APROXIMACIÓN A LA APLICACIÓN DE REVENUE MANAGEMENT EN LAS DECISIONES DE TRANSPORTE EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

ALEXANDRA HENAO

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL, PROYECTO DE GRADO

CALI

2013

APROXIMACIÓN A LA APLICACIÓN DE REVENUE MANAGEMENT EN LAS DECISIONES DE TRANSPORTE EN UNA CADENA DE SUMINISTRO

ALEXANDRA HENAO

Proyecto de Grado II

Tutor:

ANDRÉS FELIPE OSORIO MURIEL, MSC.

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL, PROYECTO DE GRADO

CALI

2013

CONTENIDO

pág.

1. TÍTULO 7
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN 8
1.2 ELEMENTOS 9
1.3 FORMULACIÓN 9
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9
1.5 JUSTIFICACIÓN 9
1.6 DELIMITACIÓN Y ALCANCE 10
2. OBJETIVOS 11
2.1OBJETIVO GENERAL 11
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO 11
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE TRABAJO 12
4. MARCO REFERENCIAL 13
4.1 ANTECEDENTES O ESTUDIOS PREVIOS 13
4.2 MARCO TEÓRICO 14
4.2.1 Logística 15
4.2.2 Cadenas de suministro 14
4.2.3 Transporte 18
4.2.4 Tarifas 21
4.2.5 Revenue Management 22
4.2.6 Problemas de logística modelados 23
5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO 25
5.1 RECURSOS 25
5.2 CRONOGRAMA 25
5.3 EQUIPO DE INVESTIGADORES 25
6. DESARROLLO DEL PROYECTO 26
6.1 CARACTERIZAR UN MODELO DE RM IDENTIFICANDO LAS VARIABLES QUE SE ENCUENTRAN PRESENTES Y LA RELACIÓN CON LA CADENA DE SUMINISTROS. 26
6.1.1 Características del Modelo 27

6.2 REALIZAR UN MODELO CONCEPTUAL QUE INVOLUCRE DECISIONES DE PRECIO Y TRANSPORTE EN LA CADENA DE SUMINISTRO 30
6.2.1 Conjuntos del modelo 30
6.2.2 Variables de decisión del modelo 30
6.2.3 Restricciones del modelo 31
6.2.4 Función Objetivo 31
6.3 DESARROLLAR UN MODELO MATEMÁTICO PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO REGIONAL INCLUYENDO CONCEPTOS DE *REVENUE MANAGEMENT* EN LAS DECISIONES DE TRANSPORTE 32
6.3.1 Modelo Full Quantity Discount 32
6.3.2 Modelo Incremental Discount Cost Model 37
6.4 APLICAR EL MODELO PLANTEADO A UN CASO Y DESARROLLAR UNA PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACUERDO A SU NATURALEZA Y COMPLEJIDAD. 39
6.4.1 Caso de Aplicación 39
6.4.2 Resultados Modelo Base 39
6.4.3 Resultados Modelo Full Quantity Discount 42
6.4.4 Resultados Modelo Incremental Discount 44
6.5 EVALUAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL RESOLVER EL MODELO EN EL CASO DE APLICACIÓN. 45
6.5.1 Validación de los modelos 45
6.5.2 Experimentación con los Modelos 46
6.5.2.1 Reducción de costos de manejo y almacenamiento de inventarios. 46
6.5.2.2 Implementación de Descuentos solo para envíos a Manizales 48
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 49
7.1 Conclusiones 49
7.2 Recomendaciones 50
BIBLIOGRAFÍA 51
ANEXOS 53

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Utilización de Metodologías en el proyecto 12
Tabla 2.Características Operativas relativas por modo* 20
Tabla 3. Estructura de Costos para cada modo 20
Tabla 4. Tipo de decisiones y nivel de decisión 26
Tabla 5. Resultados Flujos de Materia Prima.....40
Tabla 6. Resultados Flujos de Producto entre Planta y CEDIs. 41
Tabla 7. Resultados Inventarios en Centros de Distribución.....41
Tabla 8. Centros de Distribución Abiertos.....41
Tabla 9. Resultados Flujos de Productor entre CEDIs y Clientes 42
Tabla 10. Resultados Flujo Producto entre Plantas y CEDIs (Full Quantity).....43
Tabla 11. Variaciones de validación sobre los modelos. 45
Tabla 12. Modificación en costos de almacenaje y manejo de inventario 46
Tabla 13. Comparación de Resultados 47
Tabla 14. Resultados Incremental Quantity 47
Tabla 15. Descuentos solo para envíos hacia Manizales.....48
Tabla 16. Matriz de Marco Lógico 53
Tabla 17. Costo transporte Proveedores-Plantas.....62
Tabla 18. Información Proveedores 62
Tabla 19. Información Plantas.....62
Tabla 20. Transporte Plantas- Centros de Distribución.....63
Tabla 21. Información Centros de Distribución.....63
Tabla 22. Costo de transporte de CEDIs a Clientes.....63
Tabla 23. Información de la demanda de los clientes. 64
Tabla 24. Costos de Transporte con Descuentos 65
Tabla 25. Máxima cantidad para rango de descuentos e Intersección para el modelo Incremental.....65

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Costos en Logística y Mercadeo 16
Figura 2. Evolución de la logística hacia la cadena de suministros. 17
Figura 3. Cadena de suministros inmediata para una empresa individual 18
Figura 4. Red de la cadena de suministro modelada. 28
Figura 5. Full Quantity Discount 29
Figura 6. Incremental Discount.....29

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1. Matriz de Marco Lógico 53
Anexo 2. Cronograma de Actividades. 57
Anexo 3. Modelación Incremental Discount Model 58
Anexo 4. Datos Caso Base 62
Anexo 5. Datos adicionales Modelo Full Quantity e Incremental Discount 65
Anexo 6. Relaciones Base de Datos 66
Anexo 7. Código Fuente de los Modelos 67

1. TÍTULO

Aproximación a la aplicación de Revenue Management en las decisiones de transporte en una cadena de suministro.

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente las categorías bajo las cuales se establecen los precios del transporte en la cadena de suministros son: peso, volumen, distancia, características inherentes del producto, entre otros que se puedan contemplar. Las tarifas, en algunos medios de transporte, se proponen mediante unas tablas ya establecidas de peso y distancia[1].Actualmente las negociaciones son tienen mayor libertad y dependen de cada prestador de servicio. En la mayoría de los casos, la variable tiempo no se tiene en cuenta; entendida ésta como la anticipación bajo la cual se hace el requerimiento del servicio, es decir, si se hace un pedido con dos meses de anticipación y otro con tres días, el precio es el mismo. El tiempo en el *Revenue Management* es una variable que condiciona directamente los precios asignados al servicio y a los productos.

Una definición del *Revenue Management* es "vender el producto correcto, al cliente correcto, en el momento correcto"[2].

En Colombia, se utilizaban tablas de fletes definidas por el Ministerio de Transporte, donde no había flexibilidad para la cotización de precios. Las tarifas eran calculadas según las distancias, teniendo en cuenta la geografía colombiana para el consumo de gasolina.

Desde el año 1970 se ha utilizado este método en empresas de servicio, como *American Airlines*, en las cuales ha generado un incremento en los ingresos. En *American Airlines* usan el *Revenue Management* para obtener altos ingresos de cada segmento de clientes que tienen, es decir, un viajero que va de vacaciones puede anticipar su viaje y además acomodarse a las tarifas más baratas, pero un viajero de negocios no tiene estas opciones, ya que sus viajes la mayoría de tiempo son de urgencia[3]. Se pretende explorar la aplicación de los conceptos de *Revenue Management* en modelos de toma de decisiones del transporte en las cadenas de suministro.

---

[1]BALLOU, Ronald H. Logística. Administración de la Cadena de Suministros. Quinta Edición. Mexico: Pearson Education, 2004,p. 190.

[2]BAÑOS, A. Revenue Management: Conceptos Básicos. [en línea]2005.[Consultado el 3de febrero, 2012]. Disponible en internet: http://www.fijaciondeprecios.com/upload/archivos/Revenue/Revenue%20Management%20Conceptos%20B%C3%A1sicos.pdf

[3]CHOPRA, S. Supply Chain Management Strategy, Planning & Operation. New Jersey: Pearson Prentice Hall,2007, p.459

1.2 ELEMENTOS

Las decisiones en el transporte en la cadena de suministro deben considerar la variabilidad en los procesos de abastecimiento, producción y distribución del producto así como la segmentación del mercado y las limitaciones de capacidad.

Cuando la decisión de transporte se quiere integrar con estrategias de *Revenue Management,* se deben considerar maneras de reducir los costos de transporte modificando otras variables de decisión.

1.3 FORMULACIÓN

¿Es posible la integración de las decisiones de transporte de la cadena de suministro con las estrategias de fijación de precio de *Revenue Management?*

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La mayoría de empresas tienen múltiples segmentos de clientes, temporadas de cambios en la demanda, cambios notables en la disponibilidad del producto, entre otros comportamientos del mercado que no son tomados en cuenta cuando se fijan los precios. Esto lleva a que se consideren de manera independiente el comportamiento del mercado y las estrategias de fijación de precios. Las decisiones del transporte de la cadena de suministro también deben estar sujetas al comportamiento de la demanda y una estrategia de fijación de precios. Mediante el desarrollo del proyecto se quiere evaluar los comportamientos de las variables de decisión y como éstas se ven influenciadas por los precios del transporte. ¿Podrá haber cambios en las decisiones de locación? ¿Se podría ver alteradas las economías de escala? O por el contrario las decisiones de transporte a lo largo de la cadena de suministros siguen igual.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Actualmente no se toma en cuenta la curva de demanda para establecer el precio del transporte de un producto, lo que ocasiona que las decisiones de transporte no integren los diferentes componentes de las funciones demanda. El *Revenue Management* toma en cuenta tres variables principales para la decisión de fijación de precios: decisiones estructurales, de precio y de cantidad.

Por lo anterior se realizará un modelo matemático de optimización que relacione variables de cantidad y precio del producto con decisiones de sistemas de transporte para determinados períodos de tiempo y de esta manera reducir los costos totales.

1.6 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

El proyecto de Aplicación del *Revenue Management* a la cadena de suministros en las decisiones de transporte es un proyecto de tipo investigativo participativo que se basa en la investigación y modelado en donde se estudie la aplicación de conceptos de *Revenue Management* en decisiones de transporte en cadenas de suministro.

El desarrollo del proyecto contará con investigación en Logística para analizar el comportamiento de las cadenas de suministro y las decisiones de transporte. La modelación matemática será guiada por Investigación de Operaciones.

2. OBJETIVOS

2.1OBJETIVO GENERAL

Evaluar la aplicación de conceptos de *Revenue Management* relacionados con la asignación de tarifas para la toma de decisiones de transporte en una cadena de suministros.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Desarrollar un modelo matemático que integre las decisiones de transporte y los conceptos de *Revenue Management* en la cadena de suministros.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar un modelo de RM identificando las variables que se encuentran presentes y la relación con la cadena de suministros.
2. Realizar un modelo conceptual que involucre decisiones de precio y transporte en la cadena de suministro
3. Desarrollar un modelo matemático para una cadena de suministro regional incluyendo conceptos de *Revenue Management* en las decisiones de transporte
4. Aplicar el modelo planteado a un caso y desarrollar una propuesta de solución de acuerdo a su naturaleza y complejidad.
5. Evaluar los resultados obtenidos al resolver el modelo en el caso de aplicación.

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA DE TRABAJO

El proyecto se realizara en cinco etapas que llevarán al desarrollo del mismo. La primera etapa consta de búsqueda de información, en donde se deben identificar las características y los requisitos del RM para tener un mayor entendimiento cuando se realice el mapa conceptual en la segunda etapa. Esta consta de conceptualizar el proyecto y sus variables, para evidenciar las relaciones y los comportamientos, para llegar a desarrollar el modelo con esta información. En la etapa 3 se hará la integración del modelo conceptual con el modelo matemático. Esta etapa se modelara el proyecto en CPLEX[4]. Finalmente se validarán los resultados del modelo matemático mediante un caso de estudio donde se harán comparaciones con modelos anteriores. Se presenta la matriz de marco lógico en el anexo 1.

Tabla 1. Utilización de Metodologías en el proyecto

No.	Etapa del Proyecto	Actividades criticas	Metodologías Especificas
1	Búsqueda de Información	Búsquedas bibliográficas, preguntar a expertos del tema	Investigar requisitos específicos para relacionar e implementar el RM en las SC
2	Conceptualizar el proyecto	Realizar un esquema conceptual	Identificar variables de decisión, conjuntos, parámetros, etc.
3	Desarrollar el Modelo	Integrar modelo conceptual con modelo matemático	Traducir modelo conceptual a lenguaje de programación en AMPL y modelar el problema
4	Desarrollar caso de aplicación	Identificar características necesarias del caso para ser utilizado bajo el estudio realizado. Plantear caso	Recoger información del caso (comportamiento de la demanda, costos, transporte)
5	Resolver caso de estudio con modelo planteado	Analizar metodologías y estrategias de solución para el modelo matemático desarrollado, aplicar estrategias de solución al caso de estudio.	Comparar resultados de modelos matemáticos convencionales con el actual modelo. Analizar resultados del caso

[4] IBM ILOG CPLEX Optimization Studio (CPLEX) es un programa de optimización.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES O ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios realizados sobre el Revenue Management (RM) se han enfocado en áreas de servicio donde el precio es un factor decisivo para el comportamiento del cliente. El RM fue introducido por American Airlines en 1970, donde hacían una diferenciación de precios en los tiquetes dependiendo del tipo de cliente. Los clientes que no tenían alta restricción de horarios y reservaban su tiquete con tiempo contaban con una tarifa más baja, en cambio los clientes que necesitaban horarios específicos y tiquetes de última hora, tenían una tarifa mucho más alta. El método funcionaba, ya que había tarifas dinámicas que tenían en cuenta un sistema de reservaciones. Estas tarifas se ajustaban al tiempo y a la cantidad de asientos disponibles. La cantidad de asientos que se debían dejar para reservas de último momento, es la gran incógnita que generaba esta técnica, ya que los tiquetes que se compraban de último momento generaban más utilidades para la empresa. En su libro Talluri y Ryzin[5] menciona las decisiones básicas que debe tener en cuenta un vendedor con respecto al precio. Todos quieren tener la utilidad máxima pero el precio no puede ser muy alto porque puede perder personas interesadas y muy bajo puede perder utilidades valiosas.

En un estudio realizado por el Profesor Juan Carlos Ferrer en el año 2011, en la Pontificia Universidad Católica de Chile, llamado “La importancia de conocer al cliente”[6] define que la variable precio resulta efectiva para controlar la demanda. Esta hipótesis resulta importante ya que la mayoría de las empresas tienen demanda variable pero capacidad fija, por lo que deben aprender a manejar la demanda para poder tener mayores ingresos. Anteriormente se creía que el RM solo era aplicable en las empresas de servicios, pero ahora se han extrapolado algunos conceptos del RM a industrias de consumo masivo, transporte, entre otras.

Este estudio es de gran aporte para esta investigación, ya que se expone que primero se deben entender las necesidades y comportamientos del cliente para poder aplicar el RM a una organización.

---

[5] TALLURI, Kalyan. RYZIN, Garrett. The Theory and Practice of Revenue Management. Boston. Kluwer Academic Publishers. 2004, p. 2.

[6] FERRER, Juan Carlos. Revenue Management- La importancia de conoceer al cliente[en línea]. Chile, 2011. [Consultado el 3 de febrero, 2012]. Disponible en internet: http://www.ceret.cl/wp-content/uploads/2011/03/revenue-management-e28093-la-importancia-de-conocer-al-cliente-jcferrer.pdf

En un estudio llamado “Revenue Management y las empresas orientadas al cliente” [7] se evidencia un problema que puede surgir a partir de la aplicación del RM en una empresa que es la diferenciación del producto. Ya que se está segmentando el mercado y se tienen precios diferentes, se debe cuidar que ningún cliente se sienta engañado. Si el cliente entiende y percibe que el producto que él ha comprado es distinto al de otros y que por ese motivo puede tener un precio distinto no ocurrirá esto. Este aspecto es importante para la presente investigación ya que se debe realizar una segmentación del mercado correcta y precisa.

Los estudios en Investigación de Operaciones enfocada al RM exponen diferentes modelos matemáticos que se verán estudiados en el desarrollo de este proyecto. Vivek Francis Farias en su trabajo de grado para la obtención del doctorado en Stanford University en Junio del 2007 realizo un estudio sobre RM, llamado *Estimate then optimize*[8], en donde primero se enfoca en precios dinámicos y luego enfatiza que lo importante es poder planear la demanda, es decir tener buenos pronósticos. De esta manera teniendo un buen manejo de la demanda podemos utilizar el RM para maximizar los ingresos.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Cadenas de suministro

Se definió que la logística ocurre dentro del marco general de la cadena de suministro y en este proyecto una cadena de suministros consiste en todas las partes involucradas, directa o indirectamente, en llevar a cabo el requerimiento de los clientes. La cadena de suministro no solo incluye el productor y los proveedores sino también el transporte, almacenes, detallistas, y hasta los mismos clientes. El objetivo de cada cadena de suministro debe ser maximizar el valor generado en total[9]. Esto se debe a que un buen manejo de la cadena de suministros logrará satisfacer los requerimientos del cliente como disponibilidad tanto en tiempo como en área de cobertura.

Otra definición de cadena de suministro es que consiste en empresas colaborando para apalancar el posicionamiento estratégico y mejorar la eficiencia de operación[10]. Esta definición va relacionada a la conexión de dependencia y colaboración que deben tener las empresas para poder lograr una buena estrategia de manejo de la cadena de suministro. Este caso se ve evidenciado

[7] EDUCAHRES. “Revenue Management" y las empresas orientadas al cliente. [en línea] Argentina. 2005 [Consultado el 21 de abril 2012]. Disponible en internet: http://educahres.com.ar/main/vitx/vitx.aspx?p=96

[8] FARIAS, Vivek Francis. Revenue Management Beyond: Estimate then Optimize. Stanford. 2007. p. 55.

[9] CHOPRA, op. cit., p.35.

[10] BOWERSOX, op. cit., p.4.

cuando se tienen diferentes empresas para el transporte, almacenamiento, producción, etc., que obliga a relacionar todas las empresas para poder tener un buen flujo de información y materiales por todos los canales y lograr llegar al cliente con los requerimientos dados.

La cadena de suministros es que la SC (por sus siglas en inglés Supply Chain) abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente de la cadena de suministros[11]. Estas actividades se deben integrar mejorando las relaciones entre la cadena de suministros para lograr una ventaja competitiva y mejorar el desempeño de las empresas individuales dentro de la SC. A lo largo de toda la cadena debe haber un flujo de información ya sea físico o electrónico que permita una sincronización entre todas las actividades. La dirección de la logística debe ser la encargada de las actividades entre los canales para poder cumplir con el objetivo de la SC.

4.2.2 Logística

A lo largo de la historia la logística ha tomado diferentes significados debido a sus múltiples usos y ambientes en los cuales de desarrolla. Se entiende por logística como "el proceso de planear, implementando y controlando el flujo eficiente y efectivo del almacenaje de los bienes y servicios, y la información relacionada con el punto de origen al punto de consumo para el propósito de cumplir con los requerimientos de los clientes"[12]. La logística no solo es usada en empresas manufactureras, es necesaria en empresas de servicio como hospitales, bancos y hasta en logística militar.

Un estudio realizado por Rosalyn Wilson indica que en el 2007 la logística es responsable del 10.1% de los costos del PIB en EEUU[13]. Por este motivo es importante el estudio de la logística para lograr minimizar los costos relacionados con esta y permitir un precio más bajo de venta de los productos.

Otros definen la logística como la combinación integrada del manejo de órdenes, inventario, transporte, almacenaje y distribución, manejo de materiales y empaque dentro de la cadena de suministros de una empresa[14]. Para tener una buena administración de la logística se debe entender sus funciones dentro de la cadena de suministro y las estrategias de ésta.

---

[11] BALLOU, op. cit., p. 5.

[12] LAMBERT, Douglas M.; STOCK, James R. y ELLRAM, Lisa. Fundamentals of Logistics Management. New York: McGraw-Hill, 1998, p. 5.

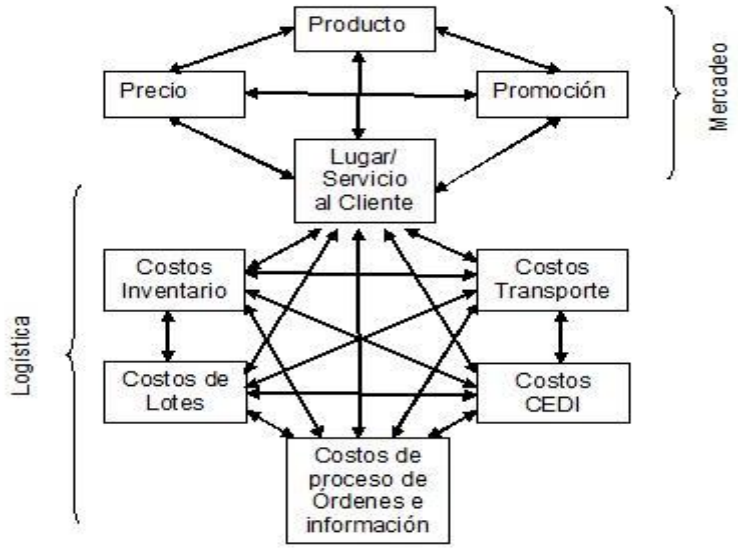
[13] WILSON, Rosalyn. 19th Annual "State if Logistics Report", Council of Supply Chain Management Professionals, Oak Brook, IL, June 2008.

[14] BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. y COOPER, M.Bixby. Supply Chain Logistics Management.3ra. Edición. New York: McGraw Hill, 2010, p. 4.

El propósito de la logística en una organización en minimizar los costos totales cumpliendo todos los requerimientos de los clientes, en cambio el propósito del mercadeo es formular todos los recursos de la mezcla del mercadeo para lograr clientes a largo plazo. Las actividades principales de la logística son el servicio al cliente, planeación de la demanda, manejo de inventario, comunicación y manejo de materiales. Estas actividades deben ser integradas para lograr un buen resultado. El objetivo final de la logística es apoyar la gestión del servicio al cliente, para esto debe conocer los requisitos de los clientes y el desempeño de la competencia para siempre estar buscando ventajas competitivas.

Algunos de los retos que confronta actualmente las estrategias en logística para mejorar su efectividad o desempeño son incurrir en áreas como *Just in Time*, calidad total, sostenibilidad, logística reversiva, entre otros, ya que estos representarían mejoras significativas para las empresas, en la parte organizacional, económica, etc.

Figura 1. Costos en Logística y Mercadeo



Fuente: LAMBERT, Douglas M.; STOCK, James R. y ELLRAM, Lisa. Fundamentals of Logistics Management. New York: McGraw-Hill, 1998, p. 13.

Logística, según el Consejo de la Dirección Logística[15] indica que: "la logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes." Esta

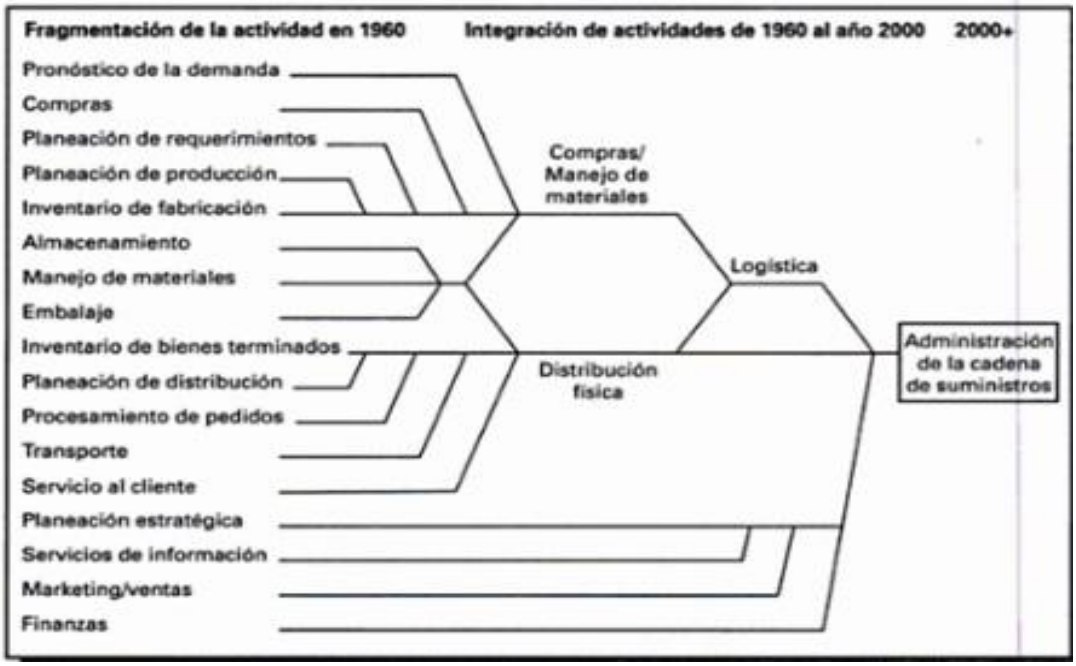
[15]CONSEJO DE LA DIRECCIÓN LOGÍSTICA. Normas. CLM http:/www.clm1.org (Cita en:) BALLOU, Ronald H. Logística Administración de la Cadena de Suministros.Quinta Edición. Mexico: Pearson Education, 2004,p.8.

definición es apropiada ya que indica cuales son las actividades de la logística, hacía que va dirigido, el campo en el cual opera y cuál es su objetivo final.

Muchos autores difieren en la definición de logística y cadena de suministro. Muchos dicen que la planeación de la logística es lo mismo que la administración de la cadena de suministro. Otros definen que la logística es el trabajo requerido para mover y geográficamente posicionar inventario, por lo tanto ocurre dentro del marco general de la cadena de suministro[16].Para este estudio se tomará la logística como parte esencial del buen funcionamiento de una cadena de suministros. En la práctica es difícil diferenciar la dirección de la logística y la administración de la cadena de suministros, ya que a la larga ambos promueven el mismo fin: Llevar los bienes o servicios adecuados al lugar adecuado, en el momento adecuado y en las condiciones deseadas, a la vez que se consigue la mayor contribución a la empresa[17].

En la Figura 2 se encuentran todas la actividades propias de la logística y como se integran con otras para completar la administracion de la cadena de suministros.

Figura 2. Evolución de la logística hacia la cadena de suministros.



Fuente: BALLOU, Ronald H. Logística Administración de la Cadena de Suministros. Quinta Edición. Mexico: Pearson Education, 2004, p.9.

Es importante notar en que momento la logística evolucionó hacia la cadena de suministros. La vida de un producto no se termina cuando es entregado a su

[16]BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER M, .Bixby. Supply Chain Logistics Management. 3ra. Edición.New York: McGraw Hill, 2010, p. 4.
[17]BALLOU, op. cit., p.6.

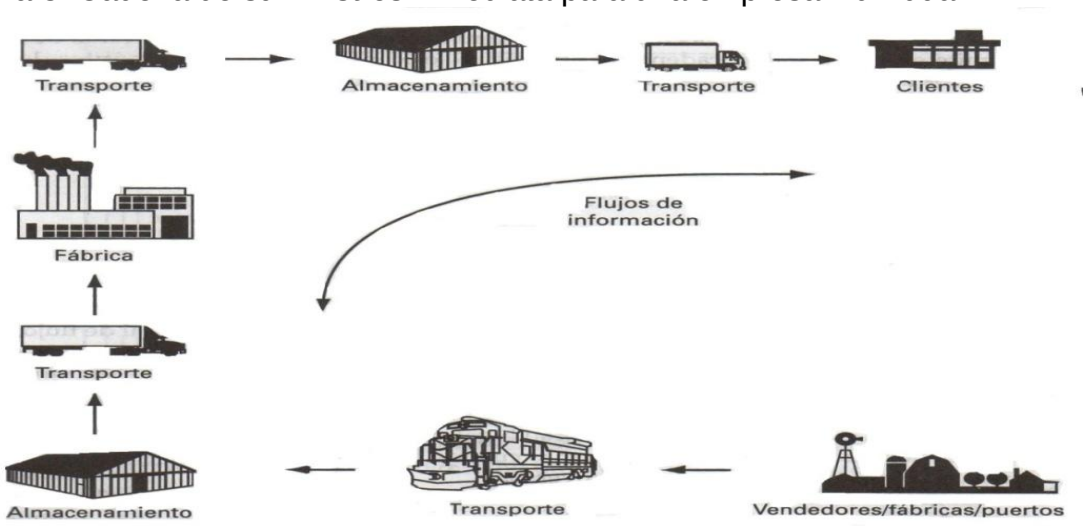
cliente final, ya que este puede presentar fallas, o puede volverse obsoleto y en estos casos son devueltos a su fabricante para reparacion o eliminacion. Esta devolucion necesita una logística que se ha denominado logística reversiva y al hacer todo el proceso se obtiene que “la cadena de suministros termina con la eliminacion final del producto”[18].

Este tema es importante para el desarrollo del proyecto ya que la modelacion va ser para las cadenas de sumnistro y se debe saber que actividades la conforman para tomar en cuenta todas las variables.

4.2.3 Transporte

El transporte es uno de las principales actividades de la logística, su función es llevar el producto de donde es fabricado hasta donde el cliente lo requiere. El transporte ha sido motivo de estudio por muchos años, ya que es responsable de una gran cantidad de los costos logísticos. En el 2007 el transporte fue responsable del 61,3% de los costos de la logística[19]. Modificando rutas, orden de repartir los pedidos, capacidades dependiendo del tipo de transporte que se use, han sido una de las tantas formas de minimizar los costos del transporte.

Figura 3. Cadena de suministros inmediata para una empresa individual



Fuente: BALLOU, Ronald H. Logística Administración de la Cadena de Suministros. Quinta Edición. Mexico: Pearson Education, 2004, p. 8.

En la Figura 3 se describe una cadena de suministros inmediata para una empresa individual se indica donde toman lugar las actividades de la cadena de

[18] Ibíd., p. 8.

[19] WILSON, Rosalyn. 19th Annual “State if Logistics Report”, Council of Supply Chain Management Professionals, Oak Brook, IL, June 2008.

suministros de una empresa. El transporte juega un papel importante entre todos los nodos de la cadena de suministros. Este representa tiempo y costos, por lo que su estudio es de suprema importancia para la mejora de la cadena de suministros.

El transporte tiene dos funciones básicas que son mover el producto y proveer almacenaje de los bienes. El principal objetivo del transporte es llevar los bienes de un lugar a otro a lo largo de la cadena de suministros. El transporte juega un papel muy importante también en la logística reversible de la organización, sin un método de transporte confiable, garantizar un buen servicio es muy difícil. El transporte consume recursos financieros, de tiempo y de medio ambiente, por esto es muy importante el estudio de la optimización de esta actividad. Aunque almacenar bienes no es la función principal del transporte es un efecto indirecto. Cuando un camión está siendo utilizado para almacenaje, no puede ser utilizado para transporte y como almacenaje es mucho más costoso que una bodega fija.

Para reducir los costos del transporte se pueden aprovechar dos formalidades de reducción de costos: economías de escala y rebajas por distancias. La economía de escala se presenta cuando se reducen los costos entre más producto sea transportado. Las rebajas por distancias son cuando los costos rebajan entre más distancia tenga el recorrido.

Hay diferentes modos de transporte que son utilizados dependiendo la necesidad, en algunos casos se necesita capacidad, velocidad, disponibilidad y para cada ocasión hay un modo de transporte adecuado.

Uno de los medios de transporte más usados es el terrestre en camión, esto se debe a su gran versatilidad debido a la gran cantidad de rutas disponibles para sus recorridos, esto permite que este medio de transporte sea el de mayor cobertura. Además que presentan un bajo porcentaje de daños en el servicio y dependiendo las distancias pueden ser muy rápidos y efectivos. Los costos fijos de operación son bajos ya que las autopistas son provistas por el gobierno.

El tren es otro medio de transporte que en ocasiones es más barato que el camión ya que sus costos variables son más económicos, pero los costos fijos son muy altos debido a la infraestructura que manejan los trenes. Medios de transporte por agua tienen muchos beneficios en costos debido a su gran capacidad en peso y volumen que contienen los portacontenedores. Al contrario de los modos por agua que tienen mucha capacidad los modos aéreos, tienen poca, pero su ventaja es la velocidad del transporte. Este medio es ideal para productos que tienen poca longitud de utilidad como las flores. Uno de los medios que ha estado en gran crecimiento ha sido el modo de ductos, es ideal para transportar líquidos con bajos costos variables. Pero la infraestructura necesaria para este medio es extremadamente costosa debido a los permisos y la construcción de las vías.

A continuación se presentan algunas tablas que relacionan los costos y variables significativas entre los modos de transporte. Dependiendo de las necesidades de la cadena de suministros se escogerá el transporte más adecuado teniendo en cuenta las siguientes variables.

Tabla 2.Características Operativas relativas por modo*

Características de Operación	Tren	Camión	Agua	Ductos	Aire
Velocidad	3	2	4	5	1
Disponibilidad	2	1	4	5	3
Confianza	3	2	4	1	5
Capacidad	2	3	1	5	4
Frecuencia	4	2	5	1	3
Total	14	10	18	17	16

*El menor número es mejor.

Fuente: BOWERSOX, op. cit., p. 209

Tabla 3. Estructura de Costos para cada modo

	Costos Fijos	Costos Variables
Vías Tren	Altos: por equipos, terminales, rieles	Bajos
Autopistas	Bajos: Provistos por gobierno	Medianos: Gasolina, Mantenimiento
Agua	Medianos: Barcos y equipos	Bajos debido a la gran capacidad de los barcos
Ductos	Más Altos: Permisos de construcción, construcción, bombas de bombeo	Más bajos: Nos hay costos variables
Aire	Bajos: Avión y sistemas de cargo	Altos: Gasolina, mantenimiento

Fuente: BOWERSOX, op. cit., p. 209

La tabla 2 nos presenta las ventajas de cada modo de transporte y se observa que el terrestre en camión lleva la delantera frente a los otros modos y es por esto que es el más usado. El desarrollo del proyecto se basará en transporte terrestre por las superioridades que este presenta. De igual manera se presentan casos en donde el bien a transportar presenta características que exigen otro tipo de transporte. Por ejemplo, para productos altamente perecederos como las flores, se

escoge el transporte aéreo, o productos con mucho peso o volumen, si es posible se elige transporte por agua, debido a la alta capacidad que estos buques presentan.

Este tema es importante para el desarrollo del proyecto debido a que se debe tomar en cuenta las alternativas de transporte para identificar las ventajas y desarrollar los modelos matemáticos con base al modo que sea más conveniente para la cadena de suministro que estemos modelando.

4.2.4 Tarifas

Hay siete factores que establecen las tarifas del transporte: distancia, peso, densidad, *stowability,* manejo, responsabilidad y mercado.

Aunque no todos los factores influyen de manera directa tienen alguna relación con las tarifas. El más importante es la distancia, ya que esta interviene directamente con los costos variables del transporte, como gasolina, tiempo de conducción, etc. El peso es el segundo factor más importante, y como en muchos casos, influyen las economías de escala. Entre mayor sea la carga, el costo por unidad de peso disminuirá. La densidad es una relación entre el peso y el volumen, este se tiene en cuenta ya que la mayoría de las restricciones en el transporte se dan por área y no por peso.

Stowability[20] se refiere a las dimensiones y formas de los paquetes que se van a transportar. Esta medida es importante, ya que formas extrañas pueden ocupar mucho espacio innecesariamente. El manejo de los materiales puede indicar una tarifa más alta si es complejo el manejo. La responsabilidad de los bienes que se deben transportar es un factor muy importante ya que los transportistas se deben proteger contra daños en los bienes o deben cubrir con toda la responsabilidad.

El mercado al que va destinado el bien aunque no afecte directamente las tarifas se debe tener en cuenta, ya que si es un mercado lejano y poco comercial muy probablemente el camión se devolverá vacío, sin embargo los costos variables seguirán aumentando.

Anteriormente los trasportistas eran obligados a utilizar la tabla de fletes propuesta por el Ministerio de Transporte. El pasado 14 de junio del 2011 el Presidente Juan Manuel Santos firmo el decreto eliminando la tabla de fletes. Ahora los precios del transporte de carga son establecidos por el sistema de información de costos eficientes, Sice, y la ley de oferta y demanda[21].

---

[20] BOWERSOX, op. cit., p. 209

[21] VANGUARDIA.COM. Presidente Santos firma decreto que elimina la tabla de fletes [en línea]. Bucaramanga, 2011. [Consultado el 28de abril, 2012]. Disponible en internet: http://www.vanguardia.com/historico/108767-presidente-santos-firma-decreto-que-elimina-tabla-de-fletes

Ya que los precios del transporte en Colombia pueden ser decisión de las compañías transportistas, están tienen la gran responsabilidad de asignar precios adecuados que cubran todos los costos del viaje y además aprovechen los comportamientos de la oferta y la demanda. El Revenue Management puede ser de gran utilidad para asignar los costos a los fletes terrestres ya que toman en cuenta muchas variables que anteriormente la tabla de fletes no asumía.

4.2.5 Revenue Management

Revenue Management (RM) es una forma de gestionar la oferta y la demanda que ayuda a la empresa a maximizar sus ingresos equilibrando los controles sobre el inventario y las tarifas. Focaliza a la organización para incrementar el beneficio aplicando tácticas para prever el comportamiento del cliente a escala de micro mercado y controlar la disponibilidad de inventario para cada nivel de tarifas[22].

El RM surgió en los años ´70 como un instrumento para maximizar los ingresos en las aerolíneas. Fue introducido por American Airlines en EEUU mediante un modelo de reservaciones con tarifas dinámicas donde se tenía en cuenta el tipo de cliente, la temporada y la anticipación de la compra para fijar el precio. El RM tuvo resultados excelentes y fue utilizado en otros sectores de servicios que tuvieran las mismas características como la hotelería. Ahora se quiere aplicar las estrategias de *pricing* del RM a las empresas de productos extrapolando algunos conceptos básicos de disponibilidad del producto y capacidad del proceso.

Según Chopra[23], se define como el uso del *pricing*[24] para aumentar las utilidades generadas a partir de bienes de la cadena de suministros limitados. Los bienes más importantes en la cadena de suministros, que son los que se deben considerar para optimizar las utilidades son la capacidad y el inventario. Los bienes disponibles de capacidad están presentes en el área de producción, transporte y almacenamiento. Los bienes de inventarios existen a lo largo de la cadena de suministro y son llevados de un punto a otro para mejorar la disponibilidad del producto ante el cliente.

Un ejemplo del RM en el transporte de la cadena de suministros es el de una compañía de transporte terrestre. Por lo general las compañías fijan un precio dependiendo de la distancia y la cantidad de producto a transportar, pero lo que implica el RM es que se tome en cuenta la anticipación con la que se toma el servicio. Otra opción puede ser que se ofrezca un precio más bajo a los clientes que estén dispuestos a firmar contratos a largo plazo, también tener en cuenta las temporadas de demanda alta para así mismo cobrar más.

[22]EDUCAHRES, op. cit.
[23]CHOPRA, op. cit., p.459.
[24] Asignación de precios.

Todas las anteriores son estrategias de fijación de precios que serán un criterio para maximizar las utilidades, pero es de vital importancia tener un buen manejo de la planeación de la demanda porque esta me indicara cual es el comportamiento de los clientes y con esta puedo basar mis estrategias de fijación de precios.

El RM tiene un impacto significativo en las utilidades de la cadena de suministro cuando uno o más de las siguientes condiciones existen:[25]

-El valor del producto varía en diferentes segmentos del mercado.

-El producto es altamente perecedero.

-La demanda es estacionaria o tiene otros picos.

-El producto es vendido al por mayor y al detal.

Este tema es importante para el desarrollo del proyecto debido a que utilizaremos los conceptos básicos de RM para modelar la cadena de suministro con las variables indicadas por el RM. Se escogerá que condición se modelará para evidenciar cambios en las variables de decisión con respecto al transporte.

4.2.6 Problemas de logística modelados

En la práctica muchas empresas no modelan los problemas de transporte o distribución ya que la gente tiende hacer lo que ha funcionado en el pasado. Algunas veces toman decisiones acertadas pero no siempre tienen en cuenta todos las variables que puedan afectar el costo de las operaciones. La investigación de operaciones es un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar de un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos. En el enfoque científico de toma de decisiones, se requiere el uso de uno o más modelos matemáticos. Estos son representaciones matemáticas de situaciones reales que se podrían usar para tomar mejores decisiones, o para entender mejor la situación real.[26] Se recomiendan siete pasos para la construcción de un modelo[27]:

1. Plantear el problema: Objetivos específicos y estudios previos del problema.
2. Observar el sistema: Reunir información.
3. Formular un modelo matemático del sistema: Existen diferentes técnicas para modelar un sistema.
4. Verificar el modelo y utilizar el modelo para predecir.

[25] CHOPRA, S. Supply Chain Management Strategy, Planning & Operation.2007 Pearson Prentice Hall.New Jersey. Pág. 460
[26]WINSTON Wayne L. Investigación de Operaciones Aplicaiones y Algoritmos. Cuarta edición. 2008. Cengage Learning. Mexico D.F. Pág. 2
[27]Ibid. Pág. 5

5. Seleccionar una opción adecuada: Puede haber más de una solución, el investigador debe tomar la decisión más apropiada para la empresa.
6. Presentar resultados.
7. Poner en marcha y evaluar recomendaciones: Confirmar que el modelo si funciona correctamente.

Los elementos teóricos explorados fueron útiles para identificar todos los aspectos que se deben tener en cuenta al modelar una cadena de suministro. La modelación matemática debe ser precisa con respecto al comportamiento real de la cadena, así los resultados serán útiles y precisos. Para reconocer como funciona la cadena de abastecimiento, se deben analizar sus bases y para esto se hizo el estudio teórico.

5. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1 RECURSOS

Los recursos que serán necesarios para la realización de esta investigación serán de diversos tipos.

- Para recolectar la información se requiere de recursos bibliográficos disponibles en la biblioteca de la universidad y en sus bases de datos.
- También se recolectará información de internet como papers, artículos de revistas y proyectos realizados anteriormente.
- Para la realización del modelo matemático se requiere computadores con paquetes básicos de elaboración de proyectos (Word) y con herramientas de programación (CPLEX).
- El acompañamiento de los tutores temáticos y metodológicos que brindan apoyo en cuanto al desarrollo del proyecto.

5.2 CRONOGRAMA

En el Anexo 2, se presentan las actividades que se van a realizar para llevar a cabo el proyecto. También son asignados los recursos disponibles a las actividades.

5.3 EQUIPO DE INVESTIGADORES

El equipo destinado para la investigación y elaboración de este proyecto son:

Alexandra Henao- Estudiante de octavo semestre de ingeniería industrial de la universidad Icesi.

Andrés Felipe Osorio- Ingeniero industrial con Maestría en ingeniería industrial y especialización en logística, Profesor tiempo completo en Universidad Icesi, quien desempeña el rol de tutor temático.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 CARACTERIZAR UN MODELO DE RM IDENTIFICANDO LAS VARIABLES QUE SE ENCUENTRAN PRESENTES Y LA RELACIÓN CON LA CADENA DE SUMINISTROS.

El diseño de la cadena de suministros está relacionado con toma de decisiones de locación, flujo, inventarios, transportes, tiempos de entrega, entre otros. Estas decisiones pueden estar en niveles tácticos, estratégicos y operacionales. En este proyecto se exploraron las decisiones en niveles tácticos y estratégicos. Aunque las decisiones de flujo y transporte son de nivel táctico, estas son un factor decisivo a la hora de tomar decisiones estratégicas en una cadena de suministros. Esto sucede porque el transporte tiene una gran repercusión en los costos de la cadena de suministros. Estos costos pueden ser primarios en decisiones de localización y flujos entre las partes de las cadenas. Las decisiones de localización son de nivel estratégico, ya que construir un centro de distribución o una nueva planta requiere de inversión y son decisiones pensadas a largo plazo.

Tabla 4. Tipo de decisiones y nivel de decisión

	NIVEL DE DECISION		
Tipo de Decisión	*Estratégica*	*Tactica*	*Operacional*
Localización	No. de instalaciones, tamaño y localización	Asignación de inventario	Determinación de rutas y despacho
Transporte	Selección de modos	Mezcla de servicio	Cantidades de reabastecimiento y horarios de servicio

Fuente: Ballou, Ronald. Business Logistics Management. 1999. p 45.

Mediante el desarrollo de este proyecto se analizó los cambios en la toma de decisiones mediante la implementación de Revenue Management. Se mencionaron los posibles campos para aplicar las técnicas de RM en una cadena de suministros:

- Economías de escala por cantidad de producto
- Economías de escala por distancia
- Contratos a largo plazo
- Segmentación de mercados con diferentes precios
- Productos perecederos
- Demandas estacionarias
- Demandas elásticas

Para la implementación de RM en las decisiones de transporte en las cadenas de suministro de este proyecto se tomó en cuenta la primera opción. Al modificar los costos de transporte se pueden alterar las decisiones de localización y flujo, ya que estas dependen en gran parte del costo del transporte. Las economías de escala se utilizan, ya que el costo de transporte por unidad se ve disminuido al aumentar la cantidad de producto a enviar de las plantas a los centros de distribución. Los conceptos de economías de escala se pueden relacionar con el concepto de ventas al por mayor y al detalle del RM.

6.1.1 Características del Modelo

El modelo se puede aplicar a una cadena de suministros que involucre los proveedores de materia prima, la producción del producto terminado, el almacenamiento en centros de distribución y su envío final al cliente.

El modelo se realizó en un horizonte de varios periodos, lo que permitió acumular inventarios en los centros de distribución. El modelo debe balancear los costos de mantener inventarios y de aprovechar las economías de escala, siempre cumpliendo con la demanda de los clientes y con restricciones de capacidad en todos los puntos de la cadena.

Se manejan varias materias primas dependiendo del BOM del único producto terminado. Sin embargo, se considera que el abastecimiento de materia prima es confiable, por tal motivo no se requiere bodega de materia prima en planta, ni se mantiene inventario de materia prima.

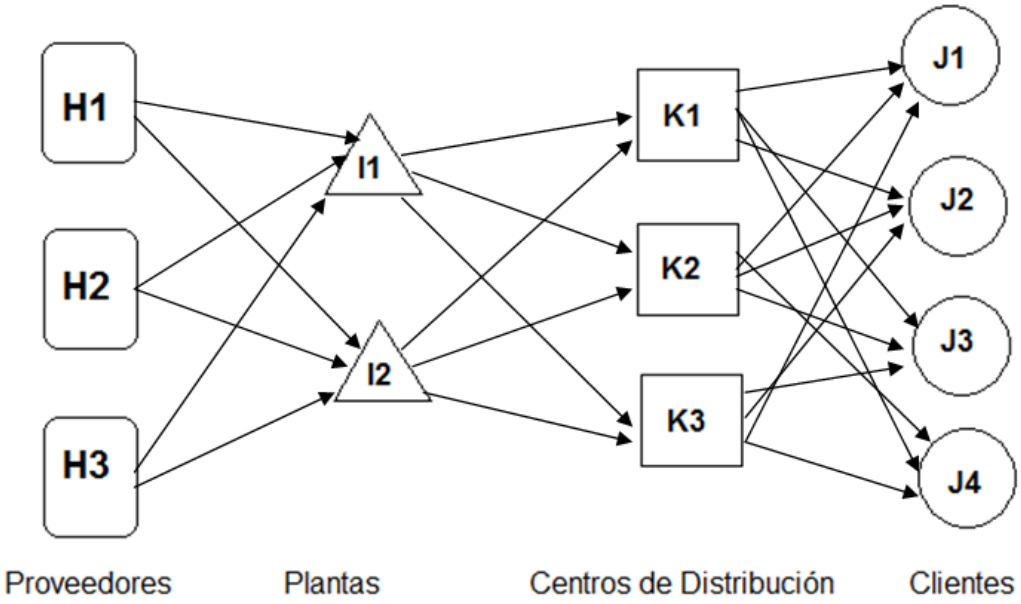
La función objetivo cubre los costos fijos de los centros de distribución, los costos de fabricación del producto, los costos de transporte entre los nodos y los costos de mantener y manejar inventario en los CD.

Las decisiones básicas en un diseño de la cadena de suministros pueden involucrar:

- A qué proveedor comprar la materia prima.
- En qué planta voy a producir.
- En qué centro de distribución voy almacenar los productos terminados.
- Qué centro de distribución va a atender a cada cliente.
- Qué nivel de inventario se va a mantener en cada centro de distribución.

El sistema modelado, presenta su diagrama de distribución así:

Figura 4. Red de la cadena de suministro modelada.

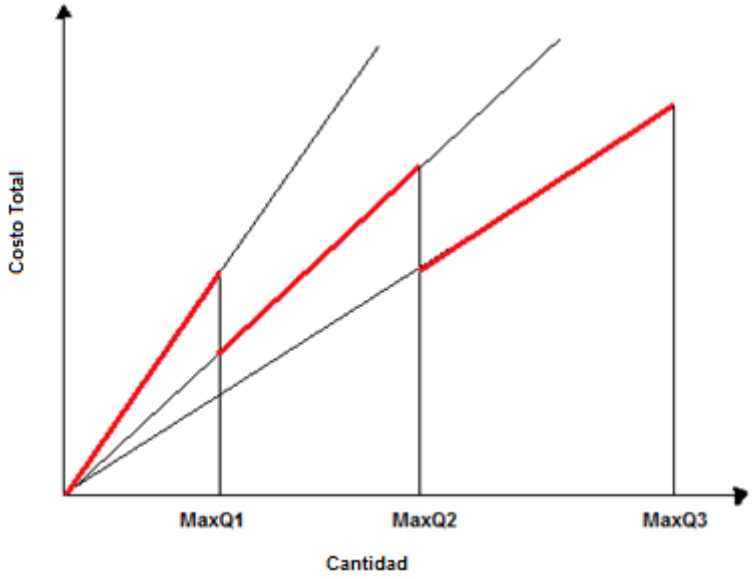


Fuente: Toro, Hector Hernan. “Modelación Matemática de la Cadena de Abastecimiento en busca de Localización Eficiente de Plantas y/o Centros de Distribución en el Ámbito Colombiano.”

Se implementaron las economías de escala en los costos del transporte de planta a centros de distribución. De esta manera a mayor cantidad de productos a transportar, menor es el costo unitario de transporte.

Las economías de escala se modelaron bajo dos tipos de descuentos, descuentos en toda la cantidad de productos y descuento incremental. El primero, tiene rangos de descuento y cuando la cantidad de productos a transportar supera el límite superior del rango, todas las unidades a transportar adquieren un costo menor, dependiendo el costo por unidad del nuevo rango. En la figura 5 se observa el comportamiento del costo total del transporte dependiendo el descuento que obtenga por la cantidad de producto a transportar.

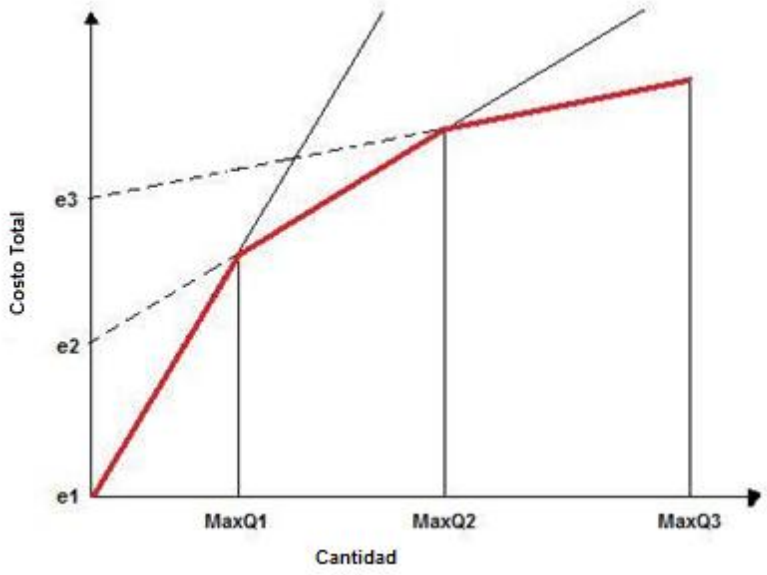
Figura 5. Full Quantity Discount



Fuente: GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011 Springer. Pág. 617

El modelo de descuento incremental, también tiene rangos de descuentos pero cuando la cantidad de productos a transportar supera el límite superior del rango, solo las unidades después del límite adquieren el descuento.

Figura 6. Incremental Discount



Fuente: GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011 Springer. Pág. 617

6.2 REALIZAR UN MODELO CONCEPTUAL QUE INVOLUCRE DECISIONES DE PRECIO Y TRANSPORTE EN LA CADENA DE SUMINISTRO

En este punto, se describirán los elementos tenidos en cuenta para la modelación, como los conjuntos, parámetros, variables, restricciones y la función objetivos. Es importante definir cada elemento para tener claridad sobre el modelo real que se modela, de esta manera se tendrá más precisión en la elaboración del modelo.

6.2.1 Conjuntos del modelo

Materia Prima- La elaboración del producto cuenta con varias materias primas que se deben tener en cuenta, ya que la cantidad de cada una en el producto terminado es diferente.

Proveedor- Existen varios proveedores de todas las materias primas. Cada uno tiene capacidades de producción diferente dada en horas hombre.

Planta – Las plantas de producción, son las encargadas de transformar la materia prima en producto terminado. Estas tienen una capacidad dada en cantidad de unidades a producir. Cada una tiene costos de producción diferentes entre sí.

Centro de Distribución (CEDI) – Los centros de distribución, son posibles locaciones que se pueden tomar para abrir un CEDI. Estas cuentan con ubicación, capacidad y costos de manejo y almacenamiento de inventario diferente. El modelo debe dar como resultado que CEDI, sino todos, serán abiertos.

Clientes – Los clientes son la entrada principal del modelo, ya que cada uno de ellos tiene diferentes demandas. Esta demanda debe ser satisfecha completamente en el periodo estipulado.

Periodo – El sistema se modelara durante varios periodos.

Rango Descuento – Para la implementación de RM en el modelo base, se harán descuentos al costo del transporte, por cantidad de unidades enviadas. Se establecerá en que rango de descuento se encuentra cada envío.

6.2.2 Variables de decisión del modelo

Apertura de Centro de distribución- Esta decisión es de locación, en el modelo hay una seria de CEDIs que se pueden abrir para prestar el servicio de almacenaje entre plantas y clientes. El modelo debe decidir cuál CEDI abrir dependiendo de sus costos de manejo y de almacenamiento de inventario, sus costos fijo y su capacidad. El modelo también tendrá en cuenta los costos de transporte entre plantas-CEDI-cliente, para minimizar los costos.

Flujo entre proveedores, plantas, CEDI, y clientes en cada periodo- De esta declaración se despliegan 3 variables de decisión, que representan la cantidad de producto a enviar entre los nodos de la cadena de suministros.

Niveles de inventario en los Centros de Distribución- Esta variable está definida por el promedio de los envíos a los CEDI, para calcular el costo de mantener este inventario en bodega.

Descuento tomado para transporte entre Planta y CEDI- Esta variable define que rango de descuento tomó un envió de producto entre planta y CEDI. También se utilizó para restringir el uso de descuentos de un envió a solo uno.

6.2.3 Restricciones del modelo

La mayor restricción del modelo y la que empieza toda la cadena de distribución es la demanda de los clientes, ya que ésta debe ser satisfecha completamente. Otras restricciones del modelo fueron establecidas por las capacidades en cada punto de la cadena de suministros. Es decir, por la capacidad de los proveedores para suplir las materias primas, de las plantas para producir y de los centros de distribución para almacenar el producto terminado.

Se creó una variable de inventarios para los centros de distribución y esta depende del flujo de entrada a cada CD. También se hizo una restricción de un balance en las plantas, lo que ingresa en materia prima debe ser lo mismo que sale en producto terminado dependiendo del BOM (Bill of Materials). Se crearon restricciones para modelar las economías de escala que se explicaran a fondo en el modelo.

6.2.4 Función Objetivo

La función objetivo para el modelo es minimizar los costos totales relevantes de la cadena de suministros. Estos costos incluyen transporte entre los puntos, manejo de inventarios, costos de producción, costos de almacenamiento y costos fijos de centros de distribución.

6.3 DESARROLLAR UN MODELO MATEMÁTICO PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO REGIONAL INCLUYENDO CONCEPTOS DE *REVENUE MANAGEMENT* EN LAS DECISIONES DE TRANSPORTE

En este punto, se realizara el modelo matemático formal teniendo en cuenta todas las características planteadas y la construcción del modelo conceptual en el punto anterior.

6.3.1 Modelo Full Quantity Discount

Conjuntos:

j – Clientes (...)

k – Centro de Distribución (…)

i – Planta (…)

h – Proveedor (…)

t – Periodo (1,2...6)

r – Rango Descuento (1,2,3)

m – Materias Primas (…)

Parámetros:

Dem_{jt} – Demanda cliente j en el tiempo t

$CapP_i$ – Capacidad planta i

Cap_h – Capacidad proveedor h en horas hombre

$CapC_k$ – Capacidad CEDI k

$MaxQ_r$ – Máxima cantidad para el rango de descuento r

Con_{hm} – consumo del proveedor h de la MP m (en hr-hombre)

$CanMP_m$- Cantidad de materia prima m necesaria para PT

$CostoF_k$ – Costo fijo de abrir CEDI k

$CostoT_{him}$ – Costo de transporte de proveedor h a planta i por unidad de mp m

$CostoP_i$ – Costo de producción en la planta i por unidad

$CostoTM_{rik}$ – Costo marginal de transporte en el rango de descuento r de la planta i al CD k.

$CostoTF_{kj}$ – Costo de transporte del CEDI k al cliente j por unidad

$CostoI_{k}$ – Costo de mantener una unidad de inventario en la CEDi k

$CostoM_{k}$ – costo de manejar una unidad del inventario e el CEDI k, incluye recepción despacho.

Variables

$ApeCEDI_{k}$ - Binaria 1= se abre CEDI k 0= no se abre CEDI k

$FlujoPP_{mhit}$ – Cantidad de materia prima m de proveedor h a planta i en el tiempo t

$FlujoPC_{ikrt}$- Cantidad de producto de planta i a CEDI k en el rango de descuento r en el tiempo t

$FlujoCC_{kjt}$- Cantidad de producto de CEDI K a cliente j en el tiempo t

$Descu_{rikt}$ – Variable de estado de descuento. 1= se toma descuento r 0= no se toma el descuento de la planta i al CEDI k en el tiempo t

Inv_{kt}- Nivel de inventario en el CEDi k al final del tiempo t

F.O: Minimizar Z:

La función objetivo es minimizar los costos totales relevantes de la cadena de suministros. Primero se tiene en cuenta los costos fijos de los centros de distribución, dependiendo de su apertura. Se suman todos los costos de transporte entre los nodos de la cadena, incluyendo proveedores, plantas, centros de distribución y clientes. Los costos de los centros de distribución incluyen costo de mantener el inventario y costo de manejo de los flujos en el CD. Por último se suma el costo de producción de cada planta.

Restricciones=

(1) Capacidad Proveedores

(2) Capacidad Planta

(3) Capacidad CEDI

(4) Nivel Inventarios CEDI

(5) Balance Planta

(6) Demanda

Transporte:[28]

(7) Límite Inferior

(8) Límite superior

(9) Restringir 1 solo descuento

Lógicas

(10) No Negatividad:

(11) Binarias:

[28] GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011. Springer. Pag.617.

Las restricciones de capacidad son necesarias para un modelo de optimización ya que cada nodo de la cadena de suministro tiene límites de producción o almacenamiento. Para los proveedores, la capacidad está dada por la disponibilidad de la mano de obra (1). La cantidad total de materia prima que produce un proveedor no debe sobrepasar la cantidad de horas-hombre disponibles. La capacidad de la planta (2) está dada por cantidad de artículos a producir. Es por esto que lo que se envié a todos los centros de distribución desde una sola planta de producción no puede superar su capacidad. Ya que la apertura de los centros de distribución es una variable de decisión, su capacidad depende de si se abre o no. La capacidad de los CD (3) está sujeta a la máxima cantidad de flujo de entrada que puede haber de todas las plantas.

Se creó una variable para medir el nivel de inventarios en los centros de distribución (4). Esta variable depende estrictamente del flujo de entrada de todas las plantas. Ya que esta variable es para tomar decisiones estratégicas, se usa como promedio y por esto se divide en 2. De igual manera, los centros de distribución deben cumplir con la ecuación de balance, que indica que lo que entra debe ser igual a lo que sale.

Para las plantas se deben hacer restricciones de balance, para asegurar que lo que entre sea igual que lo que sale. Debido a que el producto que se fabrica requiere diferentes materias primas, la restricción (5) indica que todas las materias primas que ingresan a las plantas deben ser igual al total de materia prima utilizada para los productos que salen de la empresa. Se asume que no puede haber inventario de materia prima en la planta de producción.

La restricción que controla toda la cadena de suministros es la demanda de los clientes (6). Se tiene que cumplir que lo que salga de los centros de distribución sea igual a la demanda de los clientes.

Para la implementación del Revenue Management, se deben hacer las restricciones de los costos con descuentos por cantidad. Este modelo es para Full Quantity Discount, cuando se pasa el límite del descuento, todos los productos obtienen el descuento. Se hacen dos restricciones, una de límite superior y otra de límite inferior. La restricción del límite inferior (7) es que la cantidad a transportar tiene que ser mayor a la máxima cantidad del rango de descuento anterior. El límite superior (8) es que la cantidad a transportar debe ser menor a la máxima cantidad del descuento actual. También se debe restringir que solo se tome un descuento, ya que la cantidad a transportar no puede estar en varios rangos de descuento a la vez. (9)

Por último las restricciones lógicas de no negatividad para las variables de decisión (10). Las variables binarias se deben indicar entre 0 y 1 (11).

6.3.2 Modelo Incremental Discount Cost Model

El modelo Incremental Discount Cost Model, tiene los mismos conjuntos que el Full Quantity Discount Model (pág. 32). Este tiene un parámetro adicional que es la intersección con el eje y para hallar la ecuación del costo de transporte, que se definió como . Esta intersección, sirvió para calcular el costo total del transporte de la plantas a los centros de distribución incluyendo los descuentos por cantidad brindados por la empresa transportadora.

Las variables de decisión son las mismas que en el modelo anterior. Lo que cambia del modelo de Full Quantity al modelo Incremental es la forma de hallar el transporte de plantas a CEDIs en la función objetivo.

F.O: Minimizar Z:

[29]

La función objetivo es minimizar la función de costos de la cadena de suministros. Primero se tiene en cuenta los costos fijos de los centros de distribución, dependiendo de su apertura. Se suman todos los costos de transporte entre los nodos de la cadena, incluyendo proveedores, plantas, centros de distribución y clientes. Los costos de los centros de distribución incluyen costo de mantener el inventario y costo de manejo de los flujos en el CD. Por último se suma el costo de producción de cada planta.

El costo de transporte de las plantas a los CD, tiene una función de acuerdo a los costos por descuento incremental. Esta función determina en que sector de la

[29] GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011. Springer. Pag.617

recta se encuentra la cantidad a transportar y calcula el costo mediante la intersección de esta recta con el eje y. Esta intersección está dada por el parámetro y lo que se busca en la función objetivo es crear la ecuación de la recta y=mX+b, en donde m es $CostoTM_{rik}$ (Costo marginal de transporte en el rango de descuento r de la planta i al CD k), X es y por ultimo b es . La variable al ser binaria, habilita la intersección correspondiente a la recta en la cual se encuentra la cantidad a transportar.

Las restricciones son iguales al modelo Full Quantity Discount, sin embargo se muestra toda la modelación del modelo Incremental Discount en el Anexo 3.

6.4 APLICAR EL MODELO PLANTEADO A UN CASO Y DESARROLLAR UNA PROPUESTA DE SOLUCIÓN DE ACUERDO A SU NATURALEZA Y COMPLEJIDAD.

El modelo matemático desarrollado es una extensión y variación sobre el trabajo presentado por Héctor Hernán Toro "Modelación Matemática de la Cadena de Abastecimiento en busca de Localización Eficiente de Plantas y/o Centros de Distribución en el Ámbito Colombiano." Se agregaron y eliminaron variables, parámetros y conjuntos para la adecuación del modelo.

6.4.1 Caso de Aplicación

La cadena de suministros presentada por Hector Hernan Toro, es regional y cuenta con 2 proveedores, 2 plantas, 3 posibles centros de distribución, 4 clientes o zonas de consumo, 3 productos finales, 4 materias primas y 2 modos de transporte diferentes. Sin embargo, para aplicar todos los conceptos del RM, se realizaron supuestos y se modificaron algunas variables.

- Principalmente se agregó un conjunto representando los periodos. Esto con el fin de observar el comportamiento de la cadena, teniendo en cuenta inventarios a lo largo del tiempo.
- Se agregó una variable de inventarios para darle peso a las decisiones de flujo, añadiendo costos de manejo y almacenamiento de inventarios.
- Solo se tiene en cuenta un producto, ya que el proyecto está enfocado en economías de escala y descuentos por cantidad.
- El producto escogido para modelar solo requiere de 3 materia primas.
- Solo se utiliza un modo de transporte que es terrestre.
- Se agregaron parámetros y variables de decisión para introducir el modelo de descuentos por cantidad.
- Se eliminó el componente de variabilidad del tiempo de entrega de los productos, para simplificar la aplicación y observación de los cambios al introducir los descuentos en el transporte de planta a centros de distribución.

Los datos del caso base se muestran en el Anexo 4. Estos datos son los planteados por Héctor Hernán Toro. La solución del modelo se realizó mediante el programa de optimización CPLEX. Los datos del caso fueron introducidos como una base de datos de Access. Este modelo ha dado lugar a 202 variables de decisión y debe cumplir con 138 restricciones.

6.4.2 Resultados Modelo Base

La solución del modelo cumple con la demanda requerida por los clientes y a partir de allí construye la red de distribución con la que se obtiene el menor costo. En

este caso, solo abre 2 de los 3 centros de distribución disponibles. Es lógico que se abran por lo menos dos CD, ya que ninguno de los centros de distribución tiene la capacidad suficiente para satisfacer a todo el mercado. El centro de distribución en Manizales a pesar de tener el costo fijo de apertura más alto, tiene costos de manejo y almacenamiento mucho más bajos que en Cali o Bogotá, es por esto que la mayoría de los clientes son atendidos por el centro de distribución de Manizales. La función de costos, es decir la función objetivo del modelo es $945,183,016.

Tabla 5. Resultados Flujos de Materia Prima

Materia prima	Proveedores	Plantas	Periodo	Flujo PP (uni)
MP1	Medellín	Ibagué	1	11667
MP1	Medellín	Ibagué	2	13333
MP1	Medellín	Ibagué	3	10000
MP1	Medellín	Ibagué	4	12000
MP1	Medellín	Ibagué	5	11333
MP1	Medellín	Ibagué	6	11333
MP1	Villavicencio	Armenia	1	48000
MP1	Villavicencio	Armenia	2	48000
MP1	Villavicencio	Armenia	3	48000
MP1	Villavicencio	Armenia	4	48000
MP1	Villavicencio	Armenia	5	48000
MP1	Villavicencio	Armenia	6	48000
MP1	Villavicencio	Ibagué	1	4833
MP1	Villavicencio	Ibagué	2	1667
MP1	Villavicencio	Ibagué	3	8000
MP1	Villavicencio	Ibagué	4	4200
MP1	Villavicencio	Ibagué	5	5467
MP1	Villavicencio	Ibagué	6	5467
MP2	Medellín	Armenia	1	32000
MP2	Medellín	Armenia	2	32000
MP2	Medellín	Armenia	3	32000
MP2	Medellín	Armenia	4	32000
MP2	Medellín	Armenia	5	32000
MP2	Medellín	Armenia	6	32000
MP2	Medellín	Ibagué	1	11000
MP2	Medellín	Ibagué	2	10000
MP2	Medellín	Ibagué	3	12000
MP2	Medellín	Ibagué	4	10800
MP2	Medellín	Ibagué	5	11200
MP2	Medellín	Ibagué	6	11200
MP3	Villavicencio	Armenia	1	16000
MP3	Villavicencio	Armenia	2	16000
MP3	Villavicencio	Armenia	3	16000
MP3	Villavicencio	Armenia	4	16000
MP3	Villavicencio	Armenia	5	16000
MP3	Villavicencio	Armenia	6	16000
MP3	Villavicencio	Ibagué	1	5500
MP3	Villavicencio	Ibagué	2	5000
MP3	Villavicencio	Ibagué	3	6000
MP3	Villavicencio	Ibagué	4	5400
MP3	Villavicencio	Ibagué	5	5600
MP3	Villavicencio	Ibagué	6	5600

Tabla 6. Resultados Flujos de Producto entre Planta y CEDIs.

Planta	CEDI	Periodo	Flujo PC(uni)
Armenia	Manizales	1	16000
Armenia	Manizales	2	16000
Armenia	Manizales	3	16000
Armenia	Manizales	4	16000
Armenia	Manizales	5	16000
Armenia	Manizales	6	16000
Ibagué	Cali	1	5500
Ibagué	Cali	2	5000
Ibagué	Cali	3	6000
Ibagué	Cali	4	5400
Ibagué	Cali	5	5600
Ibagué	Cali	6	5600

Tabla 7. Resultados Inventarios en Centros de Distribución

CEDI	Periodo	Inventario(uni)
Manizales	1	8000
Manizales	2	8000
Manizales	3	8000
Manizales	4	8000
Manizales	5	8000
Manizales	6	8000
Cali	1	2750
Cali	2	2500
Cali	3	3000
Cali	4	2700
Cali	5	2800
Cali	6	2800

Tabla 8. Centros de Distribución Abiertos

CEDI	Apertura
Manizales	SI
Cali	SI
Bogotá	NO

Tabla 9. Resultados Flujos de Productor entre CEDIs y Clientes

CEDI	Cliente	Periodo	FlujoCC(uni)
Manizales	Cucuta	1	6000
Manizales	Cucuta	2	5800
Manizales	Cucuta	3	6200
Manizales	Cucuta	4	6100
Manizales	Cucuta	5	5900
Manizales	Cucuta	6	5800
Manizales	Pereira	1	4000
Manizales	Pereira	2	4100
Manizales	Pereira	3	3900
Manizales	Pereira	4	3700
Manizales	Pereira	5	4300
Manizales	Pereira	6	3900
Manizales	Medellín	1	6000
Manizales	Medellín	2	6100
Manizales	Medellín	3	5900
Manizales	Medellín	4	6200
Manizales	Medellín	5	5800
Manizales	Medellín	6	6300
Cali	Pereira	1	200
Cali	Pereira	2	0
Cali	Pereira	3	500
Cali	Pereira	4	300
Cali	Pereira	5	200
Cali	Pereira	6	300
Cali	Pasto	1	5300
Cali	Pasto	2	5000
Cali	Pasto	3	5500
Cali	Pasto	4	5100
Cali	Pasto	5	5400
Cali	Pasto	6	5300

6.4.3 Resultados Modelo Full Quantity Discount

Los datos adicionales, del caso Full Quantity Discount se muestran en el Anexo 5. Estos datos incluyen los nuevos costos de transporte entre plantas y centros de distribución. El descuento que se realizo fue de 10% para el primer rango y 10% adicional para el segundo rango de descuento. Este descuento se aplicó al valor del transporte entre plantas y centros de distribución del caso base. Lo que se

espera es que el modelo balancee los costos de mantener más inventario contra los descuentos que se puede ganar por enviar más cantidad de producto. La solución del modelo se realizó mediante el programa de optimización CPLEX. Los datos del caso fueron introducidos como una base de datos de Access. Este modelo ha dado lugar a 382 variables de decisión y debe cumplir con 390 restricciones. Se ve un aumento notable en la cantidad de variables de decisión y de restricciones con respecto al caso base, debido a que se introdujo un nuevo conjunto de descuentos y la variable de descuentos que tiene 4 subíndices.

Los resultados de flujos de materia prima entre proveedores y plantas se mantienen igual, ya que allí no hay cambio en la cantidad requerida. La tabla 10, muestra la cantidad de producto enviado desde las plantas a los CEDIs y se observa que rango de descuento obtuvo el envío de los productos. Los niveles de inventario se mantienen igual. Para cumplir la demanda de los clientes el modelo utiliza los mismos centros de distribución que el caso base. Se especula que el modelo mantuvo la misma red de distribución, ya que los descuentos en el transporte no eran muy significativos ante el costo de mantener y manejar una unidad de inventario en los centros de distribución.

El costo total de la cadena, es decir la función objetivo es $944,716,420 lo que representa una disminución del 0,05% con respecto al caso base. Las decisiones de locación permanecen igual, se abren los centros de distribución de Manizales y Cali.

Tabla 10. Resultados Flujo Producto entre Plantas y CEDIs (Full Quantity)

Planta	CEDI	Descuento	Periodo	Flujo PC(uni)
Armenia	Manizales	3	1	16000
Armenia	Manizales	3	2	16000
Armenia	Manizales	3	3	16000
Armenia	Manizales	3	4	16000
Armenia	Manizales	3	5	16000
Armenia	Manizales	3	6	16000
Ibague	Cali	1	2	5000
Ibague	Cali	2	1	5500
Ibague	Cali	2	2	0
Ibague	Cali	2	3	6000
Ibague	Cali	2	4	5400
Ibague	Cali	2	5	5600
Ibague	Cali	2	6	5600

6.4.4 Resultados Modelo Incremental Discount

Este modelo presento los mismos resultados estratégicos que el Modelo Full Quantity Discount, sin embargo, la función objetivo incremento a $945,052,330 ya que la forma de calcular los descuentos varia. En este modelo solo las unidades después del rango máximo reciben el descuento, es por esto que la función objetivo incremento. Las decisiones de locación permanecen iguales en los tres modelos.

6.5 EVALUAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL RESOLVER EL MODELO EN EL CASO DE APLICACIÓN.

En este punto, se evaluaran los resultados de los modelos que se realizaron con base al caso de aplicación. También se harán supuestos para entender el comportamiento de la cadena de suministros.

6.5.1 Validación de los modelos

Para identificar como responden los modelos ante algunos cambios en el sistema, se realizaron algunas variaciones a los datos de entrada. Se muestran los resultados resumidos a continuación.

Tabla 11. Variaciones de validación sobre los modelos.

Variación	Modelo base	Full Quantity Discount	Incremental Discount
Reducir a 0 la capacidad de Ibagué	No hay solución factible	No hay solución factible	No hay solución factible
Duplicar la capacidad de la planta de Armenia y disminuir a la mitad la capacidad de la planta de Ibagué	Disminuye la función objetivo a $933,336,350 lo que representa un 1,25%. Solo utiliza la planta de Armenia	Disminuye la F.O a $932,880,250 lo que representa un 1,25%. Solo utiliza la planta de Armenia	Disminuye la F.O a $933,242,194 lo que representa un 1,25%. Solo utiliza la planta de Armenia
Duplicar la capacidad de la planta de Ibagué y disminuir a la mitad la capacidad de la planta de Armenia	Aumenta la función objetivo a $964,527,016 lo que representa un 2,05%	Aumenta la función objetivo a $964,032,469 lo que representa un 2,04%	Aumenta la función objetivo a $964,346,540 lo que representa un 2,04%
Duplicar la capacidad del CD de Manizales y reducir a 0 el CD de Cali	Solo abre el CD de Manizales, disminuye la F.O a $936,535,566 lo que representa un 0,91%	Solo abre el CD de Manizales, disminuye la F.O a $936,030,056 lo que representa un 0,92%	Solo abre el CD de Manizales, disminuye la F.O a $936,410,500 lo que representa un 0,91%
Reducir a 0 la capacidad del CD de Manizales	Abre los CD de Cali y Bogotá, aumenta la F.O a $950,518,516 lo que representa un 0,56%	Abre los CD de Cali y Bogotá, aumenta la F.O a $949,586,866 lo que representa un 0,52%	Abre los CD de Cali y Bogotá, aumenta la F.O a $949,968,310 lo que representa un 0,52%

Al cambiar los datos de entrada del modelo y correrlo nuevamente, se modifica la función objetivo, ya que calcula de nuevo la red de distribución bajo nuevos parámetros. El modelo se comporta lógicamente ante los cambios de los datos, por ejemplo en el primer caso, al cerrar una de las plantas, la planta restante no puede cumplir con la capacidad necesaria para satisfacer la demanda, es por esto que el modelo no encuentra solución factible. En el resto de casos se cambia la capacidad de las plantas y de los centros de distribución, ante lo cual el modelo responde de manera coherente. También se puede observar que ante los seis cambios realizados, los 3 modelos tienen algo en común: el modelo Full Quantity Discount siempre tiene menor costo que el Incremental Discount y éste tiene menor costo que el modelo base.

6.5.2 Experimentación con los Modelos

Según los resultados obtenidos al correr los tres modelos propuestos bajo diferentes parámetros, se observa que las decisiones de locación y flujos no tienen cambios significativos. Se especula que esto se debe a que los costos de mantener y manejar inventario son muy altos, en comparación con los descuentos obtenidos por cantidad. Por esto se realizó un análisis de sensibilidad modificando los costos de mantener y manejar inventario. También se realizó un análisis al otorgar descuentos solo de una planta a los diferentes centros de distribución.

6.5.2.1 Reducción de costos de manejo y almacenamiento de inventarios.

Tabla 12. Modificación en costos de almacenaje y manejo de inventario

CEDIs	CostoFijoApertura	CostoManejoInv	CapacidadCD	CostoManterInv
Manizales	12000000	42	16000	32
Cali	5500000	48	14000	38
Bogotá	8000000	47	20000	37

Realizando las modificaciones en la tabla 12, se estudió si los modelos con descuentos se comportaban igual al modelo base. En el modelo base, la función objetivo disminuyo notablemente a un valor de $873,043,616. Ya que los costos de manejo y mantener inventario son menores, el costo fijo de apertura empieza a jugar un mayor rol. En este escenario el centro de distribución de Manizales por su alto costo de apertura. El centro de distribución de Cali, se utiliza a toda capacidad mientras que el de Bogotá está siendo subutilizado.

Sin embargo en el modelo de Full Quantity Discount se observaron cambios en los flujos y utilización de los centros de distribución. En este caso, sí se alteran los flujos para aprovechar los descuentos. El caso más notable es de Armenia a Bogotá, en el modelo de Full Discount se envía 10000 unidades para aprovechar el tercer rango de descuento que es 20% más económico que en el caso base. El modelo de Full Quantity alcanzo una función objetivo de $872,465,476.

Tabla 13. Comparación de Resultados

Full Quantity Discount Model					Modelo Base			
Planta	**CEDI**	**Periodo**	**FlujoPC**	**Descuento**	**Planta**	**CEDI**	**Periodo**	**FlujoPC**
Armenia	Cali	1	6000	2	Armenia	Cali	1	8500
Armenia	Cali	2	6000	2	Armenia	Cali	2	9000
Armenia	Cali	3	6000	2	Armenia	Cali	3	8000
Armenia	Cali	4	6000	2	Armenia	Cali	4	8600
Armenia	Cali	5	6000	2	Armenia	Cali	5	8400
Armenia	Cali	6	6000	2	Armenia	Cali	6	8400
Armenia	Bogota	1	10000	3	Armenia	Bogota	1	7500
Armenia	Bogota	2	10000	3	Armenia	Bogota	2	7000
Armenia	Bogota	3	10000	3	Armenia	Bogota	3	8000
Armenia	Bogota	4	10000	3	Armenia	Bogota	4	7400
Armenia	Bogota	5	10000	3	Armenia	Bogota	5	7600
Armenia	Bogota	6	10000	3	Armenia	Bogota	6	7600
Ibague	Cali	1	5500	2	Ibague	Cali	1	5500
Ibague	Cali	2	5000	1	Ibague	Cali	2	5000
Ibague	Cali	3	6000	2	Ibague	Cali	3	6000
Ibague	Cali	4	5400	2	Ibague	Cali	4	5400
Ibague	Cali	5	5600	2	Ibague	Cali	5	5600
Ibague	Cali	6	5600	2	Ibague	Cali	6	5600

Tabla 14. Resultados Incremental Quantity

Incremental Discount Model				
Planta	**CEDI**	**Periodo**	**FlujoPC**	**Descuento**
Armenia	Cali	1	6000	2
Armenia	Cali	2	9000	2
Armenia	Cali	3	6000	2
Armenia	Cali	4	6000	2
Armenia	Cali	5	6000	2
Armenia	Cali	6	6000	2
Armenia	Bogotá	2	7000	2
Armenia	Bogotá	1	10000	3
Armenia	Bogotá	3	10000	3
Armenia	Bogotá	4	10000	3
Armenia	Bogotá	5	10000	3
Armenia	Bogotá	6	10000	3
Ibagué	Cali	2	5000	1
Ibagué	Cali	1	5500	2
Ibagué	Cali	3	6000	2
Ibagué	Cali	4	5400	2
Ibagué	Cali	5	5600	2
Ibagué	Cali	6	5600	2

El modelo Incremental obtuvo una función objetivo de $872,958,898. Los resultados tuvieron algunas modificaciones, ya que los descuentos no son tan notorios en el modelo de descuentos incrementales, entonces en este caso en el periodo 2 era más rentable mandar 3000 unidades de Armenia a Cali y no obtener el descuento por cantidad al enviarlas a Bogotá.

6.5.2.2 Implementación de Descuentos solo para envíos a Manizales

Dejando los costos de mantener y manejar inventario en los centros de distribución como en el punto anterior, se quiere implementar los descuentos solo para envíos a Manizales. Realizando los cambios en el costo de transporte como se muestra en la tabla 15, se quiere analizar cómo cambian las decisiones y los costos con respecto al caso base. Los envíos de Ibagué a Bogotá no son viables para la empresa que se está modelando.

Tabla 15. Descuentos solo para envíos hacia Manizales

Planta	CEDI	Descuento	Costo Transporte
Armenia	Bogotá	1	44
Armenia	Cali	1	26
Armenia	Manizales	1	21
Ibagué	Bogotá	1	1000
Ibagué	Cali	1	39
Ibagué	Manizales	1	37
Armenia	Bogotá	2	44
Armenia	Cali	2	26
Armenia	Manizales	2	18,9
Ibagué	Bogotá	2	1000
Ibagué	Cali	2	39
Ibagué	Manizales	2	33,3
Armenia	Bogotá	3	44
Armenia	Cali	3	26
Armenia	Manizales	3	17,01
Ibagué	Bogotá	3	1000
Ibagué	Cali	3	39
Ibagué	Manizales	3	29,97

Los descuentos que se obtienen por enviar grandes cantidades de producto a Manizales no son suficientes para reponer los costos fijos de abrir este centro de distribución. El modelo decide seguir supliendo solo a Bogotá y Cali y los resultados quedan iguales que el modelo base.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Después de analizar las variables que se tienen en cuenta a la hora de optimizar una cadena de suministro, observando su influencia en las decisiones estratégicas y tácticas de la misma, se llega a la conclusión que todo el sistema esta interrelacionado y cualquier cambio en los parámetros del modelo puede significar cambios masivos en el diseño de la red de distribución de la empresa. Las herramientas de optimización han sido de gran ayuda para el sector de planificación de las cadenas, ya que se pueden ver como estos cambios impactan directamente la función de costos, lo que permite analizar decisiones de mejora estratégicamente.

Se debe tener en cuenta que cada sistema se comporta de una manera única y especial, donde se tienen diferentes supuestos de funcionamiento y organización. Sin embargo se plantea que se usen los modelos actuales y se adapten a los sistemas que se quieran analizar más a fondo. También es útil usar herramientas como simuladores para evaluar algún cambio en el funcionamiento de la organización a un nivel más operativo.

Este proyecto solo se resolvió para un caso de aplicación planteado y algunos cambios en sus parámetros, sin embargo se recomienda hacer un estudio de este tipo o similar para evaluar las consecuencias en costos de tomar una decisión de flujos entre los nodos de la cadena. Mediante la modelación se pueden balancear los costos de la cadena de suministros para llegar a la combinación óptima que da resultado al menor costo de la cadena.

El Revenue Management trata de maximizar las utilidades mediante estrategias de fijación de precios, aprovechando los cambios de temporadas, diferentes segmentos de clientes entre otros, sin embargo la modelación matemática de este proyecto se dedicó a minimizar costos. Esto se debe a que la aplicación del RM en este proyecto viene desde la empresa transportadora que ofrece descuentos para los clientes que hagan envíos de grandes cantidades de productos. Se expusieron los pros y contras para la empresa que utiliza el servicio y obtiene el descuento, sin embargo se debe hacer un estudio de costos más detallado sobre los pros y contras para las empresas transportadoras al ofrecer este tipo de descuentos. La demanda del servicio puede aumentar, pero se deben tener en cuenta los costos fijos y variables del transporte para evaluar si es un buen negocio para ellos. El RM se puede lograr como un gana-gana para ambas partes que participen en el intercambio de servicios.

7.2 Recomendaciones

A simple vista un descuento en el transporte de plantas a centros de distribución puede parecer muy beneficioso para la persona encargada de la producción. Esta persona puede enviar una cantidad más grande de producto para tomar el descuento que se le ofrece por la compañía transportista. Sin embargo se tiene que tomar en cuenta los costos adicionales que esta decisión pueda generar en otro punto de la cadena. Modelar la cadena que se está analizando es una herramienta que puede ayudar a tomar estas decisiones analizando los pros y los contras de cada variable.

En el último caso de experimentación, donde se implementaron los descuentos por cantidad solo para envíos a Manizales, se pudo pensar que la decisión adecuada era abrir este centro de distribución para aprovechar los descuentos, sin embargo, el modelo encontró que seguía siendo más económico abrir solo los CD de Cali y Bogotá así estos no tuvieran descuentos en sus envíos.

Se recomienda que al tomar decisiones de flujo o de locación en una cadena de suministros se tenga en cuenta las repercusiones que se puedan generar, ya que se debe tener en cuenta que los costos de transporte y de inventarios pueden incrementar por una mala decisión. Cada industria es diferente en sus costos, y debe considerar que tipo de productos maneja por ejemplo, si sus productos son perecederos, no es conveniente hacer envíos de grandes cantidades para aprovechar un descuento si la demanda no es suficiente y se pueden presentar perdidas en productos vencidos.

Para futuras investigaciones, se puede realizar un estudio sobre los impactos de generar este tipo de descuentos para las empresas transportadoras, que es un enfoque financiero a este tema. Sin embargo una de las limitaciones más significativas en la modelación de un sistema o de una cadena de suministros es la obtención de datos precisos. Hay muchos costos que son indirectos que se deben tener en cuenta para la toma de decisiones y en la mayoría de los casos es difícil lograr modelar una cadena con toda la precisión y complejidad del sistema real.

BIBLIOGRAFÍA

1. M., LAMBERT Douglas M. STOCK James R. ELLRAM Lisa. *Fundamentals of Logistics Management.* EEUU : McGraw-Hill, 1998.

2. EDUCAHRES. *"Revenue Management" y las empresas orientadas al cliente .* [En línea] 2005. [Citado el: 21 de 04 de 2012.] http://educahres.com.ar/main/vitx/vitx.aspx?p=96.

3. Bixby, BOWERSOX Donald J. CLOSS David J. COOPER M. *Supply CHain Logistics Management 3rd. Edition.* New York : McGraw Hill , 2010.

4. BALLOU, R. H. *Logística Administración de la Cadena de Suministros.* Mexico : Pearson Education, (2004).

5. Fenalce. *Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas.* [En línea] 2009. [Citado el: 28 de 04 de 2012.] http://www.fenalce.org/pagina.php?p_a=98.

6. *Vanguardia.com.* [En línea] 15 de Junio de 2011. [Citado el: 28 de Abril de 2012.] http://www.vanguardia.com/historico/108767-presidente-santos-firma-decreto-que-elimina-tabla-de-fletes.

7. WINSTON, Wayne. *Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos.* Mexico D.F : Cengage Learning, 2008. Vol. Cuarta Edición.

8. SIMCHI, David. *The Logic of Logistics.* New York : Springer-Verlag, 1997.

9. Ferrer, Juan Carlos. Centro de Estudios de Retail. [En línea] Enero de 2011. [Citado el: 03 de Febrero de 2012.] http://www.ceret.cl/wp-content/uploads/2011/03/revenue-management-e28093-la-importancia-de-conocer-al-cliente-jcferrer.pdf.

10. FARIAS, Vivek Francis. *Revenue Management Beyond: Estimate then Optimize.* Stanford : s.n., 2007.

11. CHOPRA, S. *Supply Chain Management Strategy, Planning & Operation.* New Jersey : Pearson Prentice Hall, (2007).

12. BAÑOS, A. Revenue Management: Conceptos Básicos. [En línea] (2005). [Citado el: 3 de Febrero de 2012.] http://www.fijaciondeprecios.com/upload/archivos/Revenue/Revenue%20Management%20Conceptos%20B%C3%A1sicos.pdf.

13. TALLURI, Kalyan. RYZIN, Garrett. *The Theory and Practice of Revenue Management.* Boston : Kluwer Academic Publishers, 2004.

14. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. ICONTEC. . (2008). Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Bogotá: ICONTEC.

15. TORO, Hector Hernan. “Modelación Matemática de la Cadena de Abastecimiento en busca de Localización Eficiente de Plantas y/o Centros de Distribución en el Ámbito Colombiano.

16. GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011. Spring

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Marco Lógico

Tabla 16. Matriz de Marco Lógico

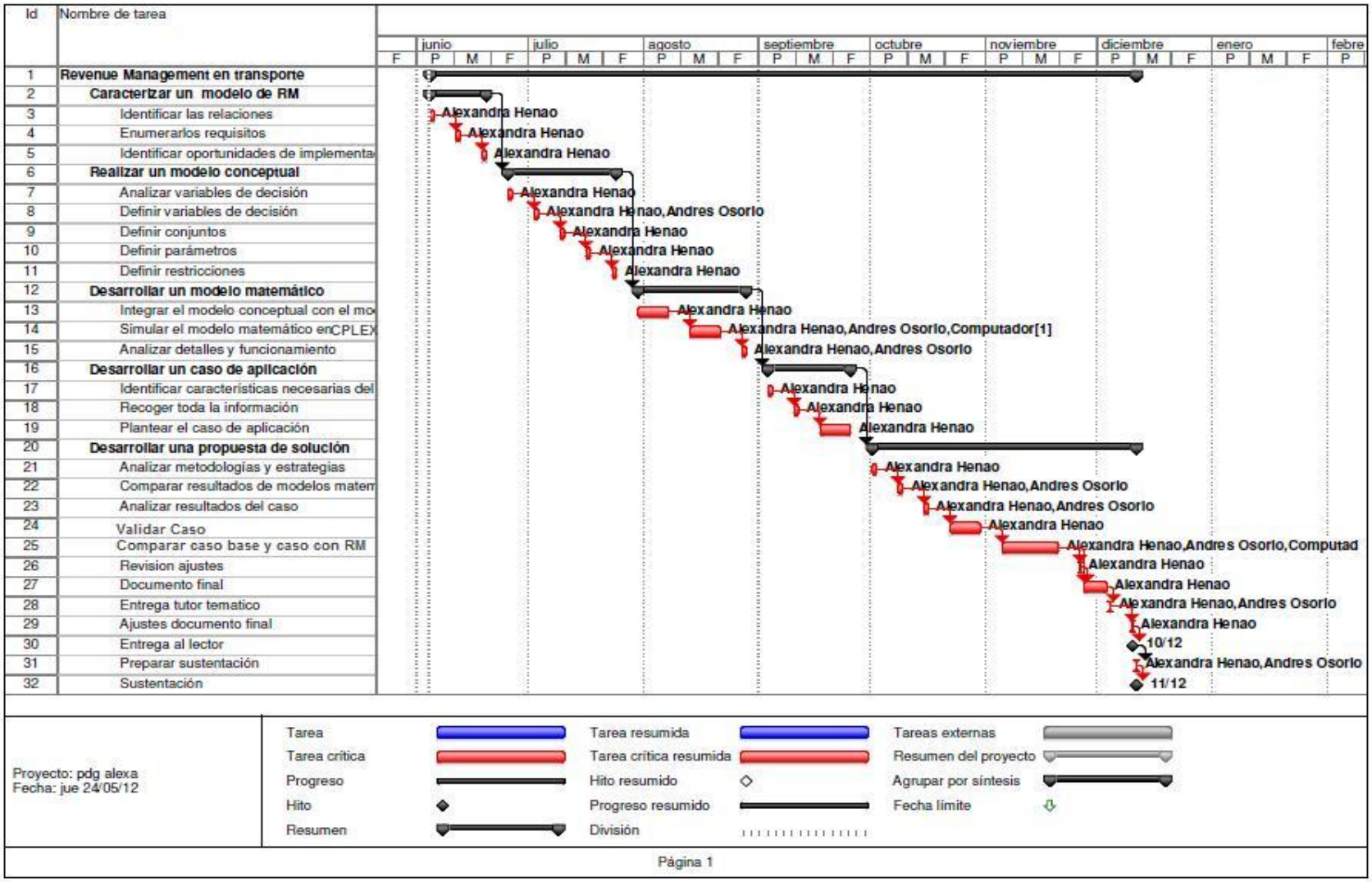
ENUNCIADO DEL OBJETIVO	INDICADORES		MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
	ENUNCIADO	FÓRMULA		
OBJETIVO GENERAL Evaluar la aplicación de conceptos de *Revenue Management* para la toma de decisiones de transporte en una cadena de suministros.				
OBJETIVO DEL PROYECTO Desarrollar un modelo matemático que integre las decisiones de transporte y los conceptos de *Revenue Management* en la cadena de suministros.	Porcentaje de objetivos específicos cumplidos	% objetivos cumplidos/ total objetivos	Reuniones con tutor temático. Entregas realizadas a tiempo	Que la cadena de suministros tenga los requisitos para que se aplique RM
OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Caracterizar un modelo de RM identificando las variables que se encuentran presentes y la relación con la cadena de suministros.	Porcentaje de actividades realizadas	% actividades realizadas/ total actividades	Completo para 30 de abril 2012	
ACTIVIDADES				

Identificar las relaciones entre las variables de modelos de transporte de las cadenas de suministro en la formulación de problemas			Completo para 1 abril de 2012	
Enumerar los requisitos para implementar las técnicas de Revenue Management			Completo para 10 abril de 2012	
Identificar oportunidades de implementación de RM en las decisiones de transporte en las cadenas de suministro			Completo para 20 de abril de 2012	
OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Realizar un modelo conceptual que involucre decisiones de precio y transporte en la cadena de suministro	Porcentaje de actividades realizadas	% actividades realizadas/ total actividades	Completo para 30 de julio	
ACTIVIDADES				
Analizar variables de decisión de actuales modelos			Completo para 30 junio de 2012	
Definir variables de decisión del modelo			Completo para 7 de julio de 2012	
Definir conjuntos del modelo			Completo para 14 de julio de 2012	
Definir parámetros del			Completo para 21 de	

modelo			julio de 2012	
Definir restricciones del modelo			Completo para 30 de julio de 2012	
OBJETIVO ESPECÍFICO 3: Desarrollar un modelo matemático para una cadena de suministro regional incluyendo conceptos de *Revenue Management* en las decisiones de transporte	Porcentaje de actividades realizadas	% actividades realizadas/ total actividades	Completo para 25 de agosto de 2012	El proyecto se pudo conceptualizar y hay relación entre las partes
ACTIVIDADES				
Integrar el modelo conceptual con el modelo matemático	Porcentaje de modelo realizado	% de actividades del objetivo 2 traducidas a lenguaje de programación.	Completo para 10 de agosto de 2012	
Simular el modelo matemático en CPLEX		Completo para 20 de agosto de 2012	Manual de Lenguaje de programación de CPLEX	
Analizar detalles y funcionamiento del modelo de simulación.			Completo para 25 de agosto de 2012	Que el modelo tenga solución
OBJETIVO ESPECÍFICO 4: Aplicar el modelo planteado a un caso y desarrollar una propuesta de solución de acuerdo a su naturaleza y complejidad.	Porcentaje de actividades realizadas	% actividades realizadas/ total actividades	Completo para 20 de septiembre	
ACTIVIDADES:				

Identificar características necesarias del caso para ser utilizado bajo el estudio realizado.			Completo para 1 de septiembre de 2012	
Recoger toda la información del caso como comportamiento de la demanda, costos y modalidades de transporte.	Recolectar toda la información de la actividad anterior	Porcentaje de información y características recolectadas	Completo para 10 de septiembre de 2012	
Plantear el caso de aplicación.			Completo para 20 de septiembre de 2012	
OBJETIVO ESPECÍFICO 5: Evaluar los resultados obtenidos al resolver el modelo en el caso de aplicación.	Porcentaje de actividades realizadas	% actividades realizadas/ total actividades		
ACTIVIDADES:				
Analizar metodologías y estrategias de solución para el modelo matemático desarrollado.			Completo para 25 de septiembre de 2012	
Comparar resultados de modelos matemáticos convencionales con el actual modelo desarrollado aplicado a un caso de estudio	Comparación con modelos de optimización convencionales	Si costos son menores o mayores	Completo para 5 de octubre de 2012	
Analizar resultados del caso			Completo para 10 de octubre de 2012	

Anexo 2. Cronograma de Actividades.



Anexo 3. Modelación Incremental Discount Model

Conjuntos:

j – Clientes (...)

k – Centro de Distribución (…)

i – Planta (…)

h – Proveedor (…)

t – Periodo (1,2...6)

r – Rango Descuento (1,2,3)

m – Materias Primas (…)

Parámetros:

Dem_{jt} – Demanda cliente j en el tiempo t

$CapP_i$ – Capacidad planta i

Cap_h – Capacidad proveedor h en horas hombre

$CapC_k$ – Capacidad CEDI k

$MaxQ_r$ – Máxima cantidad para el rango de descuento r

Con_{hm} – consumo del proveedor h de la MP m (en hr-hombre)

$CanMP_m$- Cantidad de materia prima m necesaria para PT

$CostoF_k$ – Costo fijo de abrir CEDI k

$CostoT_{him}$ – Costo de transporte de proveedor h a planta i por unidad de mp m

$CostoP_i$ – Costo de producción en la planta i por unidad

$CostoTM_{rik}$ – Costo marginal de transporte en el rango de descuento r de la planta i al CD k.

$CostoTF_{kj}$ – Costo de transporte del CEDI k al cliente j por unidad

$CostoI_k$ – Costo de mantener una unidad de inventario en la CEDi k

$CostoM_k$ – Costo de manejar una unidad del inventario e el CEDI k, incluye recepción despacho.

- Intersección con el eje y de la línea de costo total del descuento r.

Variables

$ApeCEDI_k$ - Binaria 1= se abre CEDI k 0= no se abre CEDI k

$FlujoPP_{mhit}$ – Cantidad de materia prima m de proveedor h a planta i en el tiempo t

$FlujoPC_{ikrt}$- Cantidad de producto de planta i a CEDI k en el rango de descuento r en el tiempo t

$FlujoCC_{kjt}$- Cantidad de producto de CEDI K a cliente j en el tiempo t

$Descu_{rikt}$ – Variable de estado de descuento. 1= se toma descuento r 0= no se toma el descuento de la planta i al CEDI k en el tiempo t

Inv_{kt}- Nivel de inventario en el CEDi k al fina del tiempo t

F.O: Minimizar Z:

[30]

Restricciones=

(1) Capacidad Proveedores

[30] GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011. Springer. Pag.617

(2) Capacidad Planta

(3) Capacidad CEDI

(4) Nivel Inventarios CEDI

(5) Balance Planta

(6) Demanda

Transporte:[31]

(7) Límite Inferior

(8) Límite superior

(9) Restringir 1 solo descuento

Lógicas

(10) No Negatividad:

(11) Binarias:

[31] GOETSHALCKX, Marc. Supply Chain Engineering. 2011. Springer. Pag.617.

Anexo 4. Datos Caso Base

Tabla 17. Costo transporte Proveedores-Plantas

Proveedor	Planta	Materia Prima	Costo Transporte
Medellin	Armenia	MP1	$ 360
Medellin	Armenia	MP2	$ 710
Medellin	Armenia	MP3	$ 2.650
Medellin	Ibague	MP1	$ 370
Medellin	Ibague	MP2	$ 743
Medellin	Ibague	MP3	$ 2.875
Villavicencio	Armenia	MP1	$ 350
Villavicencio	Armenia	MP2	$ 750
Villavicencio	Armenia	MP3	$ 2.400
Villavicencio	Ibague	MP1	$ 390
Villavicencio	Ibague	MP2	$ 785
Villavicencio	Ibague	MP3	$ 2.635

Tabla 18. Información Proveedores

Proveedores	Capacidad en Hr-H	Materia Prima	Consumo Hr-H
Medellin	100000	MP1	1,2
		MP2	2
		MP3	2,5
Villavicencio	1000000	MP1	1,3
		MP2	1,8
		MP3	2,3

Tabla 19. Información Plantas

Plantas	Costo Produccion	Capacidad	Materias Primas	Cantidad Necesaria
Armenia	$1584	16000	MP1	3
Ibague	$1550	14000	MP2	2
			MP3	1

Tabla 20. Transporte Plantas- Centros de Distribución

Planta	CEDI	Costo Transporte
Armenia	Bogota	$ 44
Armenia	Cali	$ 26
Armenia	Manizales	$ 21
Ibague	Bogota	$ 1.000
Ibague	Cali	$ 39
Ibague	Manizales	$ 37

Tabla 21. Información Centros de Distribución

CEDIs	Costo Fijo Apertura	Costo Manejo Inv	Capacidad CD	Costo Manter Inv
Manizales	$ 12.000.000	$ 420	16000	$ 320
Cali	$ 5.500.000	$ 487	14000	$ 387
Bogota	$ 8.000.000	$ 470	20000	$ 370

Tabla 22. Costo de transporte de CEDIs a Clientes

CEDI	Cliente	Costo Transporte
Bogota	Cucuta	$ 15
Bogota	Medellin	$ 7
Bogota	Pasto	$ 1.000
Bogota	Pereira	$ 8
Cali	Cucuta	$ 1.000
Cali	Medellin	$ 15
Cali	Pasto	$ 15
Cali	Pereira	$ 10
Manizales	Cucuta	$ 17
Manizales	Medellin	$ 9
Manizales	Pasto	$ 23
Manizales	Pereira	$ 5

Tabla 23. Información de la demanda de los clientes.

Cliente	Periodo	Demanda
Cucuta	1	6000
Cucuta	2	5800
Cucuta	3	6200
Cucuta	4	6100
Cucuta	5	5900
Cucuta	6	5800
Medellin	1	6000
Medellin	2	6100
Medellin	3	5900
Medellin	4	6200
Medellin	5	5800
Medellin	6	6300
Pasto	1	5300
Pasto	2	5000
Pasto	3	5500
Pasto	4	5100
Pasto	5	5400
Pasto	6	5300
Pereira	1	4200
Pereira	2	4100
Pereira	3	4400
Pereira	4	4000
Pereira	5	4500
Pereira	6	4200

Anexo 5. Datos adicionales Modelo Full Quantity e Incremental Discount

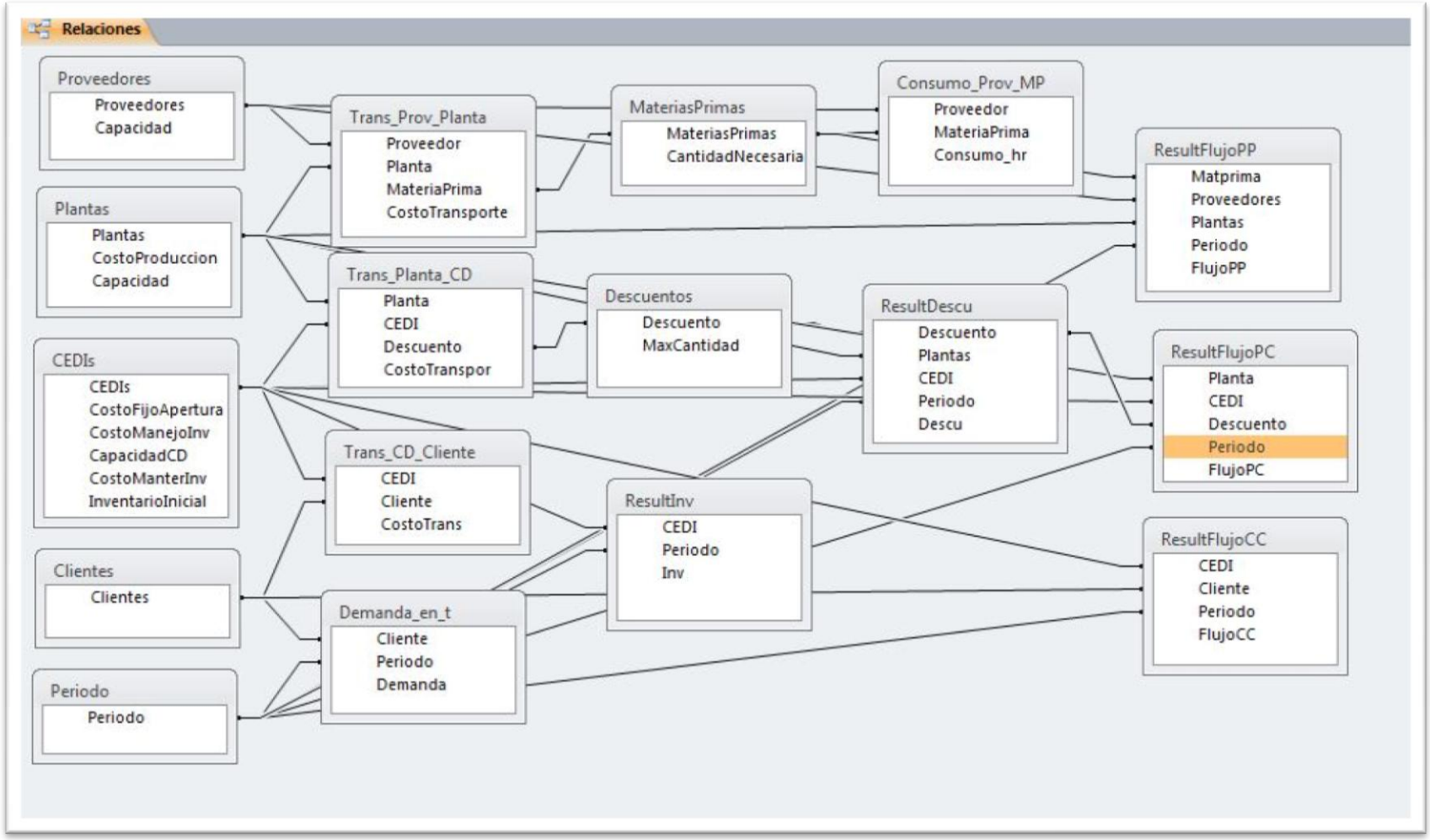
Tabla 24. Costos de Transporte con Descuentos

Planta	CEDI	Descuento	CostoTranspor
Armenia	Bogotá	1	44
Armenia	Cali	1	26
Armenia	Manizales	1	21
Ibagué	Bogotá	1	1000
Ibagué	Cali	1	39
Ibagué	Manizales	1	37
Armenia	Bogotá	2	39,6
Armenia	Cali	2	23,4
Armenia	Manizales	2	18,9
Ibagué	Bogotá	2	1000
Ibagué	Cali	2	35,1
Ibagué	Manizales	2	33,3
Armenia	Bogotá	3	35,6
Armenia	Cali	3	21,1
Armenia	Manizales	3	17,0
Ibagué	Bogotá	3	1000
Ibagué	Cali	3	31,6
Ibagué	Manizales	3	30,0

Tabla 25. Máxima cantidad para rango de descuentos e Intersección para el modelo Incremental.

Descuento	MaxCantidad	Interseccion y
1	5000	0
2	10000	21996
3	100000	41994

Anexo 6. Relaciones Base de Datos



Anexo 7. Código Fuente de los Modelos

Modelo Base

```
{string} Proveedores = ...;
{string} Plantas = ...;
{string} CEDI = ...;
{string} Clientes = ...;
{int} Periodo = ...;
{string} Matprima = ...;


float Dem[Clientes][Periodo] = ...;
float Cap [Proveedores] = ...;
float CapP [Plantas] = ...;
float CapC [CEDI] = ...;
float Con [Proveedores][Matprima] = ...;
float CanMP [Matprima] = ...;
float CostoF [CEDI] = ...;
float CostoT [Proveedores][Plantas][Matprima]= ...;
float CostoP [Plantas] = ...;
float CostoTM [Plantas][CEDI] = ...;
float CostoTF [CEDI][Clientes] = ...;
float CostoI [CEDI] = ...;
float CostoM [CEDI] = ...;



dvar boolean ApeCEDI[CEDI];
dvar float+ FlujoPP [Matprima][Proveedores][Plantas][Periodo];
dvar float+ FlujoPC[Plantas][CEDI][Periodo];
dvar float+ FlujoCC[CEDI][Clientes][Periodo];
dvar float+ Inv[CEDI][Periodo];


minimize
  sum( k in CEDI )
    ApeCEDI[k] * CostoF[k]
    + sum (m in Matprima, h in Proveedores , i in Plantas , t in Periodo
)
    CostoT[h][i][m] * FlujoPP[m][h][i][t]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo )
    CostoTF[k][j] * FlujoCC[k][j][t]
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , t in Periodo)
    CostoTM[i][k] * FlujoPC[i][k][t]
    + sum (k in CEDI , t in Periodo )
    CostoI[k] * (Inv[k][t])
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , t in Periodo )
    FlujoPC[i][k][t] * CostoP[i]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo)
    FlujoCC[k][j][t] * CostoM [k];

subject to {
```

```
 //capacidades
  forall( h in Proveedores , t in Periodo )
      sum( i in Plantas, m in Matprima )
        FlujoPP[m][h][i][t]* Con[h][m]  <= Cap[h];

   forall( i in Plantas , t in Periodo )
      sum( k in CEDI )
        FlujoPC[i][k][t] <= CapP[i];

   forall( k in CEDI , t in Periodo)
      sum( i in Plantas)FlujoPC[i][k][t] <= CapC[k] * ApeCEDI[k];

   //inventarios CEDI
  forall( k in CEDI , t in Periodo )
     Inv[k][t]== sum( i in Plantas)FlujoPC[i][k][t]/2;

     forall( k in CEDI , t in Periodo)
     sum( i in Plantas)FlujoPC[i][k][t]== sum(j in Clientes)
FlujoCC[k][j][t];


  //balance planta

  forall( i in Plantas , t in Periodo , m in Matprima )
      sum( h in Proveedores ) FlujoPP[m][h][i][t] == sum ( k in
CEDI)FlujoPC[i][k][t]*CanMP[m];



   //demanda

    forall( j in Clientes , t in Periodo )
      sum( k in CEDI )
        FlujoCC[k][j][t] == Dem[j][t];


}
tuple ResFlujoPP {
  string Matprima;
  string Proveedores;
  string Plantas;
  int Periodo;
  float FlujoPP;
  }
{ResFlujoPP} ResultFlujoPP =
  { <m,h,i,t,FlujoPP[m][h][i][t]> | m in Matprima, h in Proveedores, i in
Plantas, t in Periodo};

tuple ResFlujoPC {
  string Planta;
  string CEDI;
  int Periodo;
  float FlujoPC;
}
```

```
 {ResFlujoPC} ResultFlujoPC =
  { <i,k,t,FlujoPC[i][k][t]> | i in Plantas, k in CEDI, t in Periodo};

tuple ResFlujoCC {
  string CEDI;
  string Cliente;
  int Periodo;
  float FlujoCC;
}
{ResFlujoCC} ResultFlujoCC =
  { <k,j,t,FlujoCC[k][j][t]> |k in CEDI, j in Clientes, t in Periodo};


tuple ResInv {
  string CEDI;
  int Periodo;
  float Inv;
}
{ResInv} ResultInv =
  { <k,t,Inv[k][t]> |k in CEDI,t in Periodo};



 DBConnection db("access","PDGbase.accdb");
 Proveedores from DBRead(db,"SELECT Proveedores FROM Proveedores");
 Plantas from DBRead(db,"SELECT Plantas FROM Plantas");
 CEDI from DBRead(db,"SELECT CEDIs FROM CEDIs");
 Clientes from DBRead(db,"SELECT Clientes FROM Clientes");
 Periodo from DBRead(db,"SELECT Periodo FROM Periodo");
 Matprima from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas FROM MateriasPrimas");

 Dem from DBRead(db,"SELECT Cliente, Periodo, Demanda FROM
Demanda_en_t");
 Cap from DBRead(db,"SELECT Proveedores, Capacidad FROM Proveedores");
 CapP from DBRead(db,"SELECT Plantas, Capacidad FROM Plantas");
 CapC from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CapacidadCD FROM CEDIs");
 Con from DBRead(db,"SELECT Proveedor, MateriaPrima, Consumo_hr FROM
Consumo_Prov_MP");
 CanMP from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas, CantidadNecesaria FROM
MateriasPrimas");
 CostoF from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoFijoApertura FROM CEDIs");
 CostoT from DBRead(db,"SELECT Proveedor, Planta, MateriaPrima,
CostoTransporte FROM Trans_Prov_Planta");
 CostoP from DBRead(db,"SELECT Plantas, CostoProduccion FROM Plantas");
 CostoTF from DBRead(db,"SELECT CEDI, Cliente, CostoTrans FROM
Trans_CD_Cliente");
 CostoTM from DBRead(db,"SELECT Planta, CEDI, CostoTranspor FROM
Trans_Planta_CD");
 CostoI from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManterInv FROM CEDIs");
 CostoM from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManejoInv FROM CEDIs");



DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPP");
```

```
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPP(Matprima varchar(4),
Proveedores varchar(15), Plantas varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoPP
real)");
ResultFlujoPP to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPP (Matprima,
Proveedores, Plantas, Periodo, FlujoPP) VALUES (?,?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPC(Planta varchar(15), CEDI
varchar(10), Periodo varchar(2), FlujoPC real)");
ResultFlujoPC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPC (Planta, CEDI,
Periodo, FlujoPC) VALUES (?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoCC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoCC(CEDI varchar(15), Cliente
varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoCC real)");
ResultFlujoCC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoCC (CEDI,
Cliente,Periodo, FlujoCC) VALUES (?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultInv");
DBExecute (db,"create table ResultInv(CEDI varchar(15), Periodo
varchar(2), Inv real)");
ResultInv to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultInv (CEDI, Periodo, Inv)
VALUES (?,?,?)");
```

Modelo Full Quantity Discount

```
{string} Proveedores = ...;
{string} Plantas = ...;
{string} CEDI = ...;
{string} Clientes = ...;
{int} Periodo = ...;
{int} Descuento = ...;
{string} Matprima = ...;


float Dem[Clientes][Periodo] = ...;
float Cap [Proveedores] = ...;
float CapP [Plantas] = ...;
float CapC [CEDI] = ...;
float Con [Proveedores][Matprima] = ...;
float CanMP [Matprima] = ...;
float MaxQ [Descuento] = ...;
float CostoF [CEDI] = ...;
float CostoT [Proveedores][Plantas][Matprima]= ...;
float CostoP [Plantas] = ...;
float CostoTM [Plantas][CEDI][Descuento] = ...;
float CostoTF [CEDI][Clientes] = ...;
float CostoI [CEDI] = ...;
float CostoM [CEDI] = ...;



dvar boolean ApeCEDI[CEDI];
```

```
dvar float+ FlujoPP [Matprima][Proveedores][Plantas][Periodo];
dvar float+ FlujoPC[Plantas][CEDI][Descuento][Periodo];
dvar float+ FlujoCC[CEDI][Clientes][Periodo];
dvar boolean Descu[Descuento][Plantas][CEDI][Periodo];
dvar float+ Inv[CEDI][Periodo];


minimize
  sum( k in CEDI )
    ApeCEDI[k] * CostoF[k]
    + sum (m in Matprima, h in Proveedores , i in Plantas , t in Periodo
)
    CostoT[h][i][m] * FlujoPP[m][h][i][t]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo )
    CostoTF[k][j] * FlujoCC[k][j][t]
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo)
    CostoTM[i][k][r] * FlujoPC[i][k][r][t]
    + sum (k in CEDI , t in Periodo )
    CostoI[k] * Inv[k][t]
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo )
    FlujoPC[i][k][r][t] * CostoP[i]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo)
    FlujoCC[k][j][t] * CostoM [k];

subject to {
 //capacidades
  forall( h in Proveedores , t in Periodo )
      sum( i in Plantas, m in Matprima )
        FlujoPP[m][h][i][t]* Con[h][m] <= Cap[h]; //

   forall( i in Plantas , t in Periodo )
      sum( k in CEDI,  r in Descuento)
        FlujoPC[i][k][r][t] <= CapP[i];

    forall( k in CEDI , t in Periodo)
       sum( i in Plantas, r in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t] <= CapC[k]
* ApeCEDI[k];

   //inventarios CEDI
    forall( k in CEDI , t in Periodo )
     Inv[k][t]== sum( i in Plantas, r in Descuento
)FlujoPC[i][k][r][t]/2;

     forall( k in CEDI , t in Periodo)
     sum( i in Plantas, r in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t]>= sum(j in
Clientes) FlujoCC[k][j][t];


  //balance planta

  forall( i in Plantas , t in Periodo , m in Matprima )
      sum( h in Proveedores ) FlujoPP[m][h][i][t] == sum ( k in CEDI, r
in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t]*CanMP[m];
```

```
   //demanda

    forall( j in Clientes , t in Periodo )
      sum( k in CEDI ) FlujoCC[k][j][t] >= Dem[j][t];

  //transporte
    forall( i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento : r==1, t in
Periodo )
     0 <= FlujoPC[i][k][r][t];

     forall ( i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo )
      FlujoPC[i][k][r][t] <= MaxQ[r] * Descu[r][i][k][t];

    forall( i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento : r>1 , t in
Periodo )
      MaxQ[r-1] * Descu[r][i][k][t] <= FlujoPC[i][k][r][t];


    forall (i in Plantas, k in CEDI, t in Periodo)
    sum ( r in Descuento)
       Descu[r][i][k][t] == 1;




}
tuple ResFlujoPP {
  string Matprima;
  string Proveedores;
  string Plantas;
  int Periodo;
  float FlujoPP;
  }
{ResFlujoPP} ResultFlujoPP =
  { <m,h,i,t,FlujoPP[m][h][i][t]> | m in Matprima, h in Proveedores, i in
Plantas, t in Periodo};

tuple ResFlujoPC {
  string Planta;
  string CEDI;
  int Descuento;
  int Periodo;
  float FlujoPC;
}
 {ResFlujoPC} ResultFlujoPC =
  { <i,k,r,t,FlujoPC[i][k][r][t]> | i in Plantas, k in CEDI, r in
Descuento, t in Periodo};

tuple ResFlujoCC {
  string CEDI;
  string Cliente;
  int Periodo;
  float FlujoCC;
```

```
}
{ResFlujoCC} ResultFlujoCC =
  { <k,j,t,FlujoCC[k][j][t]> |k in CEDI, j in Clientes, t in Periodo};


tuple ResInv {
  string CEDI;
  int Periodo;
  float Inv;
}
{ResInv} ResultInv =
  { <k,t,Inv[k][t]> |k in CEDI,t in Periodo};

 tuple ResDescu {
  int Descuento;
  string Plantas;
  string CEDI;
  int Periodo;
  float Descu;
  }
{ResDescu} ResultDescu =
  { <r,i,k,t,Descu[r][i][k][t]> | r in Descuento, i in Plantas, k in
CEDI, t in Periodo};


 DBConnection db("access","PDG.accdb");
 Proveedores from DBRead(db,"SELECT Proveedores FROM Proveedores");
 Plantas from DBRead(db,"SELECT Plantas FROM Plantas");
 CEDI from DBRead(db,"SELECT CEDIs FROM CEDIs");
 Clientes from DBRead(db,"SELECT Clientes FROM Clientes");
 Periodo from DBRead(db,"SELECT Periodo FROM Periodo");
 Descuento from DBRead(db,"SELECT Descuento FROM Descuentos");
 Matprima from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas FROM MateriasPrimas");

 Dem from DBRead(db,"SELECT Cliente, Periodo, Demanda FROM
Demanda_en_t");
 Cap from DBRead(db,"SELECT Proveedores, Capacidad FROM Proveedores");
 CapP from DBRead(db,"SELECT Plantas, Capacidad FROM Plantas");
 CapC from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CapacidadCD FROM CEDIs");
 Con from DBRead(db,"SELECT Proveedor, MateriaPrima, Consumo_hr FROM
Consumo_Prov_MP");
 CanMP from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas, CantidadNecesaria FROM
MateriasPrimas");
 MaxQ from DBRead(db,"SELECT Descuento, MaxCantidad FROM Descuentos");
 CostoF from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoFijoApertura FROM CEDIs");
 CostoT from DBRead(db,"SELECT Proveedor, Planta, MateriaPrima,
CostoTransporte FROM Trans_Prov_Planta");
 CostoP from DBRead(db,"SELECT Plantas, CostoProduccion FROM Plantas");
 CostoTF from DBRead(db,"SELECT CEDI, Cliente, CostoTrans FROM
Trans_CD_Cliente");
 CostoTM from DBRead(db,"SELECT Planta, CEDI, Descuento, CostoTranspor
FROM Trans_Planta_CD");
 CostoI from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManterInv FROM CEDIs");
 CostoM from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManejoInv FROM CEDIs");
```

```
DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPP");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPP(Matprima varchar(4),
Proveedores varchar(15), Plantas varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoPP
real)");
ResultFlujoPP to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPP (Matprima,
Proveedores, Plantas, Periodo, FlujoPP) VALUES (?,?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPC(Planta varchar(15), CEDI
varchar(10), Descuento varchar(2), Periodo varchar(2), FlujoPC real)");
ResultFlujoPC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPC (Planta, CEDI,
Descuento, Periodo, FlujoPC) VALUES (?,?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoCC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoCC(CEDI varchar(15), Cliente
varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoCC real)");
ResultFlujoCC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoCC (CEDI,
Cliente,Periodo, FlujoCC) VALUES (?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultInv");
DBExecute (db,"create table ResultInv(CEDI varchar(15), Periodo
varchar(2), Inv real)");
ResultInv to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultInv (CEDI, Periodo, Inv)
VALUES (?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultDescu");
DBExecute (db,"create table ResultDescu(Descuento varchar(3), Plantas
varchar(15), CEDI varchar(15), Periodo varchar(2), Descu real)");
ResultDescu to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultDescu (Descuento, Plantas,
CEDI, Periodo, Descu) VALUES (?,?,?,?,?)");
```

Modelo Incremental Discount

```
{string} Proveedores = ...;
{string} Plantas = ...;
{string} CEDI = ...;
{string} Clientes = ...;
{int} Periodo = ...;
{int} Descuento = ...;
{string} Matprima = ...;


float Dem[Clientes][Periodo] = ...;
float Cap [Proveedores] = ...;
float CapP [Plantas] = ...;
float CapC [CEDI] = ...;
float Con [Proveedores][Matprima] = ...;
float CanMP [Matprima] = ...;
float MaxQ [Descuento] = ...;
float CostoF [CEDI] = ...;
```

```
float CostoT [Proveedores][Plantas][Matprima]= ...;
float CostoP [Plantas] = ...;
float CostoTM [Plantas][CEDI][Descuento] = ...;
float CostoTF [CEDI][Clientes] = ...;
float CostoI [CEDI] = ...;
float CostoM [CEDI] = ...;
float E [Descuento] = ...;


dvar boolean ApeCEDI[CEDI];
dvar float+ FlujoPP [Matprima][Proveedores][Plantas][Periodo];
dvar float+ FlujoPC[Plantas][CEDI][Descuento][Periodo];
dvar float+ FlujoCC[CEDI][Clientes][Periodo];
dvar boolean Descu[Descuento][Plantas][CEDI][Periodo];
dvar float+ Inv[CEDI][Periodo];


minimize
  sum( k in CEDI )
    ApeCEDI[k] * CostoF[k]
    + sum (m in Matprima, h in Proveedores , i in Plantas , t in Periodo
)
    CostoT[h][i][m] * FlujoPP[m][h][i][t]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo )
    CostoTF[k][j] * FlujoCC[k][j][t]
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo)
    (CostoTM[i][k][r] * FlujoPC[i][k][r][t] + E[r]*Descu[r][i][k][t])
    + sum (k in CEDI , t in Periodo )
    CostoI[k] * (Inv[k][t])
    + sum (i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo )
    FlujoPC[i][k][r][t] * CostoP[i]
    + sum (k in CEDI , j in Clientes , t in Periodo)
    FlujoCC[k][j][t] * CostoM [k];

subject to {
 //capacidades
  forall( h in Proveedores , t in Periodo )
      sum( i in Plantas, m in Matprima )
       FlujoPP[m][h][i][t]* Con[h][m]  <= Cap[h];

   forall( i in Plantas , t in Periodo )
      sum( k in CEDI, r in Descuento )
        FlujoPC[i][k][r][t] <= CapP[i];

     forall( k in CEDI , t in Periodo)
       sum( i in Plantas, r in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t] <= CapC[k]
* ApeCEDI[k];

   //inventarios CEDI
    forall( k in CEDI , t in Periodo )
     Inv[k][t]== sum( i in Plantas, r in Descuento
)FlujoPC[i][k][r][t]/2;

     forall( k in CEDI , t in Periodo)
```

```
     sum( i in Plantas, r in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t]== sum(j in
Clientes) FlujoCC[k][j][t];

  //balance planta

  forall( i in Plantas , t in Periodo , m in Matprima )
      sum( h in Proveedores ) FlujoPP[m][h][i][t] == sum ( k in CEDI, r
in Descuento )FlujoPC[i][k][r][t]*CanMP[m];



   //demanda

    forall( j in Clientes , t in Periodo )
      sum( k in CEDI )
        FlujoCC[k][j][t] == Dem[j][t];

  //transporte
  forall( i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento : r==1, t in Periodo
)
     0 <= FlujoPC[i][k][r][t];

      forall ( i in Plantas , k in CEDI , r in Descuento , t in Periodo)
      FlujoPC[i][k][r][t] <= MaxQ[r] * Descu[r][i][k][t];

    forall(  r in Descuento : r>1, i in Plantas , k in CEDI , t in
Periodo )
      MaxQ[r-1] * Descu[r][i][k][t] <= FlujoPC[i][k][r][t];


    forall (i in Plantas,  k in CEDI, t in Periodo)
    sum ( r in Descuento )
       Descu[r][i][k][t] == 1;

}
tuple ResFlujoPP {
  string Matprima;
  string Proveedores;
  string Plantas;
  int Periodo;
  float FlujoPP;
  }
{ResFlujoPP} ResultFlujoPP =
  { <m,h,i,t,FlujoPP[m][h][i][t]> | m in Matprima, h in Proveedores, i in
Plantas, t in Periodo};

tuple ResFlujoPC {
  string Planta;
  string CEDI;
  int Descuento;
  int Periodo;
  float FlujoPC;
}
 {ResFlujoPC} ResultFlujoPC =
```

```
  { <i,k,r,t,FlujoPC[i][k][r][t]> | i in Plantas, k in CEDI, r in
Descuento, t in Periodo};

tuple ResFlujoCC {
  string CEDI;
  string Cliente;
  int Periodo;
  float FlujoCC;
}
{ResFlujoCC} ResultFlujoCC =
  { <k,j,t,FlujoCC[k][j][t]> |k in CEDI, j in Clientes, t in Periodo};


tuple ResInv {
  string CEDI;
  int Periodo;
  float Inv;
}
{ResInv} ResultInv =
  { <k,t,Inv[k][t]> |k in CEDI,t in Periodo};

  tuple ResDescu {
  int Descuento;
  string Plantas;
  string CEDI;
  int Periodo;
  float Descu;
  }
{ResDescu} ResultDescu =
  { <r,i,k,t,Descu[r][i][k][t]> | r in Descuento, i in Plantas, k in
CEDI, t in Periodo};


 DBConnection db("access","PDGincremental.accdb");
 Proveedores from DBRead(db,"SELECT Proveedores FROM Proveedores");
 Plantas from DBRead(db,"SELECT Plantas FROM Plantas");
 CEDI from DBRead(db,"SELECT CEDIs FROM CEDIs");
 Clientes from DBRead(db,"SELECT Clientes FROM Clientes");
 Periodo from DBRead(db,"SELECT Periodo FROM Periodo");
 Descuento from DBRead(db,"SELECT Descuento FROM Descuentos");
 Matprima from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas FROM MateriasPrimas");

 Dem from DBRead(db,"SELECT Cliente, Periodo, Demanda FROM
Demanda_en_t");
 Cap from DBRead(db,"SELECT Proveedores, Capacidad FROM Proveedores");
 CapP from DBRead(db,"SELECT Plantas, Capacidad FROM Plantas");
 CapC from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CapacidadCD FROM CEDIs");
 Con from DBRead(db,"SELECT Proveedor, MateriaPrima, Consumo_hr FROM
Consumo_Prov_MP");
 CanMP from DBRead(db,"SELECT MateriasPrimas, CantidadNecesaria FROM
MateriasPrimas");
 MaxQ from DBRead(db,"SELECT Descuento, MaxCantidad FROM Descuentos");
 CostoF from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoFijoApertura FROM CEDIs");
```

```
 CostoT from DBRead(db,"SELECT Proveedor, Planta, MateriaPrima,
CostoTransporte FROM Trans_Prov_Planta");
 CostoP from DBRead(db,"SELECT Plantas, CostoProduccion FROM Plantas");
 CostoTF from DBRead(db,"SELECT CEDI, Cliente, CostoTrans FROM
Trans_CD_Cliente");
 CostoTM from DBRead(db,"SELECT Planta, CEDI, Descuento, CostoTranspor
FROM Trans_Planta_CD");
 CostoI from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManterInv FROM CEDIs");
 CostoM from DBRead(db,"SELECT CEDIs, CostoManejoInv FROM CEDIs");
 E from DBRead(db,"SELECT Descuento, Inter FROM Descuentos");


DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPP");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPP(Matprima varchar(4),
Proveedores varchar(15), Plantas varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoPP
real)");
ResultFlujoPP to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPP (Matprima,
Proveedores, Plantas, Periodo, FlujoPP) VALUES (?,?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoPC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoPC(Planta varchar(15), CEDI
varchar(10), Descuento varchar(2), Periodo varchar(2), FlujoPC real)");
ResultFlujoPC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoPC (Planta, CEDI,
Descuento, Periodo, FlujoPC) VALUES (?,?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultFlujoCC");
DBExecute (db,"create table ResultFlujoCC(CEDI varchar(15), Cliente
varchar(15), Periodo varchar(2), FlujoCC real)");
ResultFlujoCC to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultFlujoCC (CEDI,
Cliente,Periodo, FlujoCC) VALUES (?,?,?,?)");

DBExecute (db,"drop table ResultInv");
DBExecute (db,"create table ResultInv(CEDI varchar(15), Periodo
varchar(2), Inv real)");
ResultInv to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultInv (CEDI, Periodo, Inv)
VALUES (?,?,?)");

 DBExecute (db,"drop table ResultDescu");
DBExecute (db,"create table ResultDescu(Descuento varchar(3), Plantas
varchar(15), CEDI varchar(15), Periodo varchar(2), Descu real)");
ResultDescu to DBUpdate(db,"INSERT INTO ResultDescu (Descuento, Plantas,
CEDI, Periodo, Descu) VALUES (?,?,?,?,?)");
```