes a F1 y P3 perteneciente a F2

Se cuenta con un inventario inicial o entradas por día constante de estos productos

debido a su gran demanda en el horizonte de tiempo. Cantidad de entrada por día = 1000 und por día y por producto.

No se consideran datos de tiempos de entrega desde el CD hacia cada bodega-cliente ni tiempos de regreso desde cada cliente sin carga hacia el CD debido a que modelo no se ocupara de resolver un problema de ruteo o encontrar la ruta óptima. Sin embargo se asume que la flota de vehículos está disponible siempre y las entregas se realizan en el mismo día. En la Tabla 1. Se muestran estos tiempos.

Bodega- cliente	Tiempo de entrega (días)	Tiempo de regreso sin carga (días)
Zona 1	1	1
Zona 2	1	1
Zona 3	1	1

Tabla 1. Información de tiempos de tránsito hacia las bodegas-clientes
Fuente: Elaboración propia presente estudio.

Se asume que se pueden despachar un máximo de 7 órdenes por día desde el CD y la capacidad de cada orden es la misma y constante en el horizonte de tiempo, con una capacidad de 100 unidades para cada orden en cada día.

Los costos asignados para cada una de las zonas se tomaron con valores reales usados actualmente de la empresa que se tomó como base de estudio: Costo de despacho zona 1,2 y 3 son $7500, $12500 y $15000 respectivamente.

Para el desarrollo del presente caso de estudio se decidió tomar datos de ventas de productos de alta rotación, puesto que en el análisis de toda la información se identificó que presentan una demanda estable, y además, son clasificados por las bodegas-clientes como tipo A. La selección de este tipo de productos torna interesante la problemática de priorización puesto que es absolutamente necesario que se minimicen sus desabastecimientos en las bodegas-clientes.

Los productos planteados cuentan con las siguientes características:

- Son productos de consumo masivo. Llevan más de dos años en el mercado.
- Sus ventas se presentan en los seis almacenes del país que se escogieron para realizar el caso de estudio, con comportamientos distintos en cada zona de mercado.

La información suministrada por la empresa corresponde a un total de dos meses de ventas, sobre la cual se analizó su tendencia y se calculó una demanda promedio para trabajar con el modelo propuesto. En el Anexo A. se muestran los datos de ventas reales. En las Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se presentan el resumen de esta información clasificada para cada bodega-cliente.

5.2. Características y supuestos del modelo

Adjunto al desarrollo del modelo existen algunos supuestos que sirven para delimitar su alcance y dar paso a futuras extensiones del mismo. Dichos supuestos se presentan a continuación:

- Se dispone de un Centro de Distribución que abastece a varias clientes, las cuales se encuentran ubicadas en zonas geográficas distantes y diferentes.
- El vehículo se encuentra disponible en el CD para realizar un nuevo despacho. Esto se traduce en que el vehículo estaría disponible para realizar varios viajes en el mismo día.
- Las órdenes de los clientes se asumen conocidas y calculadas antes del comienzo de la semana de planificación.
- Debido a los parámetros capacidad de los camiones e inventario inicial de producto en el CD, es posible que no se consiga enviar a un cliente el tamaño del pedido completo, por lo cual se considera el despacho de pedidos completos o parciales.
- Debido a que se plantea que los clientes se ubican en zonas geográficas distantes, se contempla el despacho de pedidos desde el CD hacia varios clientes. Es decir, el vehículo puede atender varios clientes en la misma zona o en diferentes zonas a la vez, llevando varios productos.
- Se considera el despacho solamente de un solo producto P1 o una familia de productos para el caso de estudio en otras palabras, solo se puede despachar productos pertenecientes a la misma familia de productos debido a las posibles inconvenientes tales como contaminación y averías en los mismos.
- Se cuenta con demandas conocidas diarias diferentes por clientes y por producto en el horizonte de tiempo.

- No se consideran ventas pérdidas durante los primeros seis días de la semana, esto quiere decir que si se presentan demandas de un producto mientras éste no se encuentra disponible, dichas demandas se asumen como ventas pendientes las cuales son satisfechas inmediatamente llega el pedido a la bodega.
- El horizonte de planeación se considera semanal, sin embargo los procesos de compra son quincenales, por lo que en ese lapso de tiempo se entiende que es con lo que cuenta el CD. Se propone para un estudio futuro analizar las cantidades que debe pedir el CD al menos en un último periodo.
- Se asume que también pueden quedar faltantes para una próxima semana, por tanto se puede contar con faltantes iniciales y esos serían prioridad en los despachos.
- Se cuenta con un inventario de entrada por día y por producto constante así como la capacidad máxima de envíos por día y por orden.
- Se asume un backorder inicial constante para cada cliente y cada producto.

A continuación se presenta la descripción detallada del modelo correspondiente para su formulación matemática.

5.3. Notación utilizada para el modelo

Es este apartado, se establece la notación utilizada para el modelo propuesto de despachos, que se encuentra separado en índices, parámetros y variables.

Índices

p = Producto

f = Familia

z = Zona

b = Bodega o cliente

d = Dia

o = Orden

Parámetros

dem_{fpzbd} = Demanda de la familia f del producto p en la zona z del cliente b en el dia d

ent_{fpd} = *Entrada de mercancia de la familia f del producto p en el dia d*

cap_{do} = *Capacidad de cada camion para el despacho o en el dia d*

bko_{fpzb} $= Backorder\ de\ la\ familia\ f\ del\ producto\ p\ en\ la\ zona\ z$
$del\ cliente\ b\ en\ el\ dia\ d = 1$

COS_{do} $= Costo\ total\ asignado\ por\ despachos(órdenes)o\ realizados.$

Variables

Q_{fpzbdo} $= cantidad\ a\ enviar\ de\ la\ familia\ f\ de\ producto\ p\ a\ la\ zona\ z$
$del\ cliente\ b\ del\ dia\ d\ en\ el\ despacho\ o$

$BK1_{fpzbdo}$ $= Backorder\ de\ la\ familia\ f\ para\ el\ producto\ p\ a\ la\ zona\ z$
$del\ cliente\ b\ el\ dia\ d\ en\ el\ despacho\ o$

$BK2_{fpzbd}$ $= Backorder\ de\ la\ familia\ f\ para\ el\ producto\ p\ a\ la\ zona\ z$
$del\ cliente\ b\ el\ dia\ d$

ICD_{fpd} $= Inventario\ final\ en\ el\ cedis\ de\ la\ familia\ f$
$del\ producto\ p\ en\ el\ día\ d$

$$BDPR_{fpzbdo} = \begin{cases} 1, si\ se\ despachade\ la\ familia\ f\ el\ producto\ p\ a\ la\ zona\ z \\ \quad del\ cliente\ b\ en\ dia\ d\ del\ despacho\ o \\ 0, de\ lo\ contrario \end{cases}$$

$$BDOR_{zdo} = \begin{cases} 1, si\ se\ realiza\ en\ despacho\ (orden)\ o\ a\ la\ zona\ z \\ \quad en\ el\ dia\ d \\ 0, de\ lo\ contrario \end{cases}$$

$$BDCL_{zbdo} = \begin{cases} 1, si\ se\ \text{realiza en}\ despacho\ a\ la\ zona\ z\ del\ cliente\ b\ en\ el\ dia\ d \\ \quad del\ despacho(orden)o \\ 0, de\ lo\ contrario \end{cases}$$

COS_{do} $= Costo\ total\ asignado\ por\ despachos(órdenes)o\ realizados.$

$CBK_{p,b}$ $= Costo\ de\ backorder\ por\ producto\ y\ cliente$

$COSBK_d = Costo\ total\ asignado\ por\ backorder\ en\ el\ día\ d.$

5.4. Formulación verbal del modelo

En el presente se realizará la formulación verbal del modelo propuesto de despachos separado en función objetivo y restricciones que están asociadas a un nodo.

Restricciones

Nodo cliente

1. De balance entre demanda y backorder del cliente para el día uno.
2. De balance por despacho para las ordenes en los días mayores que uno.
3. De balance por despacho para las ordenes y backorder en el día uno.

4. De balance por despacho para las ordenes y backorder para días mayores que uno.

Nodo Centro de Distribución

5. De balance entre entradas y salidas en el CEDIS para el primer día

6. De balance entre entradas y salidas en el CEDIS para días mayores que uno

Nodo Despacho

7. De control de cantidades enviadas no superiores a lo que hay en inventario para el día uno

8. De control de cantidades enviadas no superiores a lo que hay en inventario para los días mayores que uno

9. De control que la cantidad de producto a despachar no sobrepase la capacidad de cada despacho o en el día d.

10. Aseguramiento de envío a cliente debe ser solamente si está asignado a él.

11. De asignación de costo dependiendo de la zona que se envíe.

12. De cobro por despacho y cliente visitado

13. De cobro por cada backorder pendiente por cliente en el día

Función Objetivo

Minimizar el costo por despacho en todas las zonas de todos los clientes todos los días de todas las órdenes y su backorder.

5.5. Formulación Matemática

De acuerdo con la notación y la formulación verbal del modelo, a continuación se realiza la formulación matemática que es el conjunto de ecuaciones que componen la función objetivo y las restricciones.

Conjuntos

$CLI = \{b \dots B\}$ $\forall b \in CLI$
$CLI[z] = \{z \dots Z\}$ $\forall b \in CLI[z]$

$PRO = \{p \dots P\}$ $\forall p \in PRO$
$FPR = \{f \dots F\}$ $\forall f \in FPR$
$PRO[f] = \{f \dots F\}$ $\forall p \in PRO[f]$

$DIA = \{d \dots D\}$ $\forall d \in DIA$
$ENV = \{e \dots E\}$ $\forall e \in ENV$
$ENV[d] = \{d \dots D\}$ $\forall e \in ENV[d]$

$ZON = \{z \dots Z\}$ $\forall z \in ZON$
$ORD = \{o \dots O\}$ $\forall o, o2 \in ORD$

Restricciones

- **Esquema de nodo cliente**

$$(\boldsymbol{R1})\ dem_{fpzbd} + bko_{fpzbd} = \sum_{o=1}^{ORD} Q_{fpzbdo} + BK2_{fpzbd} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], \forall z \in ZON, \forall b \in CLI[z], d = 1$$

$$(\boldsymbol{R2})\ dem_{fpzbd} + BK2_{fpzbd-1} = \sum_{O=1}^{ORD} Q_{fpzbdo} + BK2_{fpzbd} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], \forall z \in ZON, \forall b \in CLI[z], \forall d \in DIA$$

$$(\boldsymbol{R3})\ bko_{fpzb} + dem_{fpzbd} = \sum_{o2=1}^{o2 \leq O} Q_{fpzbdo2} + BK1_{fpzbdo} \quad ; \forall f \in familia, \forall p \in PRO[f], \forall z \in ZONA, \forall b \in CLI[z], d = 1, \forall O \in ORD$$

$$(\boldsymbol{R4})\ BK2_{fpzb,d-1} + dem_{fpzbd} = \sum_{o2=1}^{o2 \leq O} Q_{fpzbdo2} + BK1_{fpzbdo} \quad ; \forall f \in familia, \forall p \in PRO[f], \forall z \in ZONA, \forall b \in CLI[z], \forall d \in DIA, \ \forall O \in ORD,$$

- **Esquema de nodo centro de distribución.**

$$(\boldsymbol{R5})\ ent_{\boldsymbol{fpd}} = ICD_{\boldsymbol{fpd}} + \sum_{\boldsymbol{o=1}}^{\boldsymbol{ORD}} \sum_{\boldsymbol{z=1}}^{\boldsymbol{ZON}} \sum_{\boldsymbol{b}}^{\boldsymbol{ZONCLI[b]}} Q_{fpzbdo} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], d = 1$$

$$(\boldsymbol{R6})\ ent_{\boldsymbol{fpd}} + ICD_{fpd-1} = ICD_{fpd} + \sum_{\boldsymbol{o=1}}^{\boldsymbol{ORD}} \sum_{\boldsymbol{z=1}}^{\boldsymbol{ZON}} \sum_{\boldsymbol{b}}^{\boldsymbol{ZONCLI[b]}} Q_{fpzbdo} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], \forall d \in DIA$$

- **Esquema de nodo despacho**

$$(\boldsymbol{R7}) \sum_{z=1}^{ZON} \sum_{b}^{CLI[z]} \sum_{o=1}^{ORD} Q_{fpzbdo} \leq ent_{fpd} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], d = 1$$

$$(\boldsymbol{R8}) \sum_{z=1}^{ZON} \sum_{b}^{CLI[z]} \sum_{o=1}^{ORD} Q_{fpzbdo} \leq ent_{fpd} + ICD_{\boldsymbol{fpd-1}} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], \forall d \in DIA$$

$$(\boldsymbol{R9}) \; Q_{fpzbdo} \leq cap_{do} * BDPR_{fpzbdo} \quad ; \forall f \in FPR, \forall p \in PRO[f], \forall z \in ZON, \forall b \in CLI[z], \forall d \in Dia, \forall o \in ORD$$

$$(\boldsymbol{R10}) \sum_{f=1}^{FPR} \sum_{p}^{PRO(f)} \sum_{b}^{CLI(z)} BDPR_{fpzbdo} \leq M * BDOR_{zdo} \quad ; \forall z \in ZONA, \forall d \in DIA, \forall o \in ORD$$

$$(\boldsymbol{R11}) \sum_{f=1}^{FPR} \sum_{P}^{PRO(f)} Q_{pfzbdo} \leq M * BDCL_{zbdo} \quad ; \forall z \in ZONA, \forall b \in CLI, \forall d \in DIA, \forall o \in ORD$$

$$(\boldsymbol{R12}) \sum_{z=1}^{ZON} BDCL_{zbdo} * cos_{zbdo} = COS_{do} \quad ; \forall d \in DIA, \forall o \in ORD$$

$$(\boldsymbol{R13}) \sum_{f=1}^{FPR} \sum_{p=1}^{PRO(f)} BDPR_{fpzbdo} \leq M * BDCL_{zbdo} \quad ; \forall z \in ZONA, \forall b \in CLIENTE, \forall d \in DIA, \forall o \in OR$$

$$(\boldsymbol{R14}) \sum_{p=1}^{PRO} \sum_{b=1}^{CLI} \left(BK2_{fpzbd} * CBK_{p,b}\right) = COSTBK_{d} \quad ; \forall f \in FPR, \forall z \in ZONA, \forall d \in DIA$$

Función objetivo

$$MIN \sum_{z=1}^{ZON} \sum_{b=1}^{CLI(z)} \sum_{d=1}^{DIA} \sum_{o=1}^{ORD} BDCL_{zbdo} * cos_{zbdo} + \sum_{p=1}^{PRO} \sum_{b=1}^{CLI} \sum_{d=1}^{DIA} (BK2_{fpzbd} * CBK_{p,b})$$

5.6. Descripción del Modelo

En esta sección se describe y explica el modelo propuesto a partir del análisis de las restricciones y de su función objetivo. Se hará referencia a la restricción de acuerdo a su clasificación por nodo y número de identificación mencionado en el apartado anterior.

Definiciones

1. Los diferentes conjuntos a trabajar son: Conjunto de clientes, conjunto de zonas, conjunto indexado de clientes pertenecientes a una zona, conjunto de productos, conjunto de familia de productos, conjunto indexado de productos pertenecientes a una familia, conjunto de días y conjunto de órdenes.

Restricciones

1. Definiciones para las restricciones relacionadas con el cliente (nodo cliente).

- Para la R2, es el complemento de la restricción R1, la que se plantea para d > 1. Se cuenta con la demanda del día más la cantidad pendiente del día anterior. Esto debe ser igual a la cantidad despachada y su respectivo backorder del día. Logrando así un equilibro en el modelo, y llevar un conteo de los backorders de cada uno de los clientes.
- Para la restricción R1se plantea un balance entre demanda de cada producto j, para cada familia de producto f, para cada cliente b que pertenece a una zona z en cada día d más un backorder (BK2) de los clientes para el día inicial. Se asume que se cuenta con valor inicial de pendiente para este día inicial. Definiendo así que la demanda del día inicial más lo pendiente debe ser igual a la cantidad despachada más lo pendiente de ese día del cliente. Esto se debe hacer para cada producto y familia, cliente, zona y corresponde a d = 1
- la restricción R4, es el complemento de la restricción R3, la que se planeta para d > 1. El objetivo principal es que el backorder de la última orden debe ser igual al backorder del día. Logrando así poder tener un control de lo que se debe realmente por cada una de las órdenes despachadas y tener un valor al final del día.
- La restricción R3, plantea para d = 1, que la demanda de un producto j, para un cliente b, más lo pendiente de ese día debe ser igual a las cantidades que se despacharon en cada orden más el backorder de cada orden. Para la sumatoria de las cantidades se propone un subíndice "o2" que pertenece de igual forma al conjunto "o", pero que ayuda a tener en cuenta las cantidades pero en cada orden.

2. Definiciones para las restricciones relacionados con el CEDIS (nodo Centro de distribución)

- En las restricciones R5 y R6 se presenta un balance entre la cantidad de mercancía disponible (inventario inicial del periodo y entradas de mercancía) y la cantidad de

mercancía a usar en ese periodo (producto a despachar e inventario final). Para d=1 (Restricción R5), la cantidad de mercancía disponible proviene de las entradas de producto en ese periodo, dado que no existe un inventario inicial, Para d>1 (restricción R6) la cantidad de mercancía disponible cuenta con un inventario inicial que corresponde al producto excedente del periodo inmediatamente anterior (inventario final para d-1).

- Es por lo anterior que el valor de inventario siempre será mayor o igual a cero. Nunca podrá ser negativo, garantizando que si no alcanza el producto disponible, no se puede enviar. En consecuencia, si no envía producto genera un faltante.

3. Definiciones para las restricciones relacionados con el despacho (nodo Despacho)

- Para la restricción R7, se controla que la cantidad a enviar a un cliente no sobrepase a lo que se tenga en la entrada inicial de producto, es decir esta restricción es para d = 1.
- Para la restricción R8, se controla que la cantidad a enviar a un cliente b no sea mayor a lo que se tenga en inventario más las cantidades que entran. Esto aplica para d > 1. Complementando la restricción R7.
- Con la restricción R9, se garantiza que la cantidad que se vaya a despachar no sobrepase la capacidad de una orden de envío, la cual se trabaja como un parámetro. A su vez se relaciona con una variable binaria de despacho de producto BDPR que se activa solamente si ese producto puede despacharse en esa orden.
- Para la restricción R, contempla dos variables binarias de despacho de producto y despacho de orden, que se activan para permitir que en una orden se lleve los productos del cliente b teniendo en cuenta la zona a la que debe ir.
- Para la restricción R10, se cuenta con una variable binaria de despacho cliente, la cual solo se activa y cuenta cada vez que se deba despachar cierta cantidad de producto a un cliente.
- Para la restricción R11, ayuda a calcular el costo de cada una de las órdenes del día teniendo en cuenta el conteo que realiza la variable binaria de despacho BDCL a cada cliente multiplicando por el costo de la zona donde se encuentra ese cliente. Este costo es manejado como parámetro.
- Para la restricción R12, se asocian las dos variables binarias de despacho de producto y cliente para realizar el conteo de los clientes que se visitan en cada orden y después poderlo

asociar a la función objetivo con su respectivo costo. Se realiza para cada cliente b que pertenece a una zona z y para cada día y orden.

- Para la restricción R13, realiza el cálculo del costo total del backorder por día realizando la multiplicación de los backorders (BK2) que se presentaron por cliente b y en el día d, y costo asociado al backorder o penalización por tener pendiente. Esta penalización se maneja como parámetro.
- La función objetivo minimizar el costo total por despacho, que está compuesto por dos factores. Primero, el costo asociado por el despacho de las ordenes a los clientes dependiendo de su zona, por lo cual se multiplica el costo que tiene asignado cada zona por la variable binaria de despacho cliente el cual lleva el conteo de los clientes a los que se les despachó en un día d y en la orden o. Segundo, el costo asociado por los faltantes el cual resulta del cálculo de la suma de los backorder de cada cliente b en cada día d, y el costo que tiene en pendiente.

CAPÍTULO VI.
ANÁLISIS DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta la siguiente función objetivo (minimización del costo de despacho), y los resultados obtenidos en el caso de estudio mediante el software AMPL, se puede inferir que:

$$MIN \sum_{z=1}^{ZON} \sum_{b=1}^{CLI(z)} \sum_{d=1}^{DIA} \sum_{o=1}^{ORD} BDCL_{zbdo} * cos_{zdo} + \sum_{p=1}^{PRO} \sum_{b=1}^{CLI} \sum_{d}^{DIA} \left(BK2_{fpzbd} * CBK_{p,b}\right)$$

El modelo se plantea inicialmente teniendo en cuenta que el objetivo es identificar un esquema que ayude a optimizar los despachos asumiendo dos factores importantes hoy en día en empresas que cuentan con servicios de despacho de distintos productos (3 en el caso de estudio) de mercancía a clientes en distintas zonas geográficas, tales como las entregas parciales y las zonas en donde están ubicados sus clientes. Estos dos factores se pueden analizar desde dos perspectivas:

La primera es que las entregas parciales para las empresas son consideradas unas de las variables las cuales afectan directamente su servicio al cliente y por el cual se ven disminuidas sus ventas. Una venta sin existencia provoca un descontento en el cliente y eso se ve representado en un costo o venta perdida. Es por esta razón que la función inicial de este modelo parte de considerar los costos que representa cada uno de los despachos hacia cada uno de sus clientes; Por lo cual, es de mayor prioridad tratar de cumplir con el total de su pedidos en el menor tiempo posible. Es por esto que se le asigna un costo como penalidad al modelo por backorder. En otras palabras, asignar un costo a volver a visitar al cliente por esta entrega pendiente (entrega parcial).

Partiendo de una primera simulación donde el costo de backorder es muy bajo (valor de $10) , se puede observar que los datos correspondientes a las entrega (Q), en los 7 días que se tomaron como horizonte de tiempo, y asignado un valor muy bajo a la penalización por backorder, el modelo responde con valores altos de faltantes o backorder altos para la mayoría de los días en las tres clases de producto. Los valores anterior son el resultado de correr el

modelo en AMPL con los datos originales que se obtuvieron de la empresa tales como demandas de producto y costo por backorder. (Ver Tabla 2).

BACKORDER (DÍA TRAS DÍA) - PRODUCTO UNO						
	CLIENTE (b)					
DÍA (d)	1	2	3	4	5	6
1	32	33	43	34	33	30
2	0	0	70	49	47	45
3	14	15	0	0	0	0
4	29	36	11	22	21	23
5	0	0	54	45	43	36
6	22	23	86	69	66	63
7	45	47	96	94	90	96

Tabla: 2 Backorder del producto 1 para todos los clientes (b) en los días (d)
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Por otra parte, se puede observar que el modelo deja de enviar producto a sus clientes en los días 1 y 7, debido a que el costo que se asume por backorder es inferior al costo de despacho por zona. En la tabla 3 se muestran los valores (Q) de cantidad despachada en diferentes días para los tres productos a un mismo cliente.

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO UNO			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	3	4
2	45	0	0
5	0	0	50

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO DOS						
	ORDEN (o)					
DÍA (d)	1	2	3	4	6	7
2	56	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	69	0	0
6	0	0	0	0	0	0

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO TRES					
	ORDEN (o)				
DÍA (d)	1	2	3	4	7
2	69	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	86	0
6	0	0	0	0	0

Tabla 3. Cantidad despachada al cliente 1 (b1) de los productos 1 2 3 (p1, p2, p3) en los dias (d) y en cada orden (despacho "o")
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

A continuación en la figura 14 se puede observar la gráfica de Backorders Vs Despachos para cada uno de los clientes, en cada uno de los periodos para todos los productos.

Esta misma situación se presenta para los demás clientes, donde no se les despacha al inicio y al final del horizonte de tiempo, dejando todo como backorder. Igualmente los costos por día de backorder totales son inferiores a los costos por zona como se muestra a continuación:
(Ver tabla 4 y Figura 15)

COSTO DE BACKORDER (costbk)	
DÍA	VALOR
1	$6.440
2	$6.240
3	$1.440
4	$5.220
5	$5.220
6	$9.670
7	$14.100

COSTO DE DESAPCHO POR ZONA	
ZONA	COSTO
1	$7.000
2	$12.500
3	$15.000

Tabla 4 Costo total de backorder para cada día (d) comparados con los costos de despacho a cada zona.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

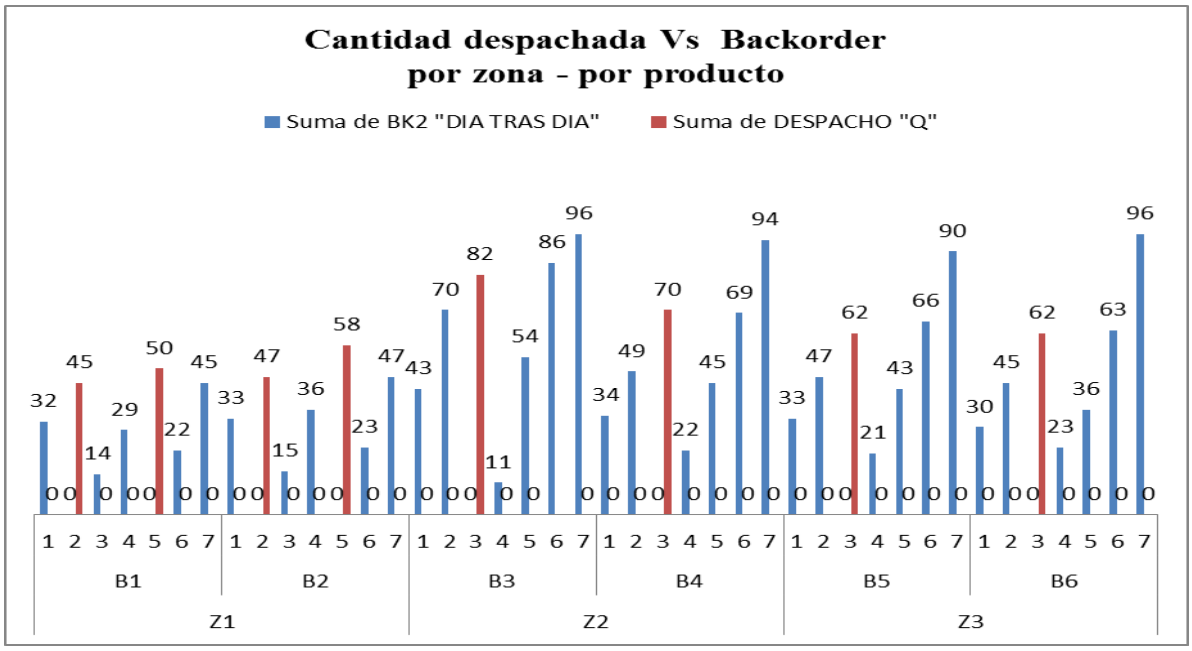


Figura 14. Cantidad despachada Vs Backorder por día y por cliente

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

6.1. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN EL VALOR DE LA PENALIZACION DEL COSTO POR BACKORDER

Continuando con el análisis de este modelo, se varía el costo por backorder reduciéndolo a un 50% del valor inicial; de esta manera se pudo determinar que los backorders disminuyeron en magnitud para los clientes en un gran porcentaje en cada uno de los días. (Ver Tabla 5).

BACKORDER (DÍA TRAS DÍA) PRODUCTO UNO						
	CLIENTE (b)					
DÍA(d)	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	13	14	27	15	14	15
3	0	0	0	0	29	32
4	15	21	11	22	0	0
5	0	0	0	0	22	13
7	0	0	10	25	24	33

Tabla 5 Costo total de backorder con disminución para los clientes en un porcentaje en cada uno de los días.

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Por otra parte, incrementando el valor por penalización, el modelo despacha cantidades un poco más bajas pero en periodos más seguidos como se puede apreciar en las siguientes tablas: (Ver Tabla 6)

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO UNO			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	3	4
1	0	32	0
3	27	0	0
5	0	0	36
6	0	22	0
7	23	0	0

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO DOS			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	3	4
1	0	35	0
3	27	0	0
5	0	0	47
6	0	25	0
7	23	0	0

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO TRES				
	ORDEN (o)			
DÍA (d)	3	4	5	7
1	0	44	0	0
3	56	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	55	0
6	0	30	0	0
7	35	0	0	0

Tabla 6. Cantidad despachada al cliente 1 (b1) de los productos 1 2 3 (p1, p2, p3) en los días (d) y en cada orden (despacho "o")
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

A continuación se observa la gráfica de Backorders Vs Despachos para cada uno de los clientes, en cada uno de los periodos para todos los productos de la simulación dos.

Sin embargo se puede observar, que los costos totales de backorder se incrementaron debido a que el modelo al asignar más despachos a otros días, debe incurrir en los costos asignados a cada una de las zonas que visite como se puede observar en la tabla 7 y Figura 15.

COSTO DE BACKORDER (costbk)	
DÍA	**VALOR**
1	$ -
2	$16.100
3	$9.900
4	$12.200
5	$6.050
6	$ -
7	$14.000

COSTO DE DESAPCHO POR ZONA	
ZONA	**COSTO**
1	$7.000
2	$12.500
3	$15.000

Tabla 7 Costo total de backorder para cada día (d) comparados con los costos de despacho a cada zona.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

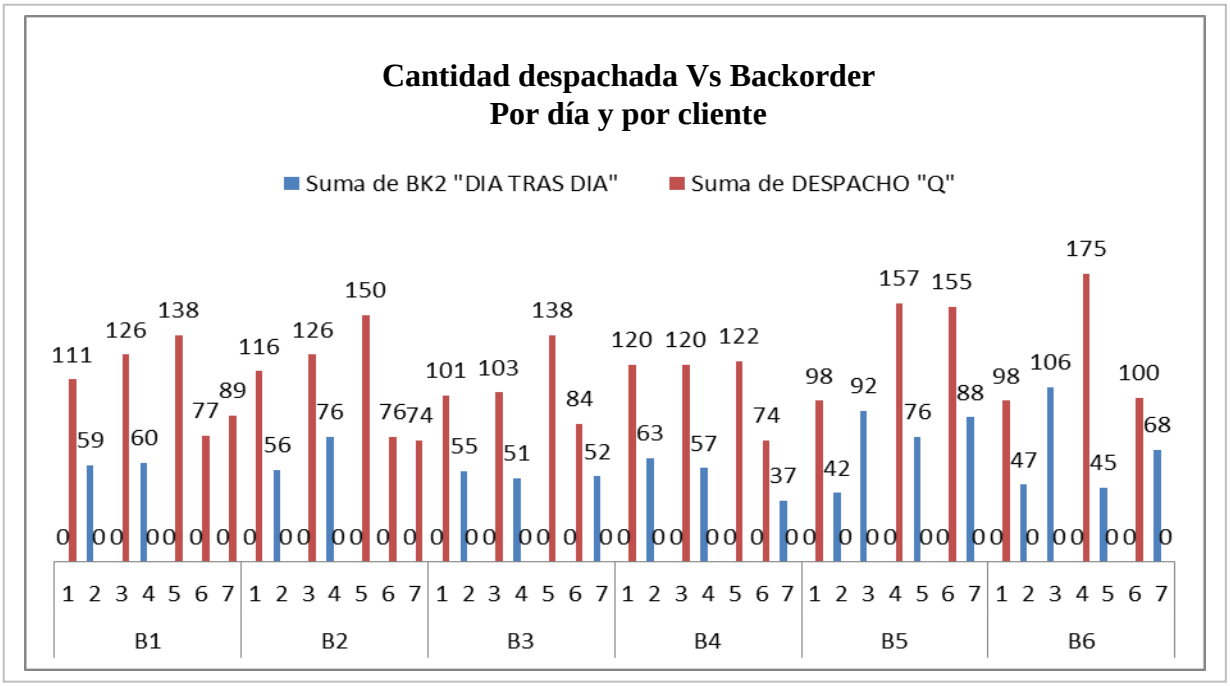


Figura 15. Cantidad despachada Vs Backorder para cada uno de los clientes.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Cabe resaltar que los días 1 y 6, donde no se tuvo backorder, se despachó todo lo que estaba asignado para esos días, mejorando el servicio al cliente medido en términos de cantidad despachada de producto, pero elevando los costos totales por despacho en comparación a la simulación 1. (Ver Tabla 8).

FUNC.OBJ	SIMUL 1
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$ 90.830

FUNC.OBJ	SIMUL 2
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$ 190.750

Tabla 8. Costos totales por despacho en comparación a la simulación 1.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Realizando una comparacion entre las dos simulacion, y tomando como referencia las cantidades depsachadas "Q" se puede visualizar que mientras más bajo sea la penalidad por backorder el modelo optimiza los despachos distribuyendolos en mas días y entregando mayor cantidad, al igual que reduciendo los pendientes por día. Fig.16.

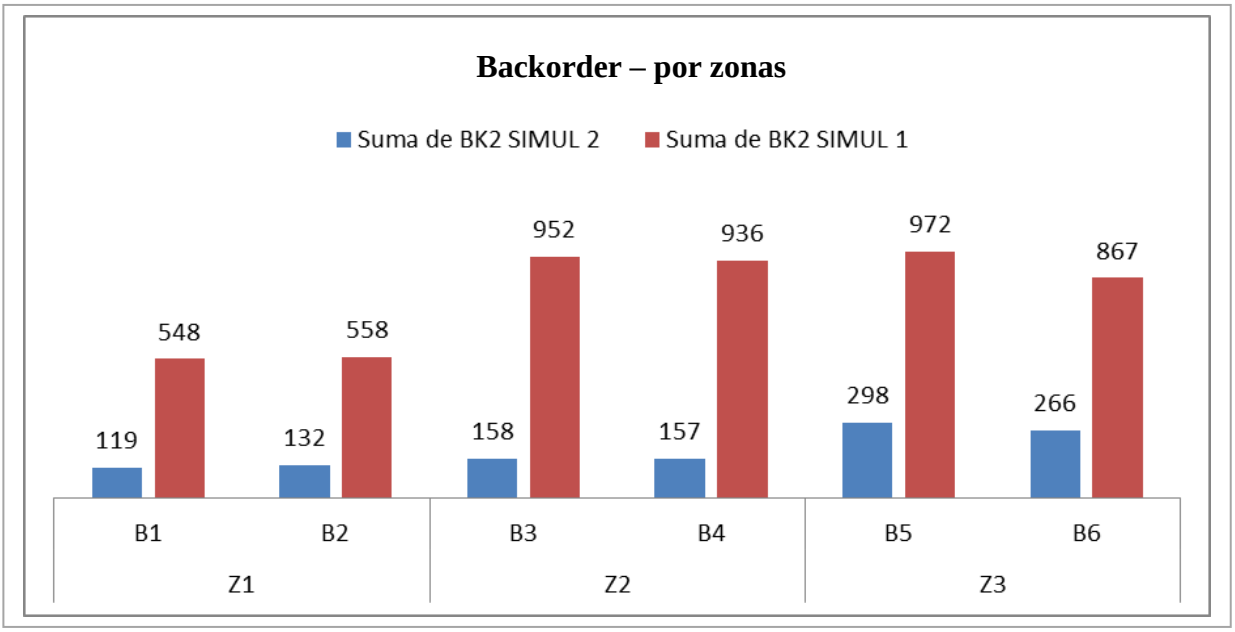


Figura 16. Comparativo de despachos realizados con costo de backorder bajo (SIMUL 1) y costos de backorder alto (SIMUL 2)
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

La figura comparativa de backorders para cada una de las zonas teniendo en cuenta penalización por backorder baja (SIMUL 1) y penalización por backorder alto (SIMUL 2)

Partiendo de este modelo inicial, se desarrollaron dos nuevas funciones de desempeño para las cuales su función objetivo tiene como meta estimar unos costos de despacho pero estimados con base en la modalidad de entrega de productos.

Para esta segunda función de desempeño, se tiene como meta el cálculo de costos ya no asumiendo un costo individual por cada cliente visitado, sino que se tiene en cuenta solamente la zona de destino. En otras palabras, el costo solo es generado cuando se visita una zona independiente de los clientes que se visiten en la misma.

6.2. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN LOS VALORES DE LA DEMANDA

A partir de este modelo, es necesario considerar y analizar los diferentes comportamientos que se pueden presentar a raíz de la variación de parámetros o variables. Uno de ellos, y de gran importancia a validar, es los cambios en las demandas. Dos compartimentos a validar son una demanda creciente y decreciente tomando valores promedio de datos históricos en donde se tengan estos comportamientos. Estas dos conductas serán analizadas simultáneamente.

Una vez ajustado los datos en el modelo, se puedo observar que:

Los datos obtenidos de los backorders para una demanda creciente muestran diferencias no muy pronunciadas en el horizonte de tiempo. Concluyendo que el modelo trata de ajustar y de enviar lo que más pueda de producto a sus cliente y dejar en proporciones muy similares los pendientes entre periodos, una tendencia correcta al contemplar una tendencia de incremento todos los días.

Sin embargo para los clientes que se encuentran en las zonas asociadas a un costo más alto en el despacho, sufren por la desventaja de la misma, pero no en una proporción considerable, al tener que esperar a que se tenga grandes cantidades al final de un periodo para despachar, lo cual provoca un incremento de los faltantes en los días finales del horizonte de tiempo.

Por otra parte se puede observar que para una demanda decreciente el comportamiento es de mucha diferencia. Especialmente para los clientes que se encuentran en las zonas más alejadas y de más alto costo de transporte, donde sus pendientes se duplican al punto de casi no poder

despachar por mantener una estabilidad entre los clientes de las zonas más cercanas al CEDIS como lo son las zona 1 y 2. Cuando la demanda al inicio del horizonte de tiempo es mayor y va disminuyendo con el tiempo el modelo hace el mayor esfuerzo al inicio, para poder brindar un buen servicio en general, sin embargo, en vista que se requiere disminuir costos de transporte, especialmente en despachos a clientes de zona 3, al final solo se podrá enviar producto cuando éste lo amerite, es decir cuando existan cantidades que justifiquen el viaje, por lo que se prefiere seguir atendiendo los clientes de las zonas más cercanas, generando un ciclo donde los pendientes a clientes más lejanos siempre van a tener un valor alto y en consecuencia generando un servicio de mala calidad y con retrasos y quejas. (Ver Fig. 17)

Lo anterior como se puede evidenciar en las gráficas que se presenta a continuación:

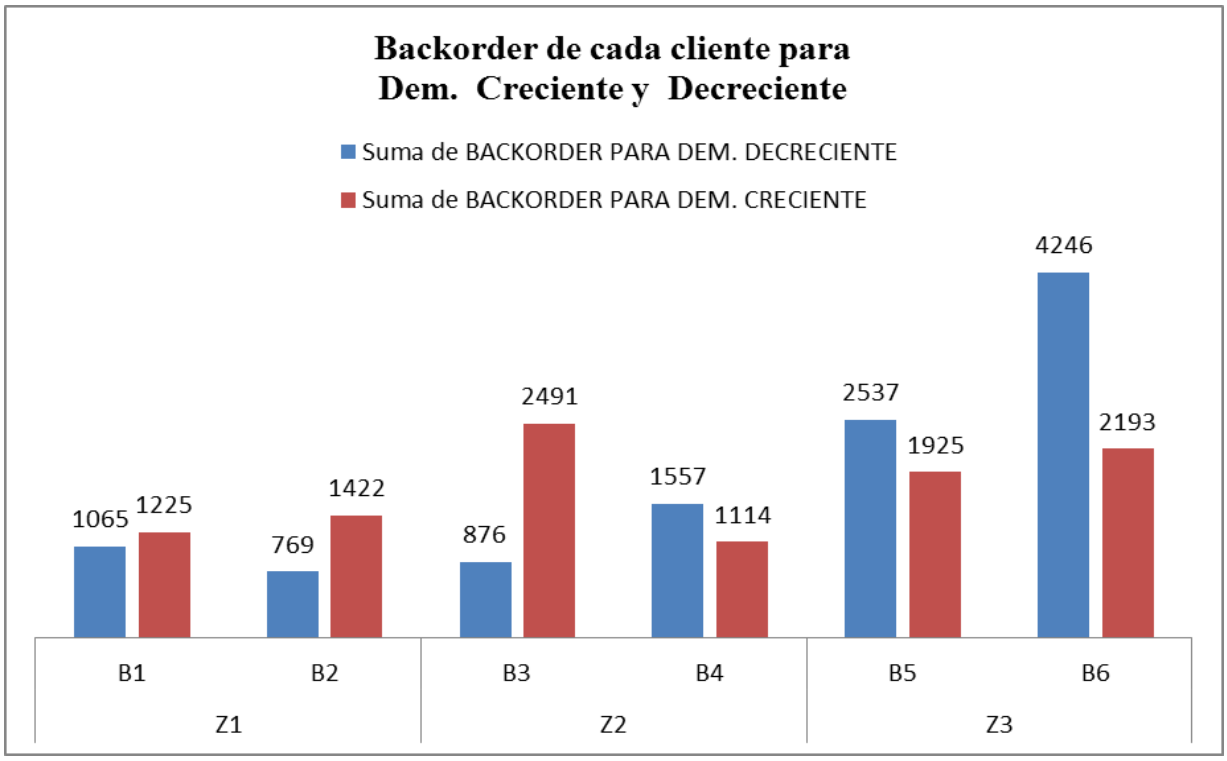


Figura 17. Backorder de cada cliente para demanda creciente y decreciente
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

1. Por otra parte, realizando un análisis de las cantidades despachadas, todo muestra la consecuencia de lo anteriormente mencionado. Para los dos tiempos de tendencia de demanda, tanto creciente como decreciente, el modelo busca enviar la cantidad que más se pueda a los clientes, pero solo a los de las zonas más cercanas, y dejando a los clientes de la zona 3, con la entrega de poco producto.

Lo anterior se puede observar en la siguiente figura 18.

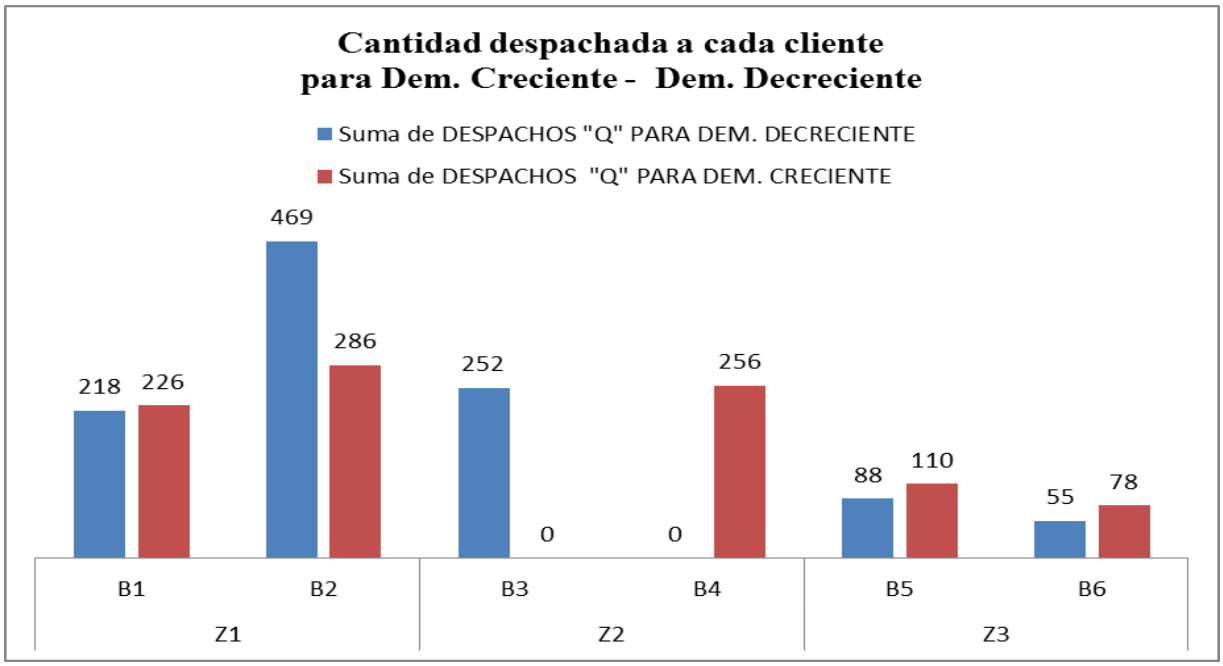


Figura 18. Cantidad despachada a cada cliente para demanda creciente y decreciente
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Según los resultados obtenidos de la función objetivo se puede observar que el costo total de transporte cuando se tiene una demanda creciente es superior al coto de transporte cuando se cuenta con una demanda decreciente. Lo anterior como resultado de la realización de más despachos en una tendencia de crecimiento en la demanda como se pudo constatar en las gráficas anteriores. Las variaciones en la demanda en el caso de estudio se pueden presentar especialmente por temporadas ya que la empresa objeto de estudio trabaja bajo modalidades de promociones y temporadas las cuales en ciertos periodos del año existe mayor demanda del servicio de transporte y con ello la compra de productos. (Ver Tabla 9)

FUNC.OBJ	DEM. CRECIEN
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$131.190

FUNC.OBJ	DEM. DECRECI
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$125.500

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

6.3. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN LA CAPACIDAD DE LA ORDEN

Es importante, por otra parte, analizar qué pasaría si la capacidad de cada una de las órdenes incrementa o disminuye. Para este análisis solo se contempla la posibilidad de incrementar la capacidad puesto que el hecho de disminuirla solo traería como consecuencia un incremento desproporcionado en los pendientes o backorder para cada cliente todos los días. Es por esa razón que vale la pena observar si los incrementos en la capacidad de cada orden día tras día vuelve más eficiente el proceso de despacho y en consecuencia mejora los costos.

Después de variar estos parámetros, incrementándolo en un 50% hasta un 100% se puede concluir que:

Uno de las variaciones es que si se incrementa la capacidad se puede contar con más producto para enviar y poder suplir las necesidades del cliente. Es por esto que los backorders o pendientes para cada uno de los clientes en magnitud no son muy altos comparados con los valores del modelo original, en su estado normal. La diferencia entre clientes en este aspecto no es muy significativa, por lo cual se puede deducir que se hace un buen trabajo distribuyendo prioridades y cumpliendo en un buen porcentaje la demanda de cada uno de ellos.

Otra variable importante de analizar es la cantidad despachada, en este aspecto se puede apreciar que también sufre un incremento a su vez que la capacidad aumenta a la misma vez. Se puede observar en los datos que en varios días se cumple en la entrega del 100% de los productos demandados, trayendo como consecuencia que los pendientes sean en general bajos.

Por otra parte, en estos escenarios, se sigue teniendo falencias con los clientes pertenecientes a las zonas con costos de transporte altos. Las cantidades despachadas a la zona 3 no son representativas y se incurre de igual manera como consecuencia en insatisfacción del cliente.

Sin embargo, lo más importante de resaltar en estos dos escenarios, es que a medida que se incrementa la capacidad de las órdenes, las cantidades despachadas varían levemente, al igual que los backorders. Esto es debido a que la capacidad es un factor de relevancia media para la eficiencia del modelo y de mejora del proceso. Una forma fácil de explicarlo es tomando como ejemplo las condiciones reales de la empresa en estudio: entre más vehículos o capacidad se tenga para enviar productos a los clientes, no significa que vaya a suplir la demanda al 100%. Los costos asociados a cada uno de los despachos hacen que de igual forma se restringa los

envíos y no se pueda dar rienda suelta a estos. Se pueden tener muchos vehículos pero no sirve de nada si el costo que hay que asumir igual es muy alto; es por lo anterior que aunque se aumente la capacidad, las variaciones en cantidades entregadas es muy leve así como los backorders.

Lo anterior se puede observar en las figuras 19 y 20 que se presentan a continuación:

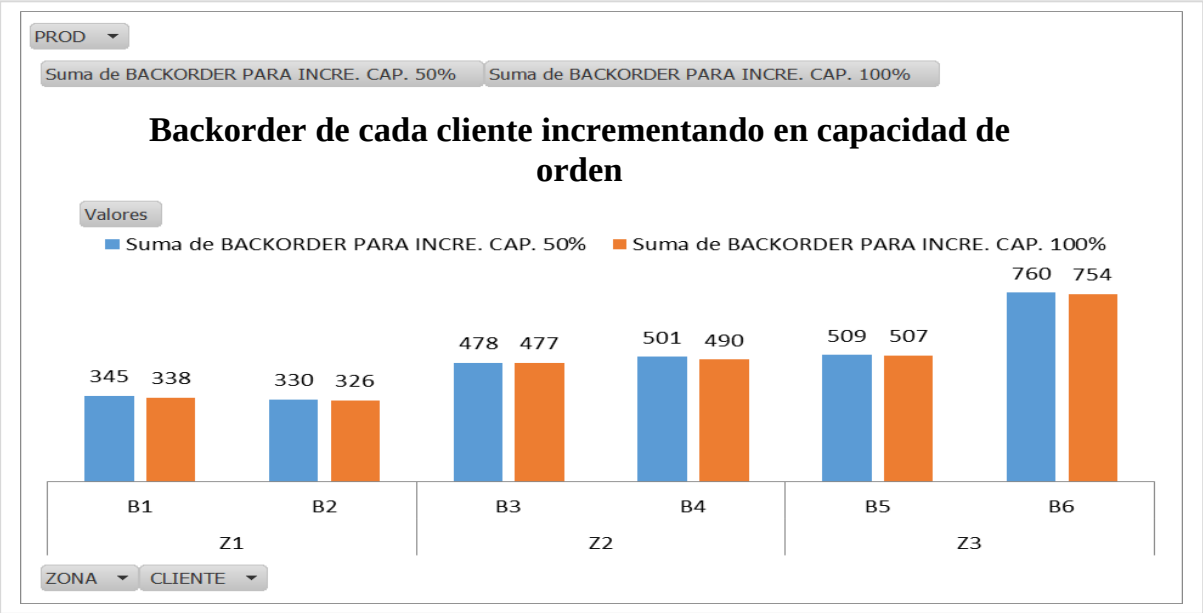


Figura 19. Backorder de cada cliente incrementando en capacidad de orden

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

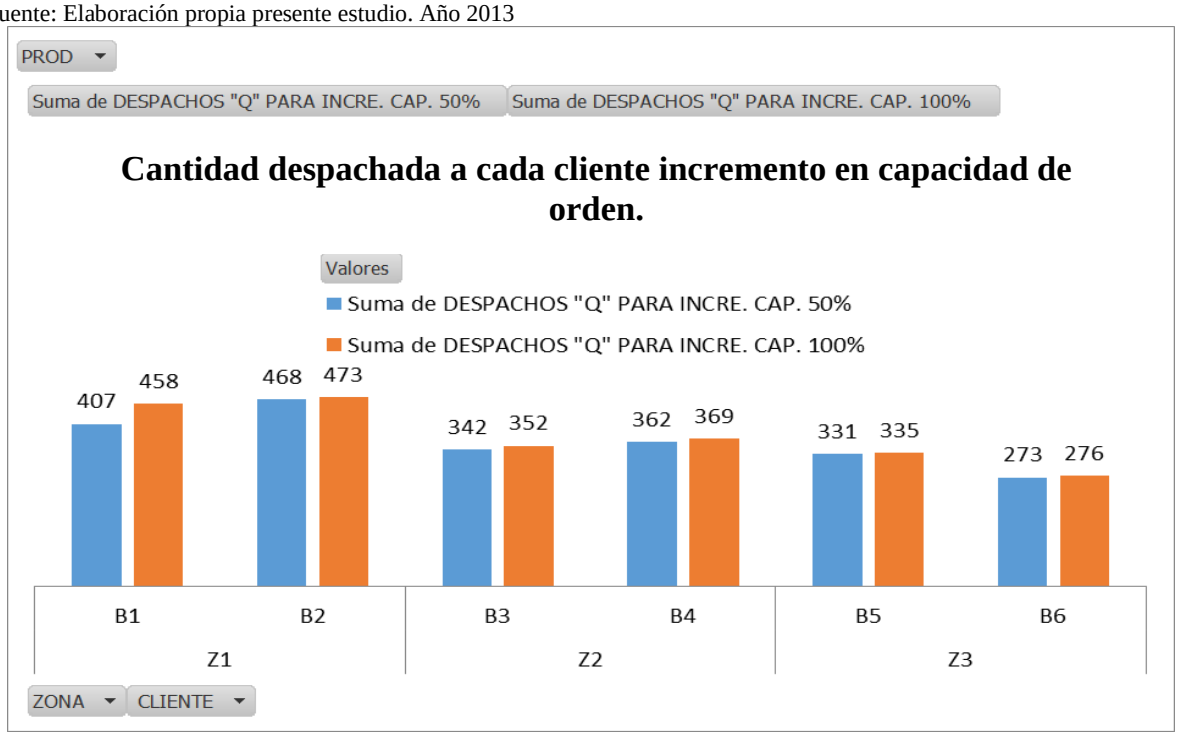


Figura 20. Cantidad despachada a cada cliente incremento en capacidad de orden.

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Según los resultados obtenidos de la función objetivo se puede observar que el costo total de transporte cuando se tiene un incremento en la capacidad varía levente. Lo anterior como consecuencia de lo explicado en el punto anterior, donde un incremento en capacidad no es directamente proporcional a la cantidad despachada, sino por el contrario está altamente ligada a los costos asociados del despacho. (Ver. Tabla 10).

FUNC.OBJ	INCRE. CAP. 50%
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$285.150

FUNC.OBJ	INCRE. CAP. 100%
COSTO TOTAL X DESPACHOS	$287.200

Tabla 10. Costos totales por despacho para incremento en la capacidad de orden de 50% a 100%

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

6.4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA CAMBIOS EN LOS COSTOS ASIGANDOS POR DESPACHO A CADA ZONA

Para este caso, se realizaron variaciones en el que según todos los resultados apuntan a ser el parámetro que más afecta al desempeño del modelo, y en consecuencia factor que influye en la eficiencia de los despachos en el caso de estudio. Se tuvo en cuenta solamente la reducción de los costos puesto que es pertinente saber cómo afecta a los backorders, las cantidades despachas y su costo total, mientras que el incremento en los costos, es de saber que no contribuye significativamente en el análisis por los datos anteriormente recolectados y analizados.

Se realizaron variaciones en los costos de dos formas: Una reducción de los costos reales en un 20% y en un 50%, para los cuales los resultados fueron los siguientes:

- Ante una disminución del 20% en los costos reales asociados a cada despacho por zona, se notó una gran mejoría en la disminución de los backorders en comparación con el modelo del caso real de estudio, aún en la zona 3 donde se tiene un costo bastante alto para el envió de producto a sus clientes.

- Por otra parte, reduciendo los costos en un 50%, casi la mitad, se puede percibir que el mejora considerablemente las cantidades a despachar y se reduce en una proporción significativa los backorder, casi en un 50% en comparación con el modelo original.

Lo anterior se puede observar en las figuras 21 y 22 lo siguiente:

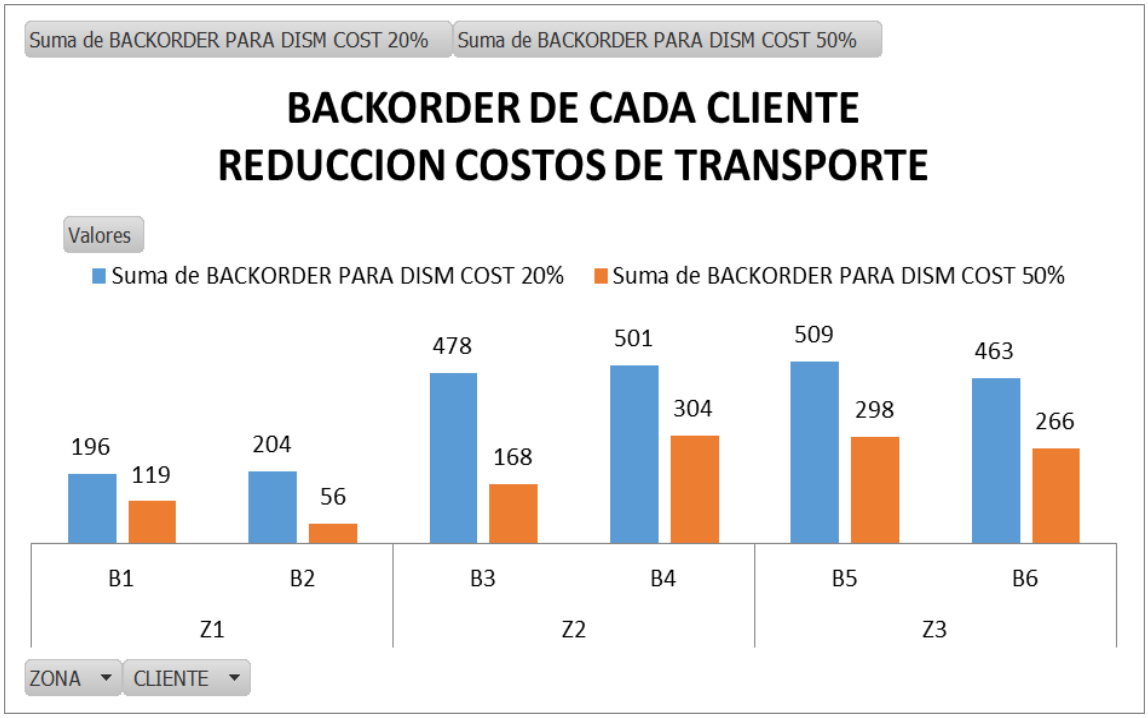


Figura 21. Backorder de cada cliente reducción costos de transporte

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

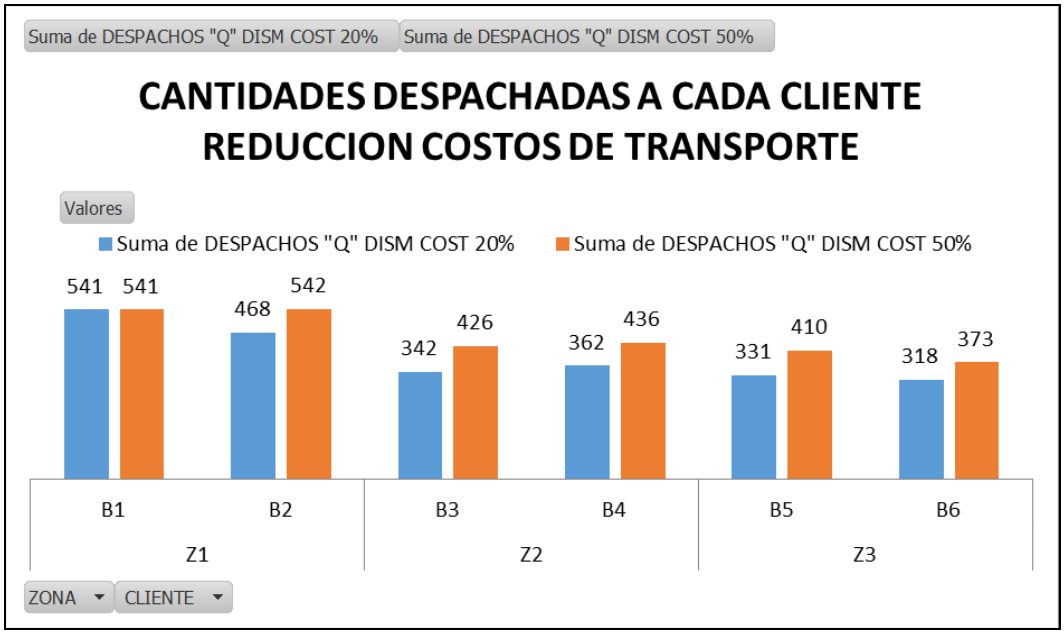


Figura 22. Cantidades despachadas a cada cliente reducción costos de transporte.

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Es importante resaltar que las variaciones en los costos son de suma importancia para mejorar el desempeño del modelo, más aún, para mejorar el proceso de despacho de mercancía y lograr una satisfacción del cliente óptima en el caso de estudio. Teniendo como punto de referencia que la satisfacción del cliente se logra cumpliendo en un alto porcentaje los envíos al cliente y entregando la mercancía pendiente lo antes posible.

A menores costos de transporte se tendrá más opciones de mejorar los despachos e incurrir en menos entregas parciales sin importar la zona. Lo ideal es encontrar un valor mínimo que permita mejorar los costos de transporte, sin embargo el valor ideal sería poder despachar todo sin tener costo alguno, pero para una simulación matemática, y esta investigación el modelo dejaría de ser lineal y con probabilidades muy bajas de poder encontrar un valor. Es por eso, que el costo siempre debe manejarse como un parámetro y encontrar formas alternas para pactar su valor.

Por lo anterior, y para darle un valor agregado a esta investigación, a continuación se plantean dos posibles estrategias para el cálculo de costos de transporte asociados a este caso de estudio. Es relevante aclarar que no son las únicas formas de encontrar estos valores, podrían existir más, pero lo que se plantea a continuación es una forma práctica y real en la que una empresa o la empresa objeto de estudio, podría emplear para obtener un reducción en sus costos de transporte, mejorar su proceso de despacho y mejorar considerablemente lo que sería el objeto de estudio de esta investigación, el servicio al cliente.

CAPÍTULO VII.
ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO

El siguiente capítulo se plantea como un adicional a esta investigación, en vista de que el problema del ruteo no fue considerado. Es por esta razón que se propone construir y analizar nuevas estructuras para el modelo inicial. En ese sentido, la elaboración de dos (2) funciones de desempeño nuevas, las cuales generan a este trabajo un soporte y aplicación de la visión al considerar otras estrategias de asignación de costos por despachos diferente a la inicial, la cual hace parte del modelo original del caso de estudio.

En virtud de lo anterior, se estructura el modelo como soporte en la validación de otras estrategias para las empresas, argumentando cómo se podría optimizar los despachos y reducir costos de transporte o, en un caso alterno, llegar a replantear la forma de cobro por despacho que se tenga pactada con el proveedor logístico.

1. Función de desempeño propuesta para el cálculo del parámetro de costo por zona

$$MIN \sum_{z=1}^{ZON} \sum_{d=1}^{DIA} \sum_{o=1}^{ORD} BDOR_{zdo} * cos_{zdo} + \sum_{p=1}^{PRO} \sum_{b=1}^{CLI} \sum_{d=1}^{DIA} (BK2_{fpzbd} * CBK_{p,b})$$

Para este caso, el modelo lo que busca es optimizar el costo de los despachos a las diferentes zonas, pero realizando un cálculo particular y para el cual el asigna el costo a pagar con base en un porcentaje determinado por las demandas y costos promedios ya preestablecidos por la empresa. Lo cual le permitirá pagar y optimizar el pago solo como una proporción de un todo y pagar solamente por lo que se alcance a despachar.

Para esta propuesta, el modelo calcula el costo por zona visitada independiente de los clientes que se encuentren en ella, pero conservando la priorización, los costos que están asociados a cada zona y los backorders o pendientes que se tengan para cada cliente.

Por otra parte, es importante resaltar que los costos asociados a esta nueva propuesta no pueden ser los mismos del modelo inicial, puesto que es injusto para el transportador pagarle una

suma igual a la primera pero visitando más clientes en un mismo viaje. Es por esta razón que se plantea una posible forma de cálculo de este parámetro, la cual se presenta a continuación:

Función de desempeño para el cálculo del parámetro de costos por zonas se puede calcular el parámetro de costo por zona teniendo en cuenta lo siguiente:

Si se cuenta con N clientes en total en cada zona, y el valor por cada zona se mantienen constantes como en la función de desempeño del primer modelo, se podría decir que una forma óptima y justa para pagar un despacho por zona visitada seria:

$$cos_z = \frac{Valor\ min.pagar\ por\ depac.a\ la\ zona\ z + Valor\ max.pagar\ por\ despc.a\ la\ zona\ z}{2}$$

Para el caso de estudio, el costo por despacho a cada zona seria (Ver tabla 11)

ZONA	TOTAL CLIENTES	MIN. VALOR PAGO POR VIAJE	MAX. VALOR POR VIAJES	**VALOR MEDIO ENTRE MIN – MAX COSTO POR DESPACHO A ZONA**
Z1	4	$ 7.500	$ 30.000	**$ 18.750**
Z2	4	$ 12.500	$ 50.000	**$ 31.250**
Z3	4	$ 15.000	$ 60.000	**$ 37.500**

Tabla 11. Costo por despacho a cada zona.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Si se cuenta que cada zona cuenta con 4 clientes en total, el costo mínimo a pagar por despachar a un solo cliente está dado en la columna 3. El costo máximo a pagar por despachar a los 4 clientes en total de la zona está dado por la columna 4. Si se toma el valor medio entre estos dos limites, encontraríamos un valor justo a pagar por despacho a cada zona. Cabe aclarar, que este valor está determinado por la cantidad de clientes que exista en cada zona para así, tener un valor equitativo y justo.

Teniendo estos parámetros calculados, los datos obtenidos en la simulación se podrían interpretar de la siguiente forma:

Al igual que el modelo 1, en esta instancia donde el costo del backorder es bajo, se puede observar que el modelo responde con unos faltantes para cada uno de los clientes altos en cada uno de los días del horizonte de tiempo. Esta situación es similar para los productos 2 y 3. (Ver tabla 12).

BACKORDER (DÍA TRAS DÍA) PRODUCTO UNO						
	CLIENTE (b)					
DÍA(d)	1	2	3	4	5	6
1	32	33	43	34	33	30
2	45	47	70	49	47	45
3	0	0	0	0	62	62
4	15	21	11	22	83	85
5	36	43	54	45	105	98
6	58	66	86	69	128	125
7	81	90	96	94	152	158

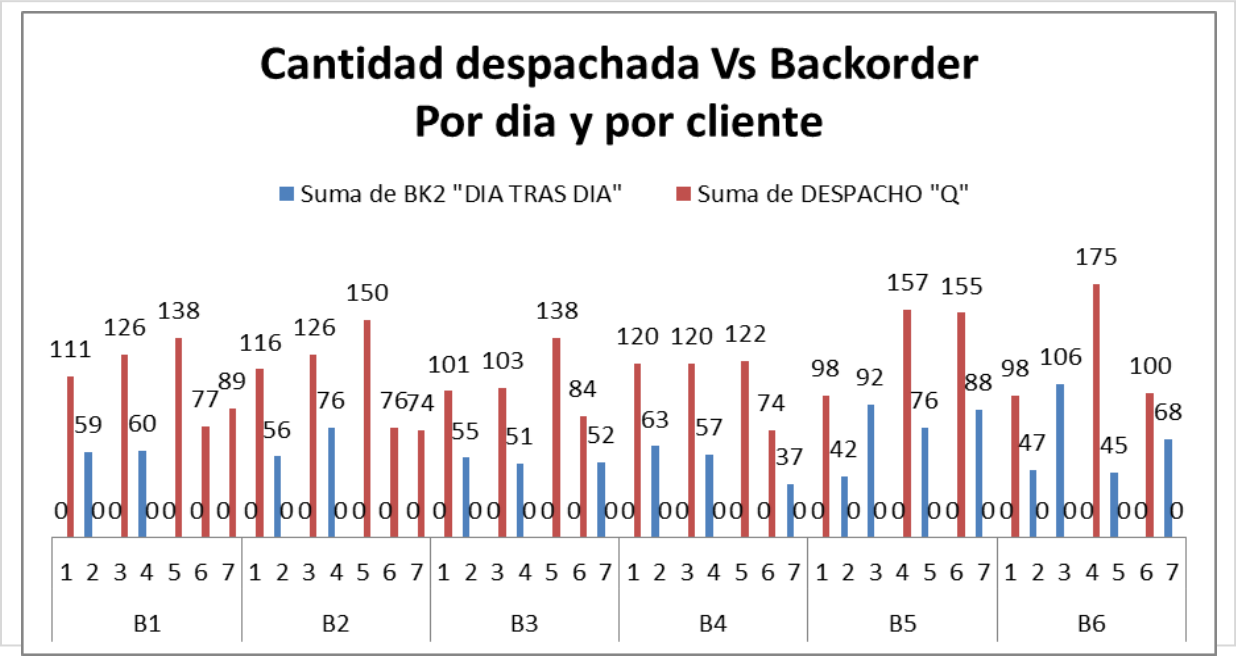
Tabla 12. Backorder del producto 1 para todos los clientes (b) en los días (d)
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Por otro lado, analizando la variable "Q" o cantidad despachada, se puede observar que solamente despacha producto a las zonas 1 y 2 en un mismo día, esto debido a que por el bajo valor de la penalización es más barato asumir el costo por backorder en algunos días que asumir un costo de despacho a la zona más lejana la cual es la 3. (Ver Tabla 13)

CANTIDAD DESPACHADA						
	CLIENTE (b)					
PRODUCTO (p)	1	2	3	4	5	6
1	59	62	82	70	0	0
2	78	86	83	89	0	0
3	100	94	39	81	0	0

Tabla 13. Cantidad despachada al cliente 1 al 6 (b1 – b6) de los productos 1 2 3 (p1, p2, p3) en los dias (d) y en cada orden (despacho "o")
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Si se incrementa la penalización por despacho de backorders en un 50%, como se hizo en el modelo uno, que sería una situación más real, se tendrían los siguientes resultados. (Ver Fig. 23)



Cantidad despachada vs backorder por día y por cliente.

Figura 23 Cantidad despachada vs backorder por día y por cliente.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Estos resultados nos muestran que el modelo despacha cantidades razonables y conserva unos valores de backorder bajos.

Lo relevante a analizar en esta propuesta radica en los costos de despacho y costos de backorder. Es importante aclarar que los cálculos de estos parámetros, costos de despacho, para cada una de las tres (3) instancias propuestas, están relacionadas entre sí.

Para este caso, los costos de despacho por zona han sido calculados teniendo como referencia inicial los costos por despacho a cada cliente en cada zona (datos modelo uno). Lo cual se explicó con anterioridad antes de entrar en el análisis de resultados.

Si se habla de comparar los resultados del modelo dos podemos destacar que los costos por backorder de la instancia uno y dos varían considerablemente; principalmente se tendría una reducción de costos de backorder cuando se despachase mercancía teniendo en cuenta solamente la zona que se visita; esto debido a que es posible entregar más producto ya que solo se está pagando la visita a la zona independiente de los clientes que la conformen, por lo que así, se logra optimizar los despachos y generar bajos backorders y como consecuencia, disminuir su

costo. Esto a diferencia de lo que pasa cuando se asumen costos por cliente visitado y la zona en la que se encuentra.

A continuación se presentan los resultados de ambos modelos: (Ver tabla 14).

MODELO 1		MODELO 2	
DÍA	**COSTO**	**DÍA**	**COSTO**
1	$ -	1	$4.170
2	$16.100	2	$1.150
3	$9.900	3	$2.140
4	$12.200	4	$3.790
5	$6.050	5	$1.520
6	$ -	6	$2.870
7	$4.000	7	$4.140
TOTAL	**$58.250**	**TOTAL**	**$19.780**

Tabla 14. Tabla comparativa de costos de backorder entre los modelos 1 y 2
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Con relación a los costos total de despacho, se puede observar que se incrementaron pero en una proporción muy baja, y no muy representativa si se tiene en cuenta todo lo que se gana en una variable importante y la cual es objeto de estudio implícitamente y es la satisfacción del cliente. (Ver tabla 15).

MODELO 1		MODELO 2	
COSTO X DESPACHO		**COSTO X DESPACHO**	
DÍA	**VALOR**	**DÍA**	**VALOR**
1	$35.000	1	$11.250
2	$ -	2	$41.250
3	$20.000	3	$18.750
4	$15.000	4	$11.250
5	$20.000	5	$18.750
6	$35.000	6	$33.750
7	$7.500	7	$18.750
TOTAL	**$132.500**	**TOTAL**	**$153.750**

Tabla 15 .Comparación de costos por despacho entre los modelos 1 y 2
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

2. Función de desempeño propuesta para el cálculo del parámetro de costo por orden

Teniendo en cuenta la siguiente función objetivo se puede decir que los resultados arrojados por la simulación se pueden interpretan de la siguiente forma:

$$MIN \sum_{d=1}^{DIA} \sum_{o=1}^{ORD} BDO_{do} * costdo_{do} + \sum_{p=1}^{PRO} \sum_{b=1}^{CLI} \sum_{d=1}^{DIA} (BK2_{fpzbd} * CBK_{p,b})$$

Para esta instancia se tienen una función en la cual el costo está asociado solamente a las órdenes que se despachen a cualquier zona.

Por otra parte, los costos asociados a esta nueva propuesta no pueden ser los mismos del modelo inicial y del segundo. Es por esta razón, que se plantea una posible forma de cálculo de este parámetro, la cual se presenta a continuación:

Para esta nueva propuesta se debe tener en cuenta el siguiente análisis:

Teniendo como referencia los valores de la las anteriores funciones de desempeño para cálculo de parámetros por cliente visitado y por zonas, se cuenta con un método de asignación de costos por orden o despacho. Este consiste en la aplicación de las siguientes formulas:

$$COSTO\ DIA_n = Ord.\ prom.despa.\ en\ dia_n\ a\ la\ zona_z\ x\ costo\ prom.desp\ a\ la\ zona_z$$
$$;\forall z \in ZONA,\ \text{n} = \text{Horizonte de tiempo};$$

$$COSTXDESP_o = \frac{\sum_1^N COSTO\ DIA_n}{TOTAL\ ZONAS}$$

Para el caso de estudio, considerando 3 zonas, un horizonte de tiempo de 7 días y unos costos promedio por despacho a la zona, calculados en el modelo anterior, se tendría como resultado. (Ver tabla 16).

DÍA	ZONA	ORDENES DESPACHAS EN PROMEDIO A CADA ZONA POR DÍA	COSTO	COSTO PROMEDIO POR ORDEN EN EL DÍA
1	1	6	$112.500	$175.000
1	2	6	$187.500	
1	3	6	$225.000	
2	1	1	$18.750	$29.167
2	2	1	$31.250	
2	3	1	$37.500	
3	1	6	$112.500	$112.500
3	2	6	$187.500	
3	3	1	$37.500	
4	1	1	$18.750	$91.667
4	2	1	$31.250	
4	3	6	$225.000	
5	1	6	$112.500	$112.500
5	2	6	$187.500	
5	3	1	$37.500	
6	1	6	$112.500	$175.000
6	2	6	$187.500	
6	3	6	$225.000	
7	1	6	$112.500	$60.417
7	2	1	$31.250	
7	3	1	$37.500	

Tabla 16. Tabla de costo promedio por despacho dependiendo de la zona, día y capacidad de orden

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

En resume se tendrán los siguientes resultados para los despachos por órdenes. (Ver tabla 17)

DÍA	COSTO PROMEDIO POR ORDEN EN EL DÍA
1	$175.000
2	$29.167
3	$112.500
4	$91.667
5	$112.500
6	$175.000
7	$60.417

Tabla 17 Costo promedio por orden en el día
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Para la estrategia de cobro, es preciso aclarar que solamente se estaría pagando por orden sin importar el número de clientes que se visiten, sin embargo los costos son calculados teniendo en cuenta las órdenes promedio por día y por zona de acuerdo a datos históricos; obteniendo así, valores ponderados de las órdenes. Del mismo modo, esta cantidad de despachos que se hacen en promedio a una zona y en un día específico permite visualizar y calcular un valor aproximado el cual se pagaría, puesto que en días específicos se visitan unas zonas más que otras.

Para resumir al respecto, el costo de cualquier orden en un día específico sería el mismo debido a cálculos anteriores de acuerdo al número de zonas más visitadas y la cantidad de órdenes que se despachan en ese día específico.

Teniendo estos parámetros calculados, los datos obtenidos en la simulación se podrían interpretar de la siguiente forma:

Al igual que el modelo 1 y 2, al incluir un valor de backorder alto, se puede observar que el modelo responde con unos faltantes considerablemente bajos para sus clientes. Además, no se cuenta con pendientes en algunos días, por lo que se puede deducir que se entregaron todas las cantidades demandadas cumpliendo a satisfacción del cliente.

Como se puede observar, solo se generó backorder en los días 1, 3 y 6 con magnitudes muy bajas. (Ver tabla 18)

BACKORDER (DÍA TRAS DIA) PRODUCTO UNO						
	CLIENTE (b)					
DÍA(d)	1	2	3	4	5	6
1	32	33	43	34	33	30
3	14	15	12	21	15	17
6	22	23	32	24	23	27

BACKORDER (DÍA TRAS DIA) PRODUCTO DOS						
	CLIENTE (b)					
DÍA(d)	1	2	3	4	5	6
1	35	41	34	42	43	45
3	22	23	26	24	25	34
6	25	31	18	32	33	17

BACKORDER (DÍA TRAS DÍA) PRODUCTO TRES						
	CLIENTE (b)					
DÍA(d)	1	2	3	4	5	6
1	44	42	24	44	22	23
3	31	32	10	12	10	8
4	0	0	0	0	0	0
6	30	22	34	18	23	11

Tabla 18: Backorder para los tres productos, para todo cliente y todos los días
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Con relación a las cantidades despachadas se puede notar que optimiza los despachos enviando cantidades muy grandes de cada producto en los días en los que el costo por orden es más bajo, es decir los días 2, 4, 5 y 7. (Ver tabla 19).

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO TRES			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	2	5
2	0	0	69
4	53	0	0
5	0	0	33
7	0	65	0

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO DOS			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	2	5
2	0	0	56
4	45	0	0
5	0	0	24
7	0	56	0

CANTIDAD DESPACHADA - PRODUCTO UNO			
	ORDEN (o)		
DÍA (d)	1	2	5
2	0	0	45
4	29	0	0
5	0	0	21
7	0	45	0

Tabla 19: Cantidades despachadas para el cliente 1
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Por otra parte, se puede observar que los costos de los backorders de la propuesta 3 son muy bajos en comparación con el modelo 2, pues se despacharán cantidades más grandes en cada orden por día, dejando cantidades pendientes por despacho muy bajas en comparación a las obtenidas en el modelo 2. Mejorando en éste escenario el servicio al cliente. (Ver tabla 20)

MODELO 2		MODELO 3	
DÍA	**COSTO**	**DÍA**	**COSTO**
1	$4.170	1	$6.440
2	$1.150	2	$ -
3	$2.140	3	$3.510
4	$3.790	4	$ -
5	$1.520	5	$ -
6	$2.870	6	$4.450
7	$4.140	7	$ -
TOTAL	**$19.780**	**TOTAL**	**$14.400**

Tabla 20: Comparación costos de backorder entre modelo 2 y 3

Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

En la tabla 21, referente a los costos de backorder de las propuestas modelos 2 y 3, adicional a esto comparando los costos por despacho, para esta instancia se obtiene un costo tal por despacho en el horizonte de tiempo mucho más alto que en el despacho por zonas. Este cambio, o incremento en casi un 200% del valor se debe a la variación en los valores por orden dependiendo del día. A pesar de que los valores para cada día son diferentes y proporcionalmente bajos, no deja de afectar al costo de despacho de una forma considerable.

Es necesario aclara que si se tiene una orientación al cliente, y la satisfacción del mismo es una prioridad, a la empresa le será una estrategia más favorable incrementar sus costo de transporte por calidad del servicio. Adicional a esto, en algunas oportunidades la empresa perderá cuando se trate de despachos a varios clientes cercanos en una misma orden en los días donde el costo es bajo, sin embargo, el trasportador se verá afectado cuando se deba despachar alguna orden a las zonas más lejanas en los días más costosos. (Ver tabla 21)

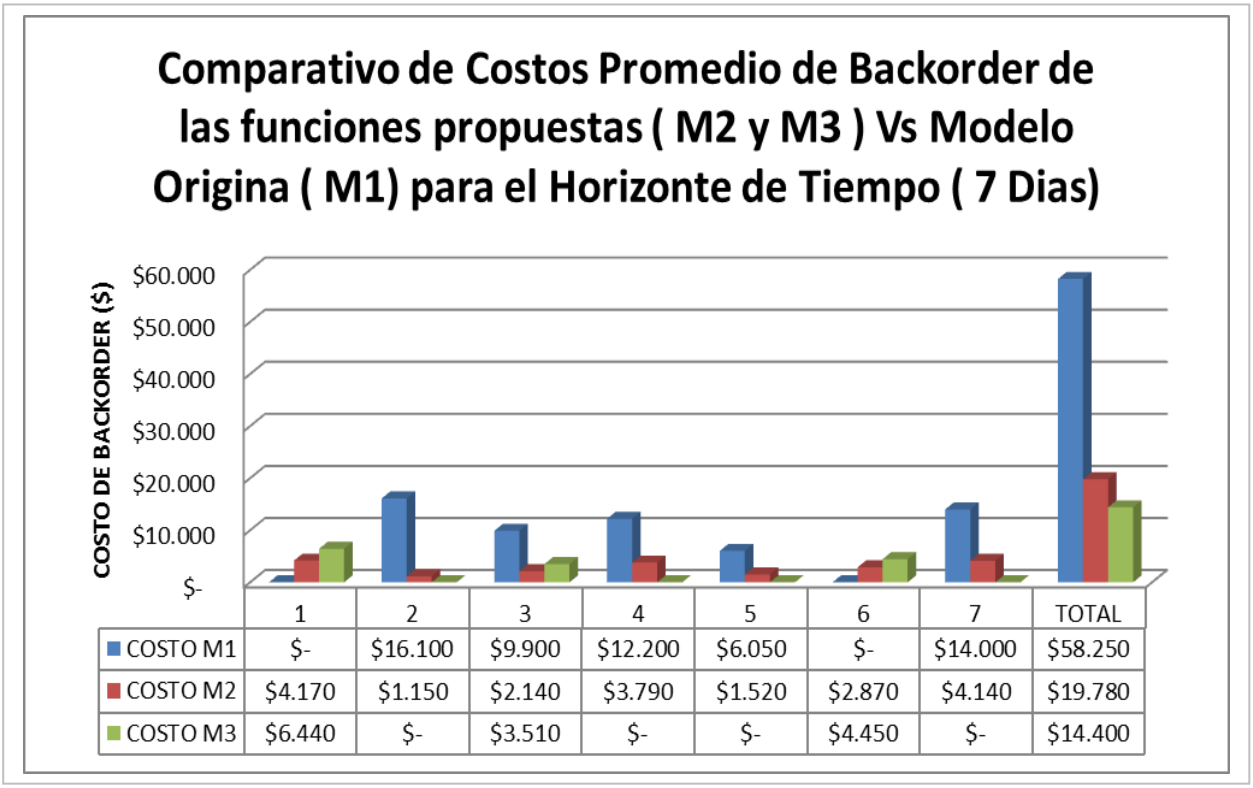
MODELO 2		MODELO 3	
COSTO X DESPACHO		COSTO X DESPACHO	
DÍA	VALOR	DÍA	VALOR
1	$11.250	1	$ -
2	$41.250	2	$29.167
3	$18.750	3	$ -
4	$11.250	4	$91.667
5	$18.750	5	$112.500
6	$33.750	6	$ -
7	$18.750	7	$60.417
TOTAL	**$153.750**	**TOTAL**	**$293.751**

Tabla 21. Comparación entre costos por despacho de las propuestas de los modelos 2 y 3.
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

7.1. COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO ORIGINAL Y LOS MODELOS PROPUESTOS.

Después de simular el modelo original y los modelos 2 y 3 que son las propuestas de mejora para los cobros por despacho, se puede obtener como resultados finales lo siguiente:

Dentro de las dos propuestas de mejora, la mejor opción que se podría considerar para efectos de reducción de costo por backorder, o cobros generados por entregas parciales es el modelo 3. Partiendo de que el modelo con el que cuenta la empresa para cobro de despachos causados por entregas parciales o ventas sin existencia para este caso de estudio es inapropiado; las dos opciones aquí planteadas son buenas alternativas a considerar dependiendo de las prioridades e ingresos de la empresa. (Ver Figs. 24)

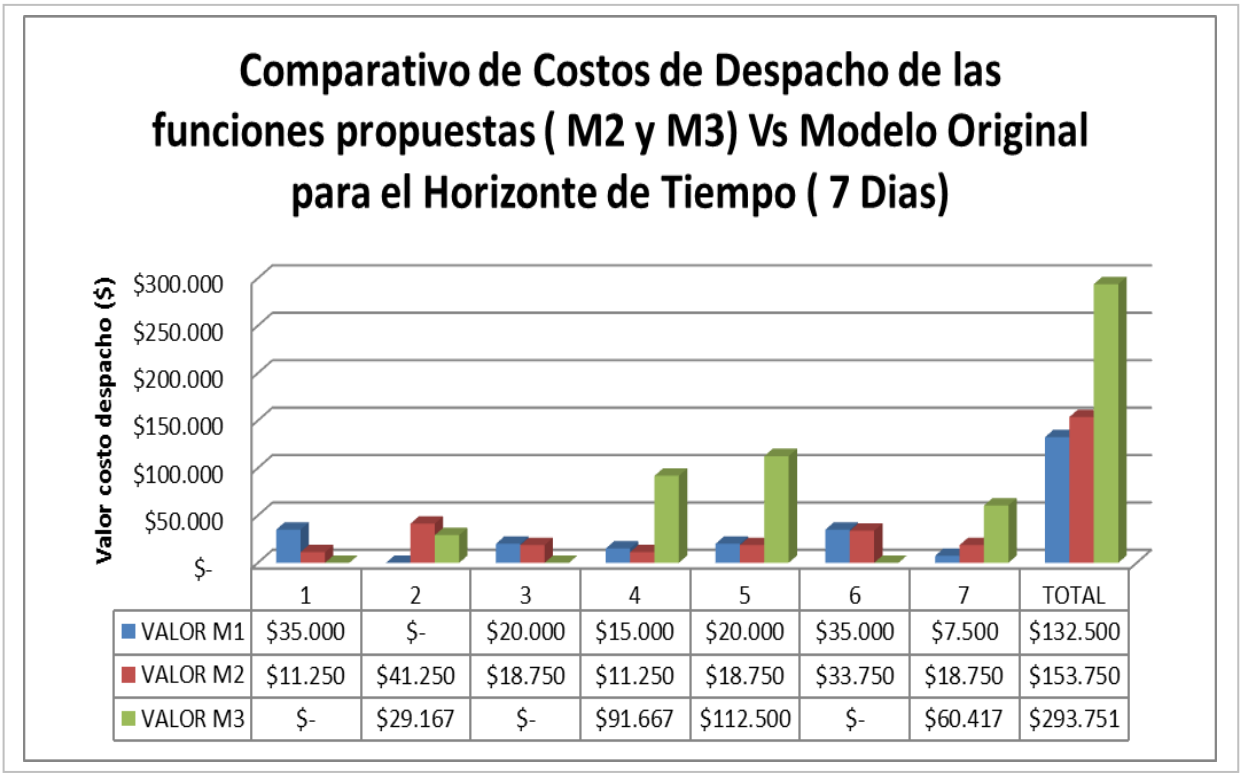


	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
COSTO M1	$-	$16.100	$9.900	$12.200	$6.050	$-	$14.000	$58.250
COSTO M2	$4.170	$1.150	$2.140	$3.790	$1.520	$2.870	$4.140	$19.780
COSTO M3	$6.440	$-	$3.510	$-	$-	$4.450	$-	$14.400

Figura 24. Comparativo de costos promedio de Backorder funciones (M2 Y M3) Vs Modelo original (M1) para el horizonte de tiempo (7 días).
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

Los costos por despacho para los tres (3) productos, en el modelo original y la propuesta dos no varían significativamente, usando un parámetro calculado de la forma como se determinó anteriormente. Es posible que implementando otro tipo de estimación de este parámetro y teniendo un valor más acertado, los costos por despacho se puedan reducir un poco logrando hacer la diferencia. Por otra parte, los costos por despacho cuando solamente se distribuye por medio de órdenes, nos muestran unos resultados elevados.

En virtud de todo lo expuesto y como consecuencia del cálculo del parámetro de costo que se presentó, para el cual aplicaría la misma premisa: Que para el modelo 2; si se logrará encontrar una forma diferente de calcular este valor, tal vez se lograría una disminución en este costo, pero esto se plantea como parte de unos estudios posteriores; así como otras posibles estrategias de costeo de despachos y variables que intervienen en este proceso. (Ver Fig. 25)



	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
VALOR M1	$35.000	$-	$20.000	$15.000	$20.000	$35.000	$7.500	$132.500
VALOR M2	$11.250	$41.250	$18.750	$11.250	$18.750	$33.750	$18.750	$153.750
VALOR M3	$-	$29.167	$-	$91.667	$112.500	$-	$60.417	$293.751

Figura 25. Comparativo de costos de despacho de funciones propuestas (M2 y M3) Vs Modelo original para el horizonte de tiempo (7 días)
Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2013

CONCLUSIONES

El estudio permite concluir los siguientes puntos de acuerdo con los objetivos planteados y dando respuesta a la formulación del problema.

- Con relación al objetivo específico número uno, se puede concluir que la caracterización del problema, siendo enfático en el proceso de entrega de pedidos por zonas y contemplando entregas parciales, ayuda a tener un mejor entendimiento de los factores relevantes que afectan este proceso, pero además sesgar el problema de estudio a condiciones que verdaderamente son principales y que a su vez evitan que se pierda el propósito y orientación de esta investigación. Por otra parte, fue de gran ayuda e imprescindible para este proyecto contar con una empresa la cual sirvió como objeto de estudio donde se obtuvo valiosa información, que de no contar con ella, la realización de este trabajo no hubiera sido posible.

- Con relación al segundo objetivo específico, se puede deducir que tomando como referencia el modelo base Bravo, et al (2007), y analizando sus indicadores (en este caso los criterios c.u. -criterio cobertura en unidades-, c.d. –criterio cobertura en días-, t.f. -criterio tamaño del faltante-, y t.p. -criterio tamaño del pedido) con los planteados: zonificación y entregas parciales, se pudo comprobar que el tener varios indicadores que afectan directamente a los clientes y su satisfacción, también deben estar asociados a indicadores netamente financieros o de análisis de costos. Por lo cual, en el modelo propuesto se pudo observar las diferentes variaciones que se tendrían en aspectos financieros, si se contempla la posibilidad de asociar costos a los despachos por falta de inventario. El modelo inicial deja en evidencia la mala gestión de algunas empresas ante sus métodos de costeo en temas de despacho de mercancía; al ver esta situación, se puede percibir que la falta de producto disponible principalmente afecta la satisfacción del cliente y los costos de la empresa, por lo cual está íntimamente relacionado con los indicadores propuestos en el modelo base.

- Es importante destacar también, que el objetivo primordial de los indicadores en el modelo base Bravo y Orejuela (2007), se centra en la cobertura de las necesidades prioritarias, es decir, lograr que aquellos clientes definidos como estratégicos para la organización tengan los mejores niveles de servicio. Objetivo que también comparten los modelos propuestos para el mejoramiento de cobro de transporte que se desarrolló en esta investigación, permitiendo mejorar la calidad de servicio teniendo en cuenta un factor de zonificación donde se encuentre el cliente. Esto se pudo validar con los modelos propuestos donde al reducir los backorders , se podría pensar que la calidad del servicio mejora.

- Está claro también que, el nivel de servicio en cualquier empresa debe ser alto sin comprometer las operaciones de la misma; pero en vista de las limitaciones de recursos, es necesario definir prioridades. En este sentido, se pretende que los despachos se realicen a la luz de unos "buenos" indicadores que favorezcan la competitividad del transporte y la satisfacción del cliente. Por esta razón, es justificable afirmar que en un futuro de deben estudiar los indicadores en conjunto para lograr un modelo más competitivo y eficaz y así lograr acercarse a un contexto más real de una organización.

- Del modelo matemático planteado se puede inferir que, a pesar de sus limitantes debido a los supuestos que se asumieron, se realizó una buena aproximación del caso de estudio, obteniendo resultados muy cercanos a la realidad y al contexto de la empresa que se tomó como ejemplo, permitiendo encontrar unos resultados óptimos para describir un análisis claro y concreto.

- El lenguaje de programación utilizado (AMPL) ayudó a que el modelo matemático contara con una estructura consistente y fácil nivel de comprensión para cualquier usuario, permitiendo también realizar variaciones y análisis de sensibilidad muy acertados.

- Con relación al cuarto objetivo específico se logró una buena representación del caso de

estudio donde se especifica seis (6) bodegas y sus respectivos clientes ubicados en diferentes sectores, con el fin de planificar su prioridad en cuanto al despacho de sus productos y teniendo bajo consideración que se pueden presentar entregas parciales por falta de inventario o ventas sin existencia. Además de validar su prioridad por ubicación geográfica y el costo asociado a esta.

- Con relación a los resultados se puede argumentar, que se realizan más despachos en la zona uno, comparando con lo que se presenta en el contexto actual. Los clientes en la zona uno son los más cercanos al centro de distribución o almacén, por ello su atención debería ser más rápida por la cercanía entre los dos puntos. También, debido al bajo costo del despacho hacia esta zona siempre se realizarán más entregas a estos clientes.

- En situaciones reales, mientras más alta sea la penalización o costo por incurrir en despachos extras, se procurará maximizar el tiempo, efectuando la mayor cantidad de entregas posibles en el horizonte de tiempo que se proyecte, a pesar de que esto implique incrementar costos por transporte. Se ha comprobado con estudios anteriormente mencionados, que se obtiene una clara satisfacción del cliente.

- Teniendo en cuenta los resultados, específicamente observando los gráficos de comparación de los tres modelos, se resalta que de las dos funciones de desempeño propuestas, mejoran considerablemente los costos en backorder del modelo original disminuyendo este valor en más del 50%, sin embargo, la función de desempeño número dos, mostro un mejor valor. Por otra parte, para los costos por despacho, a pesar de que las dos funciones tiene un valor superior a el valor del modelo original, ambas funciones ofrecen un costo con un incremento estrechamente bajo en comparación con las ventajas que se tendría por costos de faltantes y la satisfacción del cliente que se lograría en los dos casos propuestos.

- Para las empresas y en situaciones reales siempre se tratará de acumular más producto para entregar de las zonas más alejadas del centro de distribución; esto con el fin de

realizar pocos o los despachos necesarios, puesto que por lo general, el costo de transporte a estas zonas son los más altos y los que consumen más tiempo.

- Contando con un caso de estudio específico, permitió reflejar y visualizar comportamientos reales que maneja la empresa actual con los resultados obtenidos de la simulación en diferentes escenarios propuestos, por ello es importante recalcar que, podría aplicarse en cualquier empresa que deseara adoptar un modelo de despacho más cualitativo antes que cuantitativo.

- En esta investigación se pudo identificar diferentes alternativas de evaluación de costos de despacho haciendo énfasis especialmente es aspectos importantes como los son las entregas parciales y la zonificación que se podrían implementar en casos reales y la cuales traerían gran beneficio para cualquier superficie tanto en términos monetarios como en satisfacción de sus clientes.

- Lo que se plantea en esta investigación es que el esquema actual de pagos, de cierta manera, a pesar de que se reconoce que hay una dificultad en términos de ruteo, ya que con este no se cuenta porque no hay un costo asociado a una ruta optima, el sistema actual de pagos desconoce, que aunque se despache a un cliente, y realizando otros despachos después de este, lo que se le debería pagar por flete debería ser una valor marginal por ese tiempo, debido a que ya se le ha efectuado un cobro casi que por más del 50% del recorrido.

- Es primordial reiterar que este modelo prioriza los despachos, pero no define cuál de los clientes se debe visitar primero, por lo tanto, al no definir esto, el esquema de costo por despacho no sería el correcto, es por esto que se plantea el hecho de reducir el problema, trazando alternativas de simplificación en los costos, y que el modelo sea una propuesta de mejoramiento al esquema de despachos actual, definiendo inicialmente a quien se

debe despachar primero pero también considerando diferentes alternativas de cobro por despacho como lo son el cobro por zona y por orden.

- Dentro del análisis de costos, tomando como referencia la alternativa de cobro por zonas, la empresa en algunos casos perderá dinero cuando se entregue a la zona más cercana, pero en otras ocasiones perderá la empresa de transporte cuando tenga muchos despachos dentro de esa misma zona, pero se le está reconociendo un valor superior a un valor promedio que justifique el desplazamiento dentro del mismo sector.

- Se presentó un análisis de criterios para el caso de un varios productos en diferentes familias de productos, considerando envíos completos (todo el pedido de una bodega se le envía en una orden). Estos resultados obtenidos plantean la necesidad de estudiar el caso multi-producto con otros parámetros enfocados al ruteo y la validación de rutas óptimas, además de la inclusión de parámetros de costos como los que se estudiaron en este trabajo.

- Los resultados obtenidos en el proyecto permiten afirmar que la planificación gerencial incluye no sólo la relación de sinergia entre los indicadores propuestos matemáticos, sino la inclusión de los limitantes de recursos encontrados en toda la cadena de abastecimiento, donde una decisión de priorización de despacho debe contener cada uno de estos aspectos y cómo a partir de estos, se deben desarrollar estrategias que aumenten el nivel de servicio a los clientes finales aún más.

- La integración en la cadena de abastecimiento desde la planta de fabricación hasta el cliente final resulta ser de gran importancia tanto en los aspectos logísticos, de producción, financieros y de mercadeo. De esta premisa parte el desarrollo oportuno de las decisiones que deben tomar las jefaturas dentro de la organización en cada uno de estos aspectos, por tal razón, se busca ser oportuno y eficiente con el manejo de los recursos tanto materiales como humanos y así, encontrar la forma de prestar un mejor nivel de servicio a los clientes y a cada uno de los eslabones de la cadena, logrando una estrategia gana-gana entre empresa-cliente-proveedor.

- Se desarrolló una metodología que involucra a los eslabones de la cadena de abastecimiento para el caso multi-producto, y su relación con el costo asociado al despacho de producto por zona y por entregas parciales en donde se propone alternativas de mejora a seguir en el comportamiento dinámico de los despachos de los vehículos. Alternativas que tratan de buscar a diario en las decisiones gerenciales de priorización de despacho. En este sentido se puede aclarar que la planificación gerencial debe involucrar no solo la complementariedad de los indicadores sino tener en cuenta cada uno de los limitantes que se encuentran en el diario de una organización para atender a los clientes y así, permitir desarrollar estrategias que le permitan aumentar o permanecer con un nivel de servicio óptimo ante sus clientes y conservar un equilibrio en sus finanzas.

- La metodología propuesta involucra varios de los aspectos logísticos y de planeación con los que a diario las compañías se encuentran en su determinación de atención a los clientes de acuerdo a su nivel de importancia. Por esta razón, constituye un importante estudio en cuanto a demostrar que la gestión de despacho en las organizaciones constituyen uno de los más complejas decisiones y cómo dichas decisiones involucran varios aspectos donde cada uno de ellos es complementario con otros, convirtiéndose así en decisiones multi-criterio y no de un decisión de un solo criterio como lo gestionan las mayorías de las compañías en la actualidad.

- En los procesos de planificación de despachos desde un centro de distribución a "n" bodegas o clientes, se encontró que ante limitaciones de ruteo y reconociendo esa falencia, es pertinente priorizar con base en los parámetros de costo por zonas, priorización de clientes por zona y pedidos pendientes previamente establecidos y analizar su relación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se tome como guía este modelo para realizar los cambios respectivos en el ruteo de vehículos de las zonas respectivas, estudiando la posibilidad de realizar una mejor propuesta.

- En este sentido de sugiere realizar un estudio posterior donde se considere en un solo modelo el análisis de los indicadores propuestos por Bravo y Orejuela (2007) y los propuestos en esta investigación, todo con el objetivo de tener una mejor percepción del caso de estudio y contar con un escenario que se ajuste en un 100% a la realidad.

- Es importante plantear nuevas formas de cálculo de los costos de transporte por zonas y por orden que se planearon en las funciones de desempeño propuestas, puesto que ayudaría a tener una margen más amplio de opciones , y de las cuales la empresa podría adaptarse según sus recursos o prioridades ante esta área.

- Se sugiere seguir este modelo bajo consideraciones de ruteo óptimo y a su vez considerando indicadores de desempeño cuantitativos y cualitativos y costos de transporte.

- La realización del presente estudio contribuye a una forma de aplicación de un modelo matemático que articula la situación real de una empresa en la dinámica de despachos de vehículos, por ello se debe retomar esta investigación y realizar más estudios con el fin de ampliar los conceptos para generar nuevos cálculos matemáticos y coadyuvar en una exitosa toma de decisiones a nivel gerencial.

REFERENCIAS

Aladi. (2003). *Incidencia del sistema de distribución física utilizado en la región en la competitividad de las exportaciones de los países y sobre los emprendimientos para desarrollar la infraestructura física regional*. Uruguay.

Alvear, J. (2007*). Desarrollo del transporte en Colombia*. Colombia: Ministerio del transporte.

Arora, S. (1998). Polynomial Time Approximation Schemes For Euclidian Traveling Salesman And Other Geometric Problems. *Journal of the ACM*, 45 (5), 753 – 782.

Ballou, R. (1999). *Business logistics management* (4th ed). New jersey: Prentice-Hall.

Ballou, R. (2003). *Business Logistics/ Supply Chain Management*. New Jersey: Prentice Hall, College Division.

Beltrami, E. & Bodin, L. (1974) Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks,;* 4 (1), 65-94.

Bravo, J. J., Osorio, J. C., y Orejuela J. P. (2007). Administración De Recursos De Distribución: Indicadores Para La Priorización En Transporte. *Estudios Gerenciales 123*, 101-118

Bravo, J. J., Osorio J. C., y Orejuela, J. P. Priorización Dinámica de Despachos de Vehículos utilizando AHP. Documento de trabajo. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística. Universidad del Valle; 2009.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B,. (2002) *Supply Chain: Logistics Management.* New York.: McGraw-Hill.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B,. (2007) *Supply Chain: Logistics Management* (2nd ed). Boston McGraw-Hill.

Chopra, S., & Meindl, P. (2001). *Supply chain management: Strategy, planning and operation.* New Jersey: Editorial Prentice Hall.

Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración De La Cadena De Suministro Estrategia Planeación Y Operación*(3ra ed). Mexico: Editorial Prentice Hall.

Clarke, G. & Wright J. W. (1964). Scheduling Of Vehicles From A Central Depot To A Number Of Delivery Points. *Operations Research,* 12 (*4*), 568-581.

Dobie, K. (2005) The Core Shipper Concept: A Proactive Strategy For Motor Freight Carriers. *Transportation Journal,* 44 (2), 37-53.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2007). *Documento Conpes 3489*. República de Colombia, Bogotá D.C.: Departamento de Planeación. Política Nacional de Transorte Público Automotor de Carga- Ministerio de Transporte, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Duque, G. (2006). Integracion y progreso para colombia. *Revista eje*, 21 (*23*).

Ebensperger , M, J,. (2009) *Una Formulación para el problema del ruteo de vehículos con tiempos de viaje dependientes del tiempo para la actualización de rutas con información en tiempo real*. Santiago de Chile. Chile: Trabajo de Maestría en ciencia de la Ingeniería- Pontificia Universidad Católica de Chile.

Fisher, M., & Jaikumar, R.. (1981). A Generalized Assignment Heuristic For The Vehicle Routing Problem. *Networks,* 11, 109–124.

Gaskell, T. (1967). Bases For Vehicle Fleet Scheduling. *Operational Research Quarterly*, 18, 281 -295.

Goetschalckx, M,. (1988). A Decision Support System For Dynamic Truck Dispatching. *International Journal of Physical Distribution & Material Management*, 18 (6), 34 -42.

Golden, B. L., Wasil, E. A., Kelly, & J. P., Chao, I, M,. (1998). *Fleet management and logistics:* Metaheuristics in vehicle Routing. Boston: Kluwe academic.

Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to operations research* (8th ed). McGraw-Hill.

Holweg, M. (2005) An Investigation Into Supplier Responsiveness: Empirical Evidence From The Automotive Industry. *The International Journal of Logistics Management*, 16(*1*), 96-119.

Ichoua, S., Gendreau, M., & Potvin, J. (2000) Diversión Issues In Real-Time Vehicle Dispatching. *Transportation Science*, 34(*4*), 426-438.

Innis, D., & La Londe B,. (1994). Customer Service: The Key To Customer Satisfaction, Customer Loyalty, And Market Share. *Journal of Business Logistics*, 15, 1-27.

Johnson, D. S., McGeoch, L. A., & Rothberg, E. E. (1996). *Asymptotic experimental analysis for the Held-Karp traveling salesman bound.* Proceedings of the Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms.

Li, Z., Guo, S. Wang, F. & Lim, A. (2004). Improved GRASP with Tabu Search for Vehicle Routing with Both Time Window and Limited Number of Vehicles. *17th IEA/AIE*, 552-561.

Lopez, G. (2009). *Metodología para la priorización dinámica de despacho un producto*

mediante AHP. Cali, Colombia: Universidad del valle, Escuela de ingenieira Industrial.

M. Holder. "An investigation into supplier responsiveness: Empirical evidence from the automotive Industry". The International Journal of Logistics Management. Vol. 16. 2005; pp. 96-119.

Miller, C., Tucker A., & Zemlin R. (1960). Integer Programming Formulation Of Traveling Salesman Problems. *Journal of the ACM,* 7,326–329.

Nilsson, C. (2003). *Heuristics for the traveling salesman problem.* Department of Computer Science, Linkoping University.

Osorio, J. C.; Orejuela, J. P. y Bravo, J. J.(2005*). Caracterización y priorización de zonas geográficas de mercado*. Universidad del valle, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística.

Ralphs, T., Hartman, J. & Galati, M. (2001). Capacitated vehicle routing and some related problems. New Jersey: Rutgers University.

Rojas, S., y Cabezas, L. (2010). *Estudio sistémico del sector de transporte terrestre de carga en colombia –caso Servientrega*. Colombia: Universidad del Rosario.

Steuer, R. & Na, P. Multiple criteria decision making combined with finance: A categorized bibliographic study. París: European Journal of operational research, 2003; 150.

Schultz, D. P. (1985). Just-In-Time Systems. *Stores*, 67, 28–31.

Shapiro, J. F. (2004). Challenges Of Strategic Supply Chain Planning And Modelling. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 855 – 861.

Sterling, J. U. & Lambert, D. M. (1989). Customer Service Research: Past, Present And Future. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19 (*2*), 2-23.

Toth, P., Vigo, D. (2000). *An overview of vehicle routing problems*. Siam Monographs on Discrete Mathematics and Applications.

Vargas, L. C., Bravo J. J., Salazar, A. F., y Orejuela J. P. (2010). *Priorización optima de despachos de mercancías con recursos de distribución limitados*. Brazil: XVI International conference on industrial engineering and operations management.

Whitaker, R. Criticisms of the Analytic Hierarchy Process: Why they often make no sense Mathematical and Computer Modelling. Waschinton DC: BBL, 2007.

Yepes, V. (2002). *Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW.* Valencia, España: Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia.

Wilson, R. (2008). *State of logistic report: Surviving the slump*. Annual State of Logistic Report: CSCMP.

Wilson, R. (2009). *State of logistic repor*. Annual State of Logistic Report: CSCMP.

Anexo A.

Datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL PROMEDIO
B1	P1	1	12
B1	P1	2	13
B1	P1	3	14
B1	P1	4	15
B1	P1	5	21
B1	P1	6	22
B1	P1	7	23
B1	P2	1	15
B1	P2	2	21
B1	P2	3	22
B1	P2	4	23
B1	P2	5	24
B1	P2	6	25
B1	P2	7	31
B1	P3	1	24
B1	P3	2	25
B1	P3	3	31
B1	P3	4	22
B1	P3	5	33
B1	P3	6	30
B1	P3	7	35

Tabla 1.Datos demanda real promedio para el cliente 1 (b1) para cada producto en cada día.

Datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL
B2	P1	1	13
B2	P1	2	14
B2	P1	3	15
B2	P1	4	21
B2	P1	5	22
B2	P1	6	23
B2	P1	7	24
B2	P2	1	21
B2	P2	2	22
B2	P2	3	23
B2	P2	4	24
B2	P2	5	25
B2	P2	6	31
B2	P2	7	32
B2	P3	1	22
B2	P3	2	20
B2	P3	3	32
B2	P3	4	31
B2	P3	5	27
B2	P3	6	22
B2	P3	7	18

Tabla 2: Datos demanda real promedio para el cliente 2 (b2) para cada producto en cada dia.

Datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL
B3	P1	1	23
B3	P1	2	27
B3	P1	3	12
B3	P1	4	11
B3	P1	5	43
B3	P1	6	32
B3	P1	7	10
B3	P2	1	14
B3	P2	2	23
B3	P2	3	26
B3	P2	4	27
B3	P2	5	20
B3	P2	6	18
B3	P2	7	15
B3	P3	1	4
B3	P3	2	5
B3	P3	3	10
B3	P3	4	13
B3	P3	5	24
B3	P3	6	34
B3	P3	7	37

Tabla 3 Demanda real promedio para el cliente 3 (b3) para cada producto en cada día.

Datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL
B4	P1	1	14
B4	P1	2	15
B4	P1	3	21
B4	P1	4	22
B4	P1	5	23
B4	P1	6	24
B4	P1	7	25
B4	P2	1	22
B4	P2	2	23
B4	P2	3	24
B4	P2	4	25
B4	P2	5	31
B4	P2	6	32
B4	P2	7	33
B4	P3	1	24
B4	P3	2	25
B4	P3	3	12
B4	P3	4	10
B4	P3	5	11
B4	P3	6	18
B4	P3	7	4

Tabla 4: Datos demanda real promedio para el cliente 4 (b4) para cada producto en cada día.

Datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL
B5	P1	1	13
B5	P1	2	14
B5	P1	3	15
B5	P1	4	21
B5	P1	5	22
B5	P1	6	23
B5	P1	7	24
B5	P2	1	23
B5	P2	2	24
B5	P2	3	25
B5	P2	4	31
B5	P2	5	32
B5	P2	6	33
B5	P2	7	34
B5	P3	1	2
B5	P3	2	4
B5	P3	3	10
B5	P3	4	13
B5	P3	5	22
B5	P3	6	23
B5	P3	7	30

Tabla 5: Datos demanda real promedio para el cliente 5 (b5) para cada producto en cada día

Demostración de los datos de ventas reales. Estudio de caso.

CLIENTE	PROD	DIA	DEMANDA REAL
B6	P1	1	10
B6	P1	2	15
B6	P1	3	17
B6	P1	4	23
B6	P1	5	13
B6	P1	6	27
B6	P1	7	33
B6	P2	1	25
B6	P2	2	28
B6	P2	3	34
B6	P2	4	36
B6	P2	5	20
B6	P2	6	17
B6	P2	7	27
B6	P3	1	3
B6	P3	2	4
B6	P3	3	8
B6	P3	4	10
B6	P3	5	12
B6	P3	6	11
B6	P3	7	8

Tabla 6: Datos demanda real promedio para el cliente 6 (b6) para cada producto en cada día

Anexo B. Modelo I.

Comandos de iniciación de condiciones. B.1

#Comandos

Comandos de Inicialización de Condiciones:

option show_stats 1;
Option solution_precision 0;
option omit_zero_rows 1;
option omit_zero_cols 1;
option display_precision 6;
option display_round 1;

#COMANDOS DE SOLUCIÓN

solve;
display costo;
display BK2;
display COS;
display BDO;
display Q;
display BDPR;
display COSBK;
display BK1;

Anexo B. 2. Modelo I.

Datos. Comandos.

```
#Datos
#Conjuntos

set CLI := b1 b2 b3 b4 b5 b6;
#Conjuntos de clientes

set ZON := z1 z2 z3;
#Conjunto de zonas

set PRO := p1 p2 p3;
#Conjunto de productos

set FPR := f1 f2;
#Conjunto de familias

set DIA := d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7;
#Conjuntos de dias

set ORD := o1 o2 o3 o4 o5 o6 o7;
#Conjunto de ordenes

#Subconjuntos

set ZONCLI[z1] := b1 b2;
set ZONCLI[z2] := b3 b4;
set ZONCLI[z3] := b5 b6;
#Subconjuntos de clientes por zonas

set FPRPRO[f1] := p1 p2;
set FPRPRO[f2] := p3;
#Subconjunto de productos por familia
```

#parámetros

```
param dem :=
p1      b1      d1      12
p1      b1      d2      13
p1      b1      d3      14
p1      b1      d4      15
p1      b1      d5      21
p1      b1      d6      22
p1      b1      d7      23
p1      b2      d1      13
p1      b2      d2      14
p1      b2      d3      15
p1      b2      d4      21
p1      b2      d5      22
p1      b2      d6      23
p1      b2      d7      24
p1      b3      d1      23
p1      b3      d2      27
p1      b3      d3      12
p1      b3      d4      11
p1      b3      d5      43
p1      b3      d6      32
p1      b3      d7      10
p1      b4      d1      14
p1      b4      d2      15
p1      b4      d3      21
p1      b4      d4      22
p1      b4      d5      23
p1      b4      d6      24
p1      b4      d7      25
p1      b5      d1      13
p1      b5      d2      14
p1      b5      d3      15
p1      b5      d4      21
p1      b5      d5      22
p1      b5      d6      23
p1      b5      d7      24
p1      b6      d1      10
p1      b6      d2      15
p1      b6      d3      17
p1      b6      d4      23
p1      b6      d5      13
p1      b6      d6      27
p1      b6      d7      33
p2      b1      d1      15
```

p2	b1	d2	21
p2	b1	d3	22
p2	b1	d4	23
p2	b1	d5	24
p2	b1	d6	25
p2	b1	d7	31
p2	b2	d1	21
p2	b2	d2	22
p2	b2	d3	23
p2	b2	d4	24
p2	b2	d5	25
p2	b2	d6	31
p2	b2	d7	32
p2	b3	d1	14
p2	b3	d2	23
p2	b3	d3	26
p2	b3	d4	27
p2	b3	d5	20
p2	b3	d6	18
p2	b3	d7	15
p2	b4	d1	22
p2	b4	d2	23
p2	b4	d3	24
p2	b4	d4	25
p2	b4	d5	31
p2	b4	d6	32
p2	b4	d7	33
p2	b5	d1	23
p2	b5	d2	24
p2	b5	d3	25
p2	b5	d4	31
p2	b5	d5	32
p2	b5	d6	33
p2	b5	d7	34
p2	b6	d1	25
p2	b6	d2	28
p2	b6	d3	34
p2	b6	d4	36
p2	b6	d5	20
p2	b6	d6	17
p2	b6	d7	27
p3	b1	d1	24
p3	b1	d2	25
p3	b1	d3	31
p3	b1	d4	22
p3	b1	d5	33
p3	b1	d6	30

```
p3      b1      d7      35
p3      b2      d1      22
p3      b2      d2      20
p3      b2      d3      32
p3      b2      d4      31
p3      b2      d5      27
p3      b2      d6      22
p3      b2      d7      18
p3      b3      d1      4
p3      b3      d2      5
p3      b3      d3      10
p3      b3      d4      13
p3      b3      d5      24
p3      b3      d6      34
p3      b3      d7      37
p3      b4      d1      24
p3      b4      d2      25
p3      b4      d3      12
p3      b4      d4      10
p3      b4      d5      11
p3      b4      d6      18
p3      b4      d7      4
p3      b5      d1      2
p3      b5      d2      4
p3      b5      d3      10
p3      b5      d4      13
p3      b5      d5      22
p3      b5      d6      23
p3      b5      d7      30
p3      b6      d1      3
p3      b6      d2      4
p3      b6      d3      8
p3      b6      d4      10
p3      b6      d5      12
p3      b6      d6      11
p3      b6      d7      8;
#parámetro de demanda para costo :=
d1      o1      175000
d1      o2      175000
d1      o3      175000
d1      o4      175000
d1      o5      175000
d1      o6      175000
d1      o7      175000
d2      o1      29167
```

```
d2	o2	29167
d2	o3	29167
d2	o4	29167
d2	o5	29167
d2	o6	29167
d2	o7	29167
d3	o1	112500
d3	o2	112500
d3	o3	112500
d3	o4	112500
d3	o5	112500
d3	o6	112500
d3	o7	112500
d4	o1	91667
d4	o2	91667
d4	o3	91667
d4	o4	91667
d4	o5	91667
d4	o6	91667
d4	o7	91667
d5	o1	112500
d5	o2	112500
d5	o3	112500
d5	o4	112500
d5	o5	112500
d5	o6	112500
d5	o7	112500
d6	o1	175000
d6	o2	175000
d6	o3	175000
d6	o4	175000
d6	o5	175000
d6	o6	175000
d6	o7	175000
d7	o1	60417
d7	o2	60417
d7	o3	60417
d7	o4	60417
d7	o5	60417
d7	o6	60417
d7	o7	60417;
#parámetro de costo por orden dia y zona param ent :=
p1	d1	1000
p1	d2	1000
p1	d3	1000
p1	d4	1000
p1	d5	1000
```

```
p1      d6      1000
p1      d7      1000
p2      d1      1000
p2      d2      1000
p2      d3      1000
p2      d4      1000
p2      d5      1000
p2      d6      1000
p2      d7      1000
p3      d1      1000
p3      d2      1000
p3      d3      1000
p3      d4      1000
p3      d5      1000
p3      d6      1000
p3      d7      1000;

#parametro de entradas de inventarios por dia y por productos
param cap:=
d1      o1      100
d1      o2      100
d1      o3      100
d1      o4      100
d1      o5      100
d1      o6      100
d1      o7      100
d2      o1      100
d2      o2      100
d2      o3      100
d2      o4      100
d2      o5      100
d2      o6      100
d2      o7      100
d3      o1      100
d3      o2      100
d3      o3      100
d3      o4      100
d3      o5      100
d3      o6      100
d3      o7      100
d4      o1      100
d4      o2      100
d4      o3      100
d4      o4      100
d4      o5      100
d4      o6      100
d4      o7      100
```

```
d5      o1      100
d5      o2      100
d5      o3      100
d5      o4      100
d5      o5      100
d5      o6      100
d5      o7      100
d6      o1      100
d6      o2      100
d6      o3      100
d6      o4      100
d6      o5      100
d6      o6      100
d6      o7      100
d7      o1      100
d7      o2      100
d7      o3      100
d7      o4      100
d7      o5      100
d7      o6      100
d7      o7      100
#parámetro de capacidad máxima de envíos por dia y orden
param bko :=
p1      b1      20
p1      b2      20
p1      b3      20
p1      b4      20
p1      b5      20
p1      b6      20
p2      b1      20
p2      b2      20
p2      b3      20
p2      b4      20
p2      b5      20
p2      b6      20
p3      b1      20
p3      b2      20
p3      b3      20
p3      b4      20
p3      b5      20
p3      b6      20;
#parametro de backorder inicial para cada cliente y cada producto
```

Anexo B. 3. Modelo I.

Modelo Final-

```
#CONJUNTOS
set CLI;
#Conjuntos de clientes indexados en b

set ZON;
#Conjuntos de zonas indexado en z

set PRO;
#Conjuntos de productos indexados en p

set FPR;
#Conjuntos de familia de productos indexados en p

set DIA ordered;
#Conjuntos de dias indexados en d

set ORD ordered;
#Conjuntos de ordenes indexados en o

#Subconjuntos

set ZONCLI {ZON} within CLI;
#Subconjunto de clientes por zonas

set FPRPRO {FPR} within PRO;
#Subconjunto de productos por familia

#parametros
param dem {PRO,CLI,DIA} >= 0;
#parametro de demanda por producto cliente  y dia

#param cost {ZON,DIA,ORD} >= 0;
#parametro de costos por zona dia y orden.

param costdo {DIA,ORD} >= 0;
#parametro de costos por dia y orden

param ent {PRO,DIA} >= 0;
#parametro de entradas de productos por dia

param cap {DIA,ORD} >= 0;
#parametro de capacidad, limite maximo, de envíos por dia y orden

param bko {PRO,CLI} >= 0;
#parametro de backorder inicial de productos para cada cliente
```

#Variables

```
var COS {d in DIA, o in ORD} >= 0;
#variable de costos por dia y orden

var BK2 {PRO,CLI,DIA} >= 0;
#Variable de backorder generado por producto cliente y dia

var BK1 {PRO,CLI,DIA,ORD} >= 0;
#Variable de backorder generado por producto cliente dia y orden

var ICD {PRO,DIA} >= 0;
#Variable de inventario en el centro de distribución por producto y dia

#var BDOR {ZON,DIA,ORD} binary;
#Variable binaria que toma valor de 1 si se realizó un envio para la zona z en dia d en la
orden o  #var BCZD {CLI,DIA,ORD} binary;
#Variable binaria que toma valor de 1 si se realizó un envío al cliente b en el dia d en la
orden o var BDO {DIA,ORD} binary;
#variable binaria que toma valor de 1 si se realizó un envio en el dia d en la orden o

var Q {PRO,CLI,DIA,ORD} >= 0;
#Variable de cantidad envidad del producto p por cliente b en el dia d en la orden o

var BDPR {PRO,CLI,DIA,ORD} binary;
#Variable binaria que toma valor de 1 si se realizó un envio para el producto p en el cliente
b para el dia d en la orden o  #var BDCL {CLI,DIA,ORD} binary;
#Variable binary que toma valor de 1 si se realizó un envio para el cliente b en el dia d en
la orden o var COSBK {DIA} >= 0;
#Variable que suma el costo del backorder en todo un dia
```

#Función Objetivo

```
minimize costo:
sum{d in DIA, o in ORD} (BDO[d,o]*costdo[d,o]) + sum{p in PRO, b in CLI, d in
DIA}(BK2[p,b,d]*10);

subject to R1 {f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z],d in DIA: ord(d) =
1}:
dem[p,b,d] + bko[p,b] = sum {o in ORD}(Q[p,b,d,o]) + BK2[p,b,d];

subject to R2 {f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z],d in DIA: ord(d) >
1}:
BK2[p,b,prev(d)] + dem[p,b,d] = sum{o in ORD}(Q[p,b,d,o]) + BK2[p,b,d];

subject to R3 {f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z], o in ORD,d in DIA:
ord(d) = 1}:
bko[p,b] + dem[p,b,d] = sum{o2 in ORD: ord(o2) <= ord(o)}(Q[p,b,d,o2]) + BK1[p,b,d,o];
```

```
subject to R4 {f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z], o in ORD,d in DIA:
ord(d) > 1}:
BK2[p,b,prev(d)] + dem[p,b,d] = sum{o2 in ORD: ord(o2) <= ord(o)}(Q[p,b,d,o2]) +
BK1[p,b,d,o];
subject to R5 {f in FPR, p in FPRPRO[f],d in DIA: ord(d) = 1}:
ent[p,d] = ICD[p,d] + sum{z in ZON, b in ZONCLI[z],o in ORD}(Q[p,b,d,o]);

subject to R6 {f in FPR, p in FPRPRO[f],d in DIA: ord(d) > 1}:
ent[p,d] + ICD[p,prev(d)] = ICD[p,d] + sum{z in ZON, b in ZONCLI[z],o in
ORD}(Q[p,b,d,o]);

subject to R7 {f in FPR, p in FPRPRO[f],d in DIA: ord(d) = 1}:
sum{z in ZON, b in ZONCLI[z],o in ORD}(Q[p,b,d,o]) <= ent[p,d];

subject to R8 {f in FPR, p in FPRPRO[f],d in DIA: ord(d) > 1}:
sum{z in ZON, b in ZONCLI[z],o in ORD}(Q[p,b,d,o]) <= ent[p,d] + ICD[p,prev(d)];

subject to R9 {f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z],d in DIA, o in ORD}:
Q[p,b,d,o] <= cap[d,o]*BDPR[p,b,d,o];

subject to R10 {d in DIA, o in ORD}:
sum{f in FPR, p in FPRPRO[f],z in ZON, b in ZONCLI[z]}(Q[p,b,d,o]) <=
100000*BDO[d,o];

subject to R11 {d in DIA, o in ORD}:
BDO[d,o]*costdo[d,o] = COS[d,o];

#subject to R12 {z in ZON, b in ZONCLI[z], d in DIA, o in ORD}:
#sum{f in FPR,p in FPRPRO[f]}(BDPR[p,b,d,o]) <= 100000*BDCL[b,d,o];

subject to R13 {d in DIA}:
sum{p in PRO, b in CLI}(BK2[p,b,d]*10) = COSBK[d];
```