

**APLICACIÓN DE REVENUE MANAGEMENT EN UN MODELO MATEMÁTICO
DE OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

**ANA MARÍA GÓMEZ SAA
KENEN STEVEN CELIS**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012**

**APLICACIÓN DE REVENUE MANAGEMENT EN UN MODELO MATEMÁTICO
DE OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO**

**ANA MARÍA GÓMEZ SAA
KENEN STEVEN CELIS**

**Proyecto de Grado para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DIRECTOR DEL PROYECTO
Andrés Felipe Osorio
Maestría en Ingeniería Industrial**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	8
1. CADENAS DE SUMINISTRO	9
1.1 TÍTULO	9
1.2 PROBLEMÁTICA.....	9
1.2.1 Contextualización.....	9
1.2.2 Elementos	11
1.2.3 Formulación.....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO	19
2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
3. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Objetivo específico 1.....	20
3.2 Objetivo específico 2.....	20
3.3 Objetivo específico 3.....	21
3.4 Objetivo específico 4.....	21
4. MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1 ANTECEDENTES.....	23
4.2 MARCO TEÓRICO	27
4.2.1 Importancia de la logística y la cadena de suministro	27
4.2.2 Fases de decisión en una cadena de suministro.....	29
4.2.3 La demanda: un modelo para determinar los precios	30
4.2.4 Estrategias de Segmentación de mercado y discriminación de precios	32
4.3 APORTE CRÍTICO	34
5. ADMINSTRACIÓN DEL PROYECTO	35
5.1 RECURSOS	35

5.2 MATRIZ DE MARCO LÓGICO	36
5.3 CRONOGRAMA	36
6. DESARROLLO DEL PROYECTO	37
6.1 OBJETIVO ESPECIFICO 1	37
6.1.1 Revisión bibliográfica	38
6.1.2 Diseño y aplicación de la matriz de ponderación	39
6.1.3 Extrapolar los factores críticos del sector servicios al sector industrial	41
6.2 OBJETIVO ESPECIFICO 2	43
6.2.1 Planteamiento de supuestos para precios estáticos	43
6.2.2 Planteamiento de supuestos para precios dinámicos	45
6.3 OBJETIVO ESPECIFICO 3	48
6.3.1 Clasificación del modelo matemático	49
6.3.2 Formulación del modelo matemático que represente una cadena de suministro	50
6.3.3 Formulación algebraica del modelo	56
6.3.4 Modificaciones al modelo	60
6.3.5 Selección de la herramienta para solucionar el modelo	62
6.4 OBJETIVO ESPECIFICO 4	64
6.4.1 Factores que determinan las estrategias de precios	65
6.4.2 La estrategia de precios en el caso de estudio	65
6.4.3 Factor 1: Los pronósticos	69
6.4.4 Factor 2: La capacidad	69
6.4.5 Factor 3: El inventario	72
6.4.6 Factor 4: Configuración de la red	73
6.4.7 Factor 5: Las tecnologías de información	73
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
7.1 CONCLUSIONES	75
7.2 FUTURA INVESTIGACIÓN	76
ANEXOS	77
ANEXO A. MATRIZ DE MARCO LÓGICO	77
ANEXO B. CRONOGRAMA	81
ANEXO C. CODIGO FUENTE DEL MODELO OBJETIVO 3	86
ANEXO D. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS	91

ANEXO E. DATOS DEL CASO DE ESTUDIO.....	92
ANEXO F. DIAGRAMA CADENA SUMINISTRO DEL CASO DE ESTUDIO ...	102
BIBLIOGRAFIA	103

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Resultados de la búsqueda bibliográfica.....	13
Ilustración 2. La red logística.....	28
Ilustración 3. Pareto factores críticos sector servicios.....	40
Ilustración 4. Factores para análisis de resultados.....	64
Ilustración 5. Resultados de la variable precio del producto Escenario inicial.....	66
Ilustración 6. Utilización de la capacidad de producción.....	71
Ilustración 7. Utilización de la capacidad de proveedores.....	72

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Investigación en Revenue Management en el Sector Servicios diferente a las aerolíneas.....	24
Tabla 2. Factores identificados en la revisión bibliográfica.....	39
Tabla 3. Lista de factores críticos para aplicar Revenue Management en servicios	41
Tabla 4. Lista de factores críticos para aplicar Revenue Management en la industria.....	42
Tabla 5. Supuestos del modelo matemático para precios estáticos.....	44
Tabla 6. Supuestos del modelo matemático con precios dinámicos.....	45
Tabla 7. Clasificación del modelo por su forma de representación	49
Tabla 8. Solvers de optimización disponibles en Neos-server	63
Tabla 9. Factores que afectan la estrategia de precios.....	65
Tabla 10. Porcentaje óptimo de descuento sobre el precio del producto	67
Tabla 11. Impacto del tiempo de la promoción.....	67

INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias de diferenciación de precios que ha cobrado importancia en los últimos años y a través de la cual diferentes organizaciones han logrado gran éxito es el Revenue Management. Las empresas del sector servicios han sido las pioneras en el desarrollo e implementación de esta estrategia, cuyo principio fundamental es aprovechar la heterogeneidad del mercado y el hecho de que diferentes grupos de clientes vinculen diferentes niveles de importancia a los beneficios ofrecidos por un servicio.

Sin embargo, a diferencia de su implementación en el sector servicios, el Revenue Management ha sido poco estudiado en el sector industrial. Tras identificar una valiosa oportunidad de investigación en el campo que integra Revenue Management en la administración de la cadena de suministro, se propone con este trabajo de grado Identificar factores que influyen directamente las decisiones para la aplicación de Revenue Management a la cadena de suministro.

Para cumplir este objetivo se propone identificar los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de precios de los productos en una cadena de suministro, definir los supuestos necesarios para aplicar los principios de Revenue Management a un modelo matemático, formular un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro y aplique Revenue Management en los precios de los productos y finalmente analizar los resultados del modelo de programación matemática tras la aplicación de un caso de estudio seleccionado.

En este trabajo de grado se realizó un aporte conceptual al identificar los cinco factores críticos para aplicar Revenue Management en una cadena de suministro, se realizó un aporte metodológico en el desarrollo de un modelo matemático a partir de los factores críticos identificados y la definición de supuestos, y finalmente un aporte empírico tras resolver el modelo al aplicarlo a un caso de estudio seleccionado. Adicionalmente, el proyecto reveló que el campo de investigación presenta significativas oportunidades para generar avances teóricos y prácticos. Bajo esta perspectiva, se decidió señalar algunos campos de ampliación en donde pueden enfocarse futuras investigaciones.

En el trabajo que se presenta a continuación encontrará la descripción y justificación del problema de investigación, los objetivos del proyecto y la metodología del trabajo que sigue cada uno de ellos, un marco de referencia con los antecedentes y marco teórico del campo de investigación, el desarrollo de los objetivos propuestos y finalmente las conclusiones y futuras investigaciones.

1. CADENAS DE SUMINISTRO

1.1 TÍTULO

Aplicación de Revenue Management en un modelo matemático de optimización de la Cadena de suministro.

1.2 PROBLEMÁTICA

1.2.1 Contextualización

El estado actual de la economía mundial y la fuerte competencia ha llevado a que la esencia de la supervivencia de las organizaciones consista en crear más valor para el cliente. Michael Porter de la Universidad de Harvard, afirma que el valor que la empresa ofrece a sus clientes es la diferencia entre el atractivo que para ellos presenta el producto y el precio que deben pagar para adquirirlo¹. A raíz de esta marcada tendencia en el mundo empresarial, muchas compañías han desarrollado e implementado diferentes estrategias para satisfacer las necesidades del cliente aprovechando la heterogeneidad del mercado y el hecho de que diferentes grupos de clientes vinculen diferentes niveles de importancia a los beneficios ofrecidos por un tipo de producto. Una de las estrategias que ha cobrado importancia en los últimos años y a través de la cual importantes organizaciones han logrado gran éxito es el Revenue Management.

¹PORTER, Michael E. The value chain and competitive advantage. En: Competitive advantage: creating and sustaining superior performance. 1 ed. New York: The free press. 1985. p. 36-45

Chopra y Meindl² plantean que el Revenue Management es el uso de precios diferenciados basado en el segmento de clientes, tiempo de uso y disponibilidad del producto y la capacidad para incrementar las ganancias generadas por la compañía. Yeoman y McMahon³ consideran que el Revenue Management es la clave al éxito ya que se encarga de manejar y controlar los desplazamientos en la demanda considerando principios como “no venda ahora, si puede ganar más, más adelante o viceversa”. Por su parte, Quante, Meyr y Fleishmann⁴ proponen que las decisiones sobre el precio actúan como un apalancamiento para la administración de la demanda, es decir, el precio se ajusta dinámicamente en un horizonte de tiempo de acuerdo con el comportamiento de la demanda del producto.

Las aerolíneas fueron pioneras en la aplicación del Revenue Management como un instrumento para maximizar los ingresos mediante la aplicación de un sistema de reservaciones. La dinámica del sistema consiste en ofrecer descuentos a clientes que compran sus tiquetes de vuelo con anticipación y reservar un cierto número de asientos en el avión para ser vendidos a último momento sin descuento. En este caso, las ventas de último momento son las más rentables ya que se trata generalmente de viajeros que necesitan dicho vuelo de manera impostergable, por lo que su sensibilidad al precio es mucho menor que la de los viajeros que reservan con anticipación.

El éxito de Revenue Management en las aerolíneas estimuló el desarrollo de aplicaciones similares para otro tipo de servicios que compartían ciertas características en común como la hotelería, el alquiler de vehículos, ferrocarriles y cruceros. Actualmente un creciente número de industrias incluyendo manufactureras y minoristas están explorando formas de adoptar conceptos similares. De acuerdo con lo planteado en Meissner⁵, las áreas de Revenue Management y Administración de la cadena de suministro representan dos pilares fundamentales para la gerencia de organizaciones que adquieren y distribuyen productos de consumo. Los artículos de Administración de Operaciones han demostrado que las decisiones de la cadena de suministro y las estructuras de

²CHOPRA, Sunil y MEINDL, Peter. Fijación de precios y administración de ingresos en una cadena de suministro. *En*: Administración de la cadena de suministro. 3 ed. México: Pearson Educación, 2008. p. 459-477.

³YEOMAN, Ian y MCMAHON Una. Revenue Management and Pricing: case studies and applications. London: Thomson, 2004.

⁴QUANTE, Rainer; MEYR, Herbert y FLEISHMAN Moritz. Revenue Management and demand fulfillment: matching applications, models and software. Springer-Verlag, 2008, p. 31-62.

⁵MEISSNER, Joern; STRAUSS, Arne k. Network Revenue Management with Inventory-Sensitive Bid Prices and Customer Choice. Lancaster: Department of management science, Lancaster University Management School, 2010, p. 1-38.

costos asociadas podrían tener un impacto fundamental en los niveles de precios del producto. Sin embargo, poco se ha investigado sobre cómo deben fijarse los precios en un ambiente competitivo, con la presencia simultánea de dos principales complicaciones: funciones de demanda dependientes del tiempo y economías de escala en los costos operacionales.

Los modelos tradicionales de inventario y abastecimiento asumen que el proceso de demanda de los bienes terminados está dado de manera exógena, cuando en realidad la demanda puede ser incentivada por medio de decisiones de fijación de precios apropiadas. Muchos de los modelos que representan la cadena de suministro no consideran los sobrecostos logísticos derivados de una selección ineficiente de cuando y donde realizar los descuentos para estimular la demanda. Es de importancia crítica entender cómo las estrategias efectivas de abastecimiento son afectadas por decisiones de precios y cómo las estrategias de abastecimiento y las decisiones de precios deben ser integradas efectivamente.

1.2.2 Elementos

Con el objetivo de definir e identificar las características de la situación problemática y conocer el estado actual del conocimiento sobre la aplicación de Revenue Management en cadenas de suministro se realizó una revisión bibliográfica. Izaquirre, Rivera y Mustelier⁶ plantean que la revisión bibliográfica como paso lógico y metodología de investigación científica debe incluir las actividades de búsqueda, identificación, selección, análisis y descripción de la información existente sobre el problema de investigación.

a) El proceso de búsqueda

Al iniciar la búsqueda de información se decidió investigar en fuentes primarias de información como libros, tesis y artículos científicos y fuentes secundarias como bases de datos y resúmenes. Se considera de gran importancia precisar la fuente ya que al hacerlo se concede un grado de credibilidad, objetividad y fiabilidad científica a la información rastreada, lo que confiere valor cualitativo al resultado. Se realizó la búsqueda a través de la plataforma de Bases de Datos de la

⁶ IZAQUIRRE, Rafael; MUSTELIER, Sordelicia y RIVERA, Reinaldo. La revisión bibliográfica como paso lógico y metodología de investigación científica. Universidad Nacional de Guinea Ecuatorial: 2001.

Universidad Icesi en portales como Jstor, EBSCO, Virtual Pro y ScienceDirect. También se utilizó el catalogo público de Universidades como Icesi, Javeriana y Valle donde se buscaron libros y tesis de grado relacionados con el problema de investigación.

Además de considerar las fuentes, otro elemento pertinente es el criterio al seleccionar las palabras claves en el proceso de búsqueda. La correcta elección de las palabras restringirá los resultados de la búsqueda a aquellas publicaciones que están estrechamente vinculadas con el objeto de investigación. En este caso las palabras claves que hemos definido son: Revenue Management, Manufactura, Cadenas de suministro.

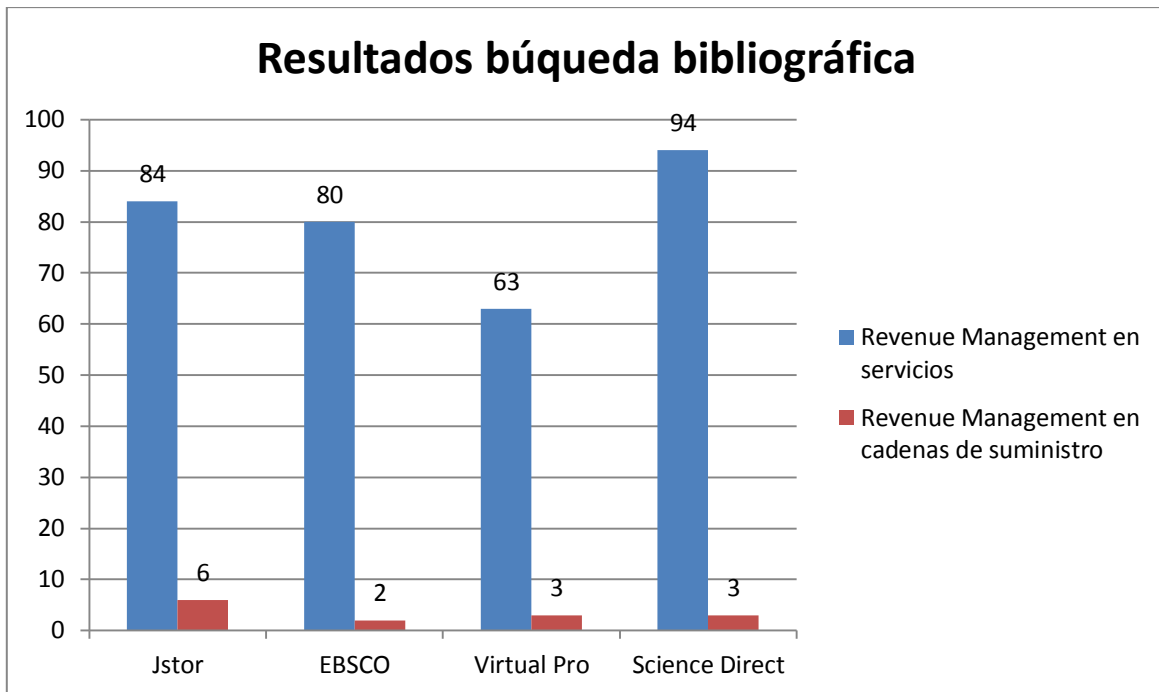
Luego de obtener las publicaciones que coinciden con las palabras claves como resultado de la búsqueda, se procedió a evaluar si los artículos seleccionados resultan relevantes para el tema de investigación. En este caso se define como relevante los documentos que exploran desde lo cuantitativo y/o cualitativo las relaciones entre Revenue Management y cadenas de suministro.

b) Análisis de información

Al considerar las palabras claves “Revenue Management y servicios” bajo el criterio de búsqueda por título se encontraron un total de 321 artículos en las cuatros bases de datos seleccionadas. Al cambiar las palabras claves a “Revenue Management y Cadenas de suministro” utilizando el mismo criterio, se encontraron un total de 14 artículos. Lo anterior evidencia una notable diferencia en el numero de estudios realizados de Revenue Management con énfasis en el sector servicios respecto a su aplicación a nivel industrial. Esta tendencia se ha documentado en Quante, Meyr y Fleishmann⁷ como una desconexión entre los principios de Revenue Management y el proceso de toma de decisiones en la cadena de suministro.

⁷ QUANTE, MEYR, FLEISHMAN, Op. cit., p. 65

Ilustración 1. Resultados de la búsqueda bibliográfica



Fuente: los autores

Con base a este resultado obtenido se plantea que las teorías existentes no expresan soluciones aplicables al problema, por lo tanto se requiere de elementos teóricos generales y el desarrollo de un nuevo modelo que de explicación o solución al problema.

c) Hallazgos

El análisis de la información permitió identificar las características de la situación problemática y agruparlas en dos categorías, los elementos teóricos y los elementos prácticos.

Elementos teóricos:

- *Existe una inherente complejidad al incluir en el diseño de un modelo todas las variables que representan las relaciones de Revenue Management con cadenas de suministro.*

Los modelos consultados en la revisión bibliográfica representan los tipos y categorías de procesos de una cadena de suministro, siguiendo una estructura de proveedor, fabrica, distribuidores y cliente. En la formulación matemática consideran el precio como un parámetro estático en el tiempo y no como una variable de decisión relacionada con un coeficiente de elasticidad. Incluir precios dinámicos en el modelo amplía el número de parámetros y variables de decisión involucradas que debe tener en cuenta el investigador.

- *Dificultad en la solución de modelos no lineales*

La aplicación de Revenue Management en las decisiones tácticas de la cadena de suministro involucra la formulación de un modelo donde la demanda y el precio son variables de decisión. En este caso la función de demanda del producto depende del precio a lo largo del tiempo. Lo anterior implica la búsqueda de métodos de solución no tradicionales debido a la presencia de una no linealidad.

Elementos prácticos:

- *Los métodos cuantitativos para medir las diferencias en la voluntad de los clientes al pagar involucran un alto nivel de incertidumbre.*

Teniendo en cuenta que la heterogeneidad en la voluntad de los clientes al pagar es el principio básico fundamental del Revenue Management, el interés de las empresas debe concentrarse en segmentar clientes en múltiples clases y priorizar a los segmentos de alto margen ya que representan utilidades más altas para la organización. Pocas empresas han desarrollado estrategias y creado barreras por medio de la identificación de los atributos del producto o servicio que los segmentos valoran de diferente manera debido a que estos procesos involucra un alto nivel de incertidumbre.

- *El tiempo y el dinero son recursos críticos que limitan el diseño y ejecución de proyectos de mejora en los procesos de toma de decisiones al interior de una empresa.*

Las decisiones de inversión en proyectos de mejora en una organización se ven fuertemente influenciadas por la disponibilidad de recursos como el tiempo y el dinero. Lo anterior constituye una fuerte limitación para el desarrollo e implementación de proyectos ya que sino se cuenta con los recursos de financiación resulta imposible realizar la valoración inicial del proyecto y en consecuencia no podrá demostrarse la importancia de su ejecución.

- *Las decisiones tácticas en las organizaciones son aún tomadas con base en herramientas de planeación a corto plazo.*

La planeación en un horizonte de corto plazo constituye un obstáculo en el análisis del impacto del proceso de toma de decisiones sobre las variables del entorno. Esta situación no permite evidenciar las oportunidades de mejora al considerar los beneficios de la implementación de estrategias de fijación de precios en las utilidades de la organización.

El análisis bibliográfico realizado permite concluir que la desconexión entre los principios de Revenue Management y su aplicación en el proceso de toma de decisiones tácticas en la cadena de suministro constituye una valiosa oportunidad de investigación.

1.2.3 Formulación

La actual desconexión que plantean Quante, Meyr y Fleishmann entre los principios del Revenue Management y las decisiones tácticas en las cadenas de suministro se plantea como una oportunidad de investigación en la búsqueda de establecer los factores críticos que los relacionan y su representación mediante un modelo matemático.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Desde 1980 el concepto de la cadena de suministro ha cobrado gran importancia en el ambiente empresarial⁸. Las organizaciones han identificado que la eficiencia de su propio negocio depende fuertemente de la colaboración externa y la

⁸ SINHA, Ashok. What is Supply Chain Management. En Supply Chain Management. New Delhi: Global India Publications, 2009. p.45-67

coordinación con sus proveedores y clientes, principalmente en una economía donde los límites geográficos han desaparecido y la presión de la competencia global es cada vez más fuerte. Lo anterior ha generado un especial énfasis en la reingeniería de los procesos de planeación y operación en la cadena de suministro con el objetivo de alcanzar una mayor integración. Estas tendencias han impulsado el inicio de un campo de investigación orientado a la optimización de las redes de flujo que representan una cadena de suministros.

Toro⁹ presenta que A.T Kearney Inc. una firma de consultoría, ha estimado que los costos operativos de la estructura de la cadena de abastecimiento representan un porcentaje cercano al 80% de los costos de toda la estructura productiva en una típica planta de manufactura. Estas cifras muestran y ponen en contexto la importancia de considerar optimizaciones sobre la cadena de suministro en términos de las decisiones tácticas y operativas al interior de la empresa. Teniendo esto en cuenta, es importante considerar que cualquier mejora que se logre en los procesos de la cadena de suministro se podría ver representada en ahorros significativos de recursos para una organización.

Con base en lo anterior, es importante además de analizar los costos, centrar la atención en el precio como un parámetro que influye de manera directa y tiene un fuerte impacto sobre el margen de utilidad así como la participación en el mercado de una empresa. Dolgui y Proth plantean que modificando el precio en un 1% resulta en un cambio de al menos 10% en el consumo diario. De acuerdo a lo anterior, concluyen que cambiar el precio resulta mucho más fácil y rápido que desarrollar un proceso para reducir los costos de producción o para incrementar la participación en el mercado¹⁰. Así, las estrategias de fijación de precios surgen como una valiosa alternativa para maximizar la utilidad e incrementar la participación en el mercado.

Respondiendo ante esta necesidad, se ha identificado de la mano con los estudios de otros autores que la modelación matemática aparece como una muy buena herramienta para la optimización de la cadena de abastecimiento bajo los principios del Revenue Management. Esto resulta aún más evidente en una época en la que los desarrollos en tecnologías de información permiten la interacción con equipos de cómputo cada vez más veloces y potentes. Lo anterior, sumado a la existencia de métodos de solución avanzados y la disponibilidad de procesamiento digital de datos de altos volúmenes justifica el desarrollo de modelos cuantitativos

⁹TORO, Héctor H. Modelación matemática de la cadena de abastecimiento en busca de localización eficiente de plantas y/o centros de distribución en el ámbito colombiano. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2001. 159 p.

¹⁰DOLGUI, Alexandre; PROTH, Jean-Marie. Dynamic Pricing Models. En: Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques. 1 ed. New York: Springer, 2010, p. 21.

que representen los procesos de una cadena de suministro y su integración con los principios de fijación de precios.

Una edición de la Revista SAP (2002) profundiza en la importancia de la optimización de la cadena de suministro y propone que el objetivo que todas las empresas persiguen para su gestión de la cadena logística es responder a la demanda de un cliente que solicita un producto, en el sitio correcto y en el momento óptimo. Lo anterior, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad y el objetivo de minimizar costos o maximizar la utilidad. Bajo esta perspectiva, las tendencias actuales de globalización y los avances en tecnologías de Información ubican la tecnología de optimización como una herramienta clave en la toma de decisiones.

1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

Al evaluar el alcance del proyecto resulta fundamental tener en cuenta los elementos que delimitan el objeto de investigación y establecen las pautas para su desarrollo. Por lo tanto, es importante considerar restricciones de tiempo y recursos y evaluar cómo ante estas restricciones será posible dar cumplimiento a los objetivos planteados. En el marco del tiempo, el desarrollo del proyecto se plantea para dos semestres académicos que comprenden el primer y segundo semestre del año 2012.

De acuerdo a la situación problemática identificada, el proyecto se propone usar la modelación matemática para construir una representación de una cadena de suministro que aplica los principios de Revenue Management para fijar los precios de los productos. Una de las características de mayor importancia en la formulación del modelo es lograr una aproximación coherente con la realidad que represente las variables, parámetros y sus relaciones entre sí que caracterizan la interacción entre los agentes de una cadena de suministro.

Frente a la amplia posibilidad de considerar relaciones entre agentes más allá de las fronteras geográficas de una nación, se ha decidido delimitar las relaciones a un ámbito regional lo que implica que el modelo solo considerará las interacciones de la red de suministros dentro de un único país. El siguiente elemento clave para establecer el marco de la investigación, sugiere definir la 'longitud' de la estructura de la cadena de suministro que se modelará. En este caso el modelo considera una cadena de suministro de cuatro agentes: proveedores, fábrica, centros de distribución y clientes.

Otra importante restricción al desarrollo del proyecto es considerar la capacidad de procesamiento de datos de los computadores para evaluar los resultados del

modelo. Goetschalckx¹¹ plantea que el tiempo que requiere un procesador para evaluar diferentes alternativas de un modelo matemático crece con rapidez. Desde este punto de vista surgen limitaciones relacionadas con la disponibilidad de recursos como el software de optimización para programar y solucionar el modelo.

El proyecto propone como punto de partida la identificación de los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de fijación de precios de los productos en una cadena de suministro, para posteriormente representar estos factores en un modelo de programación matemática. Con el objetivo de validar el modelo será necesario simular el caso de estudio seleccionado en un software de optimización. A partir de los resultados obtenidos en la simulación el proyecto se propone finalmente identificar los factores que integran el sistema de fijación de precios con otros sistemas de la organización y agentes de la cadena de suministro. Bajo esta perspectiva, el trabajo constituye en esencia una primera aproximación al campo de investigación que tras alcanzar los objetivos propuestos podrá ser enriquecido a partir de futuras investigaciones.

¹¹ GOETSCHALCKX, Marc. Engineering Planning and Design. En: Supply Chain Engineering. 1 ed. New York: Springer, 2011. p. 51.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al proceso de toma de decisiones que integra *Revenue Management* en la administración de la cadena de suministro.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Formular un modelo matemático que integre *Revenue Management* con las decisiones de precios de los productos en una cadena de suministro.

2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los factores críticos para aplicar *Revenue Management* en las decisiones de precios de los productos en una cadena de suministro.
- Definir los supuestos necesarios para aplicar los principios de *Revenue Management* a un modelo matemático.
- Formular un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro y aplique *Revenue Management* en los precios de los productos.
- Analizar los resultados del modelo de programación matemática tras la aplicación de un caso de estudio seleccionado.

3. METODOLOGÍA

3.1 Objetivo específico 1

Identificar los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de precios de los productos en una cadena de suministro.

El Revenue Management y el cumplimiento de la demanda en las cadenas de suministro son dos conceptos que han emergido de industrias diferentes. Por un lado, el cumplimiento de la demanda es un componente estándar en sistemas avanzados de planeación y es principalmente aplicado en industrias de manufactura. El Revenue Management, por su parte ha sido fuertemente vinculado a industrias de servicios.

Con el objetivo de responder a la pregunta ¿Bajo qué condiciones son las estrategias de Revenue Management efectivas? se implementó la ponderación de factores como metodología de investigación y se elaboró una matriz donde se reconoce la importancia crítica de una lista de variables decisivas para la aplicación de las estrategias de precios diferenciados.

Pasos que se llevarán a cabo:

- I. Identificar los factores para aplicar Revenue Management en el sector industrial.
- II. Ponderar cada factor de acuerdo a los resultados de la revisión bibliográfica.
- III. Extrapolar los factores críticos identificados en el sector servicios al sector industrial.

3.2 Objetivo específico 2

Definir los supuestos necesarios para aplicar los principios de Revenue Management a un modelo matemático.

El objetivo propone que para formular un modelo de programación matemática que aplique estrategias de precios diferenciados es necesario definir los supuestos

del modelo que garanticen las condiciones de aplicación de acuerdo con los factores críticos identificados.

Pasos que se llevarán a cabo:

- I. Definir los supuestos del modelo de programación matemática.
- II. Adaptar los supuestos del modelo base, al modelo que aplica precios diferenciados.

3.3 Objetivo específico 3

Formular un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro y aplique Revenue Management en los precios de los productos.

En esta etapa se modela una cadena de suministro que produce y comercializa productos de temporada en una red de cuatro agentes: proveedores, plantas, centros de distribución y clientes. Se considera un modelo base ya que no aplica el principio de precios diferenciados que propone el Revenue Management, sino que parte del supuesto de que el precio es estático durante todos los periodos de tiempo. Formular el modelo base y verificar su validación es una etapa intermedia para luego formular el modelo que aplica Revenue Management. A partir de los supuestos se propone la alternativa de definir el precio y la demanda como variables de decisión. El objetivo es encontrar la mejor estrategia que conduzca a maximizar las utilidades del modelo manteniendo el precio de los productos dentro de unos valores límites.

Pasos que se llevarán a cabo:

- I. Formular de manera conceptual los conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones del modelo.
- II. Formular el modelo en notación de lenguaje matemático.
- III. Justificar la elección de la herramienta para solucionar el modelo no lineal.

3.4 Objetivo específico 4

Analizar los resultados del modelo de programación matemática tras la aplicación de un caso de estudio seleccionado.

Luego de identificar los supuestos y formular un modelo de programación matemática que aplica estrategias de Revenue Management para fijar los precios de los productos, en esta etapa se propone analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio.

Para el análisis se proponen un conjunto de factores que determinan la estrategia de precios y se consideran fundamentales para analizar como las decisiones sobre el tiempo en que se efectuaran los descuentos afectan la rentabilidad de la organización y como se relacionan los sistemas de fijación de precios con otros sistemas de la organización y otros agentes de la cadena de suministro.

Pasos que se llevarán a cabo:

- I. Analizar la estrategia de precios que propone el modelo y su aplicación en el caso de estudio.
- II. Identificar los factores que relacionan los sistemas de fijación de precios con otros sistemas de la organización y agentes de la cadena de suministro.
- III. Analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio de acuerdo con los factores identificados.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

Antes de 1972 en la industria de las aerolíneas, la investigación cuantitativa en el control de reservaciones se enfocaba en el control del proceso de sobrerreservar la capacidad del avión, practica mejor conocida por su término en inglés como *overbooking*. Los cálculos de *overbooking* dependían de las predicciones de las distribuciones de probabilidad del número de pasajeros que se presentaban para el embarque en el tiempo del vuelo. La investigación en *overbooking* también estimuló la investigación en los pronósticos desagregados de las cancelaciones y las no apariciones de los pasajeros. Los detalles sobre el origen de Revenue Management han sido documentados por Belobaba¹², Smith, Leimkuhler y Darrow¹³, Cross¹⁴, Dunleavy¹⁵ y Vinod¹⁶.

A mediados de la década de los setenta, algunas aerolíneas empezaron a ofrecer diferentes tarifas de vuelo que mezclaban en un mismo avión pasajeros con descuentos y otros que pagaban tarifas más altas. Por ejemplo, BOAC ahora British Airways cobraba tarifas más bajas a los pasajeros que reservaban al menos 21 días antes del vuelo. Esta innovación le ofreció a la aerolínea el potencial de ganar utilidad de los asientos que de otro modo viajarían vacíos. Littlewood¹⁷ de BOAC propuso algunas reglas relacionadas con el control del inventario de las sillas del vuelo. La regla de Littlewood proponía que las reservas de tarifas con descuentos deberían ser aceptadas siempre y cuando el valor de la ganancia excediera la ganancia esperada de las reservaciones futuras de las tarifas sin descuentos.

El éxito del Revenue Management fue reportado mundialmente y estimuló el desarrollo de sistemas de Revenue Management en otros tipos de transporte y

¹²BELOBABA, P. P. Air Travel Demand and Airline Seat Inventory Management, Ph.D. thesis, Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1987.

¹³SMITH, B. C.; LEIMKUHLE, J. F. y DARROW, R. M. Yield Management at American Airlines. *Interfaces* 22, 1992, p. 8–31 .

¹⁴CROSS, R. G. An Introduction to Revenue Management. En *The Handbook of Airline Economics*. New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies, 1995, p. 443–468.

¹⁵DUNLEAVY, H. N. Airline Passenger Overbooking. En: *The Handbook of Airline Economics*. New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies, 1995, p. 469–482.

¹⁶VINOD, B. Origin-and-Destination Yield Management. En *The Handbook of Airline Economics*, New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies. 1995. p. 459–468.

¹⁷LITTLEWOOD, K. Forecasting and Control of Passenger Bookings, En AGIFORS Symposium Proc. 12, Nathanya, Israel, 1972.

específicamente en otras áreas del sector servicios. En la Tabla 1 se lista la literatura relacionada.

Tabla 1. Investigación en Revenue Management en el Sector Servicios diferente a las aerolíneas

Sector	Referencia
Cruceros	Kimes ¹⁸ , LadanyyArbel ¹⁹ , Gallego y van Ryzin ²⁰
Renta de automóviles	Geraghty y Johnson ²¹ , Carol y Grimes ²²
Servicios de Internet	Nair, Bapna, y Brine ²³ , Paschalidis y Tsitiklis ²⁴
Hotelería	Rothstein ²⁵ , Ladany ²⁶ , Liberman y Yechiali ²⁷ , Bitran y Gilbert ²⁸
Ferrocarriles para transporte de pasajeros	Strasser ²⁹

Fuente: los autores

Las primeras descripciones de los modelos estadísticos de las reservas de pasajeros, cancelaciones y comportamiento de no presentarse al vuelo dirigidas a los cálculos de *overbooking* pueden encontrarse en Beckmann y Bobkowski³⁰. En este artículo los autores comparan modelos Poisson, Negativo Binomial y Gamma

¹⁸ KIMES, S. E. Yield Management: A Tool for Capacity Constrained Service Firms. J. Opns. Mgmt. 8 ed. 1989 p. 348–363.

¹⁹ LADANY, S.; ARBEL, A. Optimal Cruise-Liner Passenger Cabin Pricing Policy. Eur. J. Oper. Res. 55, 1991.p. 136 -147.

²⁰ GALLEGO, G; VAN RYZING. Optimal Dynamic Pricing of Inventories with Stochastic Demand over Finite Horizons. Management Sci. 40, 1994. p. 999–1020.

²¹ GERAGHTY, M. K.; JOHNSON, E. Revenue Management Saves National Car Rental. Interfaces 27, 1997. p. 107–127.

²² CAROLL, W. J.; GRIMES, R. C. Evolutionary Change in Product Management: Experiences in the Car Rental Industry. Interfaces 25, 1995 p.84–104.

²³ NAIR, S. K.; BAPNA, R. y BRINE, L. An Application of Yield Management for Internet Service Providers, Working Paper, Department of Operations and Information Management, School of Business Administration, University of Connecticut. 1997.

²⁴ PASCHALIDIS, I. C.; TSITIKLIS, J. N. Congestion-Dependent Pricing of Network Services, Working Paper, Department of Manufacturing Engineering, Boston University, Boston, MA, 1998.

²⁵ ROTHSTEIN, M. Hotel Overbooking as a Markovian Sequential Decision Process. Decision Sci. 5. 1974. p. 389–404.

²⁶ LADANY, S. Bayesian Dynamic Operating Rules for Optimal Hotel Reservations. Z. Opns. Res. 21. 1977. p. B165–B176.

²⁷ LIBERMAN, V.; YECHIALI, U. Hotel Overbooking Problem-Inventory System with Stochastic Cancellations. Adv. Appl. Probab. 9. 1977. p. 220–230.

²⁸ BITRAN, G. R.; GILBERT, S. M. Managing Hotel Reservations with Uncertain Arrivals Opns. 1996. p. 35–49.

²⁹ STRASSER, S. The Effect of Yield Management on Railroads. Transp. Q. 50. 1996. p. 47–55.

³⁰ BECKMANN, M. J.; BOBKOWSKI, F. Airline Demand: An Analysis of Some Frequency Distributions. Naval Res. Logistics Q. 5. 1958. p. 43–51.

del total de las llegadas de los pasajeros y ofrece evidencia de un ajuste razonable de la distribución Gamma a los datos de las aerolíneas. Beckmann³¹ usa la distribución Gamma para modelar los componentes de los *show ups* presentación de los pasajeros y desarrolla una aproximación a la condición óptima del nivel de *overbooking*. Taylor³² determina una función de generación de probabilidad para los comportamientos de reservas que determinan los *show ups*. La función de generación es después utilizada para estimar los parámetros de una distribución para los *show ups* finales. Martínez y Sánchez³³ dan un análisis detallado de los datos de reservas y cancelaciones de *Iberia Airlines* y discuten una metodología de convolución para obtener la demanda empírica y la distribución de probabilidad de las cancelaciones.

Desde la década de los ochentas, el efecto de las redes en el Revenue Management ha sido significativamente importante ya que la globalización ha generado un dramático crecimiento en el número de itinerarios que involucra conexiones con diferentes vuelos. Wollmer³⁴ propone un modelo de programación lineal de la red que permite demanda estocástica incorporando los valores marginales esperados de los asientos como coeficientes en la función objetivo.

En estudios posteriores, Dana³⁵ muestra que ofrecer precios altos y bajos y luego racionalizar la capacidad vendida a bajo precio es un equilibrio competitivo único. En la actualidad es común para los expertos en aerolíneas considerar el precio como parte del proceso de Revenue Management. Gallego y Van Ryzin³⁶ plantea que existe una razón clara para esta afirmación, la existencia de precios diferenciados para los asientos en un avión es el punto de partida para Revenue Management y el precio es generalmente el determinante más importante del comportamiento de la demanda de los pasajeros.

Con base en lo anterior se considera que en los años recientes se ha evidenciado un importante éxito del Revenue Management, notablemente en las aerolíneas, hoteles y negocios de renta de carros. Actualmente un creciente número de industrias incluyendo empresas manufactureras y minoristas están explorando formas de adoptar conceptos similares.

³¹BECKMANN, J. M. Decision and Team Problems in Airline Reservations. *Econometrica* 26. 1958. p. 134–145.

³²TAYLOR, C. J. The Determination of Passenger Booking Levels. En: AGIFORS Symposium Proc., Vol. 2, Fregene. 1962.

³³MARTINEZ, R.; SANCHEZ, M. Automatic Booking Level Control. En AGIFORS Symposium Proc. 10, Terrigal. 1970.

³⁴WOLLMER, R. D. A Hub-Spoke Seat Management Model, Douglas Aircraft Company, McDonnell Douglas Corporation. Long Beach. 1986.

³⁵DANA, J. D. Peak-Load Pricing when the Peak Time is Unknown, General Motors Research Center for Strategy in Management, Kellogg School, Northwestern University, Evanston. 1996

³⁶GALLEGO, G.; VAN RYZIN, G. A Multi-Product Dynamic Pricing Problem and Its Applications to Network Yield Management. *Opns. Res.* 45. 1997. p. 24–41.

Una primera aproximación al sector se puede encontrar en Chopra y Meindl³⁷ que propone un modelo determinístico de programación lineal donde se define una curva de demanda para cada segmento de clientes. La función objetivo maximiza las utilidades que están representadas por el producto de la demanda y la resta entre el precio y el costo de producción. La formulación del modelo matemático se extiende al campo estocástico al introducir el supuesto de que la demanda para cada segmento sigue una distribución normal con media μ y desviación estándar σ . La conclusión obtenida sugiere que para aprovechar Revenue Management, el proveedor debe limitar la cantidad de capacidad que se compromete para satisfacer la demanda de los compradores que pagan el precio bajo, incluso si existe suficiente demanda del segmento de precio bajo para utilizar toda la capacidad disponible.

Quante, MeyryFleishman³⁸ sugieren un marco de referencia que incluye los elementos de la cadena de suministro que están directamente relacionados con Revenue Management y las decisiones de satisfacción de la demanda. En el modelo conceptual vincula las decisiones de precios con el producto final y las decisiones de asignación de capacidad con la demanda. Una aproximación basada en simulación es Ryziny Vulcano³⁹ que construyen un algoritmo estocástico diseñado para encontrar puntos estacionales en la función de utilidad esperada. Meissner y Strauss⁴⁰ desarrolla un modelo de programación matemática que incluye la elección del cliente y se aproxima al valor de la función del proceso de decisión de Markov con una función no lineal.

Finalmente, Dolgui y Proth⁴¹ propone un modelo matemático. En el modelo la actividad de compra consiste en dos pasos: primero, el comprador entra al sistema como una probabilidad dada que depende del parámetro α y segundo decide comprar o no el producto, la probabilidad de compra depende del parámetro denotado como λ . El valor del producto es igual a 0 en el tiempo T que es el horizonte de tiempo del problema, en otras palabras no existe valor de salvamento. El modelo asume que un proceso Poisson genera la llegada de los clientes, luego de llegar al sistema el cliente puede comprar un artículo, esta decisión depende del precio del artículo y de la cantidad que está dispuesto a pagar. Para esto se denota $F(p)$ como la función de distribución del precio. Esta probabilidad tiende a 0 cuando el precio tiende a infinito y a 1 cuando el precio tiende a 0. La extensión del modelo plantea incorporar el valor de salvamento del producto.

³⁷ CHOPRA, MEINDL, Op. cit., p. 461-467

³⁸ QUANTE, MEYR, FLEISHMAN, Op. cit., p. 31-62

³⁹ RYZIN, Garrett J.; VULCANO, Van G. Computing virtual nesting controls for network revenue management under customer choice behavior. En: Manufacturing & Service Operations Management. 2008, p.448-467.

⁴⁰ MEISSNER, STRAUSS, Op. cit., p.1-38

⁴¹ DOLGUI, PROTH, Op. cit., p.30-43

4.2 MARCO TEÓRICO

Con el objetivo de resumir los aspectos teóricos que se han compilado de la bibliografía analizada sobre el problema, se plantean cuatro puntos relevantes en el contexto investigativo. En primer lugar se hace referencia a la representación de los costos logísticos en la operación de la cadena de suministro como un importante punto de análisis en la formulación del modelo matemático de maximización de utilidades. Posteriormente se explican las diferentes fases de decisión a las que se enfrenta la administración de la cadena de suministro. Luego, se introducen algunos principios microeconómicos importantes que sugieren la demanda como modelo para determinar los precios y finalmente se plantean los atributos de los clientes que generan diferenciación en su disposición a pagar.

4.2.1 Importancia de la logística y la cadena de suministro

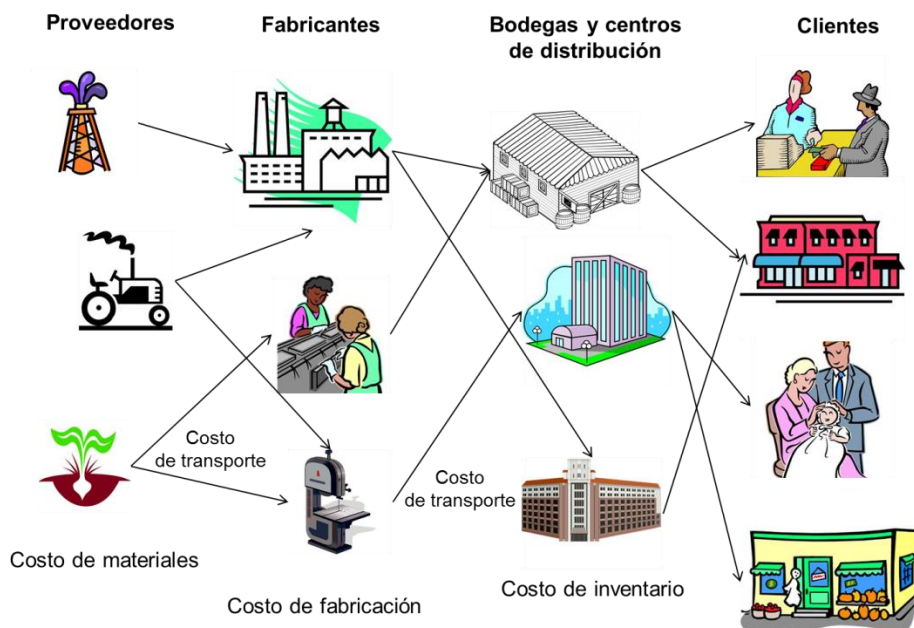
De acuerdo con Ballou⁴² la logística gira en torno a crear valor para los clientes, proveedores y accionistas de la empresa. Si el valor en la logística se expresa en términos de tiempo y lugar, los productos y servicios no tienen valor a menos que estén en posición de los clientes cuando y donde ellos deseen consumirlos. Bajo esta perspectiva, una buena dirección logística visualiza cada actividad en la cadena de suministro como una contribución al proceso de añadir valor.

La importancia del rol de la logística en una empresa también se puede evidenciar al analizar las estructuras de costos. Simchi-Levi, Kaminsky y E. Simchi-Levi⁴³ presenta que uno de los objetivos de la administración de la cadena de suministro es ser eficiente y efectiva en los costos a lo largo del sistema. Los costos totales incluyendo desde transporte y distribución hasta inventarios de materias primas, trabajo en proceso y productos terminados deben ser minimizados.

⁴² BALLOU, Ronald H. Importancia de la logística y de la cadena de suministros. En: Logística: administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Pearson, 2004. p 13-14.

⁴³ SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY Philip y SIMCHI-LEVI Edith. Introduction to Supply Chain Management. En: Designing and Managing the Supply Chain, concepts strategies and Case Studies. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2008. p. 1-3.

Ilustración 2. La red logística



Fuente: RUSSELL, Roberta S. y TAYLOR III, Bernad W. Supply Chain Management. En: Operations Management. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. p. 306

Por su parte, María Fernanda Rey Directora Ejecutiva del *Latin America Logistics Center* plantea que el costo total de logística incluye los gastos y costos de capital utilizados en los cuatro grandes procesos de gerencia de la cadena de abastecimiento: gerencia de demanda, gerencia de abastecimiento, gerencia de transporte y gerencia de almacenamiento. En estos cuatro procesos se resumen las funciones de logística de procesar órdenes de los clientes, planearla producción, comprar, transportar y almacenar.

Diferentes estudios se han realizado para determinar los costos de la logística para la economía en general y para las empresas en particular. Ballou⁴⁴ plantea que el promedio de los costos logísticos es alrededor de 12% del Producto Interno Bruto del mundo según el Fondo Monetario Internacional (FMI). Hacia el 2006 la Comunidad Económica Europearegistró que el valor del sector logístico ascendió

⁴⁴BALLOU, Op. cit., p.13.

al 13,8% del PIB mundial representando entre 10 y 15% del costo final de producto elaborado⁴⁵.

Por su parte, las estadísticas a nivel regional revelan en una publicación de la ANDI en Junio de 2012, que los costos logísticos en Colombia representan el 22% de una operación comercial. Estas cifras representan un importante reto para los gerentes del área logística y de servicio al cliente ya que al desarrollar iniciativas que generen mejoras en estos procesos y representen una disminución de los costos lograrán un impacto significativo en ahorro de recursos como tiempo y dinero. Estos conceptos son fundamentales para comprender el proceso de optimización en la cadena de suministro en relación con las estrategias de fijación de precios del Revenue Management mediante la formulación de un modelo de programación matemática.

4.2.2 Fases de decisión en una cadena de suministro

Luego de explorar la importancia de la cadena de suministro e identificar la significativa participación de los costos logísticos en las operaciones comerciales de una empresa es necesario plantear los tres tipos de decisiones a los que se enfrenta la administración de la cadena de suministro. El objeto de investigación de este trabajo requiere establecer una clara diferenciación entre la naturaleza de las decisiones que se puede tomar en el tiempo. Chopra y Meindl⁴⁶ plantean que las decisiones se clasifican en tres categorías dependiendo de la frecuencia de cada decisión y el periodo durante el cual genera impacto:

- **Estrategia o diseño de la cadena de suministro:** en esta etapa la compañía decide como estructurar la cadena de suministro durante los siguientes años. Las decisiones radican en cómo será la configuración de la cadena, cómo serán distribuidos los recursos y que procesos se llevarán a cabo en cada etapa. Las decisiones estratégicas tomadas por la compañía incluyen ya sea subcontratar o realizar las funciones de la cadena de suministro internamente, la ubicación y las capacidades de producción e instalaciones de almacenaje, los productos que se fabricarán o almacenarán en varias ubicaciones, los medios de transporte disponibles a lo largo de las diferentes rutas de envío y el tipo de sistema de información que utilizará.

⁴⁵ La logística de transporte de mercancías en Europa, la clave para la movilidad sostenible. Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, 2006

⁴⁶ CHOPRA, MEINDL, Op. cit., p. 465.

- **Planeación de la cadena de suministro:** las decisiones que se toman en esta fase reciben el nombre de estratégicas y el periodo que se considera es de un trimestre a un año. Las compañías comienzan la fase de planeación con un pronóstico para el siguiente año de la demanda en diferentes mercados. La planeación incluye tomar decisiones respecto a cuales mercados serán abastecidos y desde que ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario que se seguirán y la oportunidad y magnitud de las promociones de marketing y precio.
- **Operación de la cadena de suministro:** en este tipo de decisiones el horizonte de tiempo es semanal o diario. Durante esta fase las compañías toman decisiones respecto a los pedidos de cada cliente en aspectos relacionados con la fecha en que debe completarse el pedido, generan listas de surtido en el almacén, asignan un pedido a un modo particular de transporte y envío, establecen los itinerarios de entrega de los camiones y colocan as ordenes de reabastecimiento,

4.2.3 La demanda: un modelo para determinar los precios

Un elemento importante en la formulación de un modelo matemático que aplique las estrategias de Revenue Management es conocer los principios microeconómicos que relacionan la demanda como un modelo para determinar los precios. Tarziján y Paredes⁴⁷ plantean que la demanda es un concepto fundamental para entender cómo se mueven los precios en una economía.

Los autores plantean que la demanda representa la máxima cantidad que se está dispuesto a consumir a los distintos precios. Bajo esta perspectiva, la demanda de mercado está compuesta por la suma de las demandas de los distintos consumidores, donde cada uno o al menos cada grupo de ellos, puede tener una disposición distinta a pagar par un bien o servicio. A pesar de que es prácticamente imposible estimar demandas con total certeza, si es factible conocer sus principales determinantes. Por ejemplo, el ingreso del país y su crecimiento suelen afectar las demandas de la mayoría de los productos. Asimismo, el precio de otros productos, sustitutos y complementarios, también determinan la demanda de cada producto.

⁴⁷TARZIJÁN, Jorge; PAREDES, Ricardo. Elementos de Microeconomía para la organización industrial. En: Organización Industrial para la estrategia empresarial. 3 ed. Santiago de Chile: Pearson Education, 2012. p.3-25.

De acuerdo con Tarziján y Paredes⁴⁸, uno de los conceptos más importantes de la demanda, es la elasticidad precio de la demanda que mide la respuesta en la cantidad demandada ante un aumento en el precio, y se define como el cambio porcentual en la cantidad demandada sobre el cambio porcentual en el precio:

$$\text{Elasticidad de la demanda} = \frac{\% \text{ cambio en la cantidad de bienes vendidos}}{\% \text{ cambio en precio de un producto}}$$

Matemáticamente, define como:

Ecuación 1. Elasticidad precio de la demanda

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\Delta P} * \frac{P_0}{Q_0}$$

Si $\eta > 1$; la demanda es elástica, es decir, que los consumidores son muy sensibles a cambios en el precio de un determinado bien.

Si $\eta = 1$; la demanda es unitaria, es decir que las variación porcentuales de la demanda y del precio son iguales.

Si $\eta < 1$; la demanda es inelástica, que significa que los consumidores son poco sensibles a cambios en el precio de cierto bien.

Otros conceptos de gran importancia que relacionan los principios microeconómicos con el objeto de investigación se plantean a continuación de acuerdo a las definiciones planteadas por Dolgui y Proth⁴⁹:

La *curva de demanda* es la curva que representa la relación entre el precio de un producto y el número de productos que los clientes están dispuestos a pagar durante un periodo específico.

Un *mercado de monopolios* es un mercado en el que se tiene una única firma o proveedor para el tipo de productos bajo consideración.

Un *mercado de duopolio* es un mercado dominado por dos firmas o proveedores que son lo suficientemente grandes para influenciar el precio del mercado. El

⁴⁸ TARZIJÁN, PAREDES, Op. cit., p. 13

⁴⁹ DOLGUI, PROTH, Op. cit., p. 25

precio del mercado es el punto en donde las cantidades ofrecidas y las cantidades producidas son iguales.

Un *mercado de oligopolio* es un mercado dominado por dos firmas o proveedores. Cada firma es consciente de las acciones de los otros competidores y las acciones de un proveedor influyen las de los otros. Los proveedores operan bajo competencia imperfecta.

La *competencia imperfecta* es una situación en el mercado en que las características de la competencia perfecta no se satisfacen.

La *competencia perfecta* se caracteriza por:

- Numerosos proveedores
- Información perfecta: todos los proveedores y clientes conocen los precios fijados por todos proveedores.
- Libertad de entrada y salida: un proveedor puede entrar o salir del sistema en cualquier momento y con libertad.
- Producción homogénea: esto significa que no existe diferenciación en los productos o en otras palabras, que los productos son perfectos sustitutos.
- Todos los proveedores tienen igual acceso a tecnologías y recursos.

4.2.4 Estrategias de Segmentación de mercado y discriminación de precios

Dolgui y Proth⁵⁰ plantean que la segmentación del mercado es una estrategia basada en el hecho de que diferentes grupos de clientes vinculan diferentes niveles de importancia a diversos beneficios ofrecidos por un tipo de producto o servicio. Esta estrategia consiste en cobrar diferentes precios a los segmentos dependiendo de la voluntad del cliente de cada segmento de pagar más o menos para comprar el producto.

Es necesario fijar unas 'barreras' para asegurar que los clientes de un segmento paguen el precio asignado al segmento al que pertenecen. Estas 'barreras' pueden ser el fomento de algunos beneficios que atraigan a los clientes de un segmento específico. De nuevo es importante mencionar que los clientes pertenecientes a un mismo segmento deben ser similares o presentar características en común y deben ser diferentes de los clientes de otros segmentos. Estas similitudes y diferencias están relacionadas con los hábitos de compra.

⁵⁰DOLGUI, PROTH, Op. cit., p. 35

El enfoque de la segmentación de mercado es un proceso de cuatro etapas que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Identificar los parámetros en que los clientes están interesados. Esta identificación generalmente se realiza mediante la realización de una encuesta entre los clientes.
- Identificar las características de los parámetros, también llamados beneficios que son de interés del cliente.
- Definir los subconjuntos de beneficios que corresponden a cada segmento de clientes.
- Identificar los parámetros que caracterizan a los clientes de un segmento, por ejemplo, adhesión a una clase socioeconómica, la ubicación geográfica, el consumo hábitos, sexo, religión, edad, etc.

De manera complementaria, Tarzijan y Paredes⁵¹ plantean una clasificación de los diferentes parámetros que pueden presentarse en el momento de realizar una segmentación de mercado:

a) *Por las características personales.* Se basa en la identificación de características en las personas que puedan generar diferenciación en la disposición a pagar. Por ejemplo, por la edad, ancianos, adultos, niños, por la condición de estudiante o no del consumidor, o por su estado de ciudadano local o extranjero.

b) *Por el lugar de compra.* Este atributo sugiere la posibilidad de cobrar precios diferenciados dependiendo del lugar en que el cliente realizará la compra. Por ejemplo si se trata de un almacén en el centro de una ciudad o en un outlet lejano a este centro. Otro ejemplo de este tipo de segmentación es aquella que se basa en el barrio donde se encuentran los consumidores, siempre que eso guarde relación con distintas elasticidades.

c) *Por el diseño de productos.* Algunas empresas han enfocado su estrategia en crear diferentes versiones de productos que los clientes puedan valorar de manera distinta. Por ejemplo, algunas editoriales publican los libros en pasta dura y pasta blanda, cobrando un mayor precio a aquellos clientes que valoran y perciben los beneficios de comprar un libro con pasta dura.

⁵¹TARZIÁN, PAREDES, Op. cit., p. 23

d) *Por el horario o la temporada* Este es uno de los atributos donde existe mayor diferenciación ya que el tiempo entra a jugar un rol fundamental en la compra de bienes perecederos o bienes de temporada.

e) *Por intensidad de uso*. Este tipo de segmentación es la relacionada con los descuentos por volumen y las compras repetidas, en que se cobra un menor precio a mayor volumen de compra.

4.3 APORTE CRÍTICO

El presente trabajo pretende identificar factores que influyen directamente las decisiones para la aplicación de *Revenue Management* a la cadena de suministro. Se pretende cumplir este propósito mediante la formulación de un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro que aplique estrategias de precios diferenciados en los productos. Los factores podrán ser identificados tras la aplicación del modelo matemático al caso de estudio seleccionado. Como se ha señalado con anterioridad, los aportes y hallazgos de este proyecto se realizan en el marco del caso de estudio seleccionado.

Tras la revisión bibliográfica realizada se evidencia importantes aportes de la aplicación de *Revenue Management* en el sector servicios y muy poca información relacionada con el sector industrial. De acuerdo con lo anterior se propone una oportunidad de investigación en el campo que integra *Revenue Management* con la administración de la cadena de suministro. Bajo esta perspectiva, el aporte intelectual de este trabajo resulta de la extrapolación de los factores críticos para aplicar *Revenue Management* en servicios al sector industrial. Esta aproximación es fundamental para la formulación del modelo matemático y su aplicación al caso de estudio seleccionado.

5. ADMINSTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1 RECURSOS

En esta sección se incluye una descripción del presupuesto de los recursos humanos, económicos o tecnológicos que demandará el proyecto en cada una de sus fases. En el diseño y ejecución de la investigación se identificaron los siguientes recursos:

- **Financieros:** no hay recursos externos, todos serán suministrados por los investigadores.

- **Equipos:**

Equipos de cómputo: se necesitarán dos computadores con acceso a Internet y herramientas como Microsoft Office para el uso de programas como Excel, Word, Access, Project y Power Point. Adicionalmente, será necesario instalar una licencia de IBM ILOC CPLEX Optimization Studio.

Los equipos de computo son fundamentales para realizar el proceso de revisión bibliográfica, búsqueda en bases de datos, documentación del proyecto y comunicación entre el equipo de investigadores.

- **Humanos:** en el desarrollo del proyecto es necesario contar con un tutor metodológico, un tutor temático y un equipo de investigación.

El tutor metodológico brindará soporte sobre la metodología de investigación para realizar una correcta planeación y desarrollo del proyecto. El tutor temático como parte del equipo de investigación orientará al equipo en el cumplimiento de los objetivos del proyecto brindando asesoría sobre el tema de investigación.

El equipo de investigadores está conformado por dos estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi de noveno semestre, Ana María Gómez Saa y Kenen Steven Celis Muños y el profesor de tiempo completo del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi Andrés Felipe Osorio, Magister en Ingeniería y Especialista en Logística.

5.2 MATRIZ DE MARCO LÓGICO

En la matriz de marco lógico se detallan las diferentes actividades que se desarrollan para cumplir los objetivos propuestos (Ver Anexo A). En cada actividad se establecen indicadores, medios de verificación y supuestos que permiten medir el cumplimiento, el nivel de avance en las actividades y la congruencia de los resultados obtenidos.

5.3 CRONOGRAMA

El cronograma de trabajo incluye la descripción de las actividades críticas del proyecto y el tiempo y recursos que se les ha asignado para su ejecución (Ver Anexo B). El documento se elaboró en Microsoft Project y representa una importante herramienta gerencial para la administración del proyecto. Con base en la información que detalla el cronograma será posible realizar un seguimiento al cumplimiento de las actividades y tomar medidas preventivas o correctivas que permitan una culminación exitosa del proyecto dentro del límite de tiempo establecido.

El cálculo de los recursos de tiempo y capital humano se realizó en una base de horas hombre. Las fechas de ejecución de las actividades consideran la posibilidad de que ocurran contratiempos en el cumplimiento de la programación, en consecuencia, se introduce cierta tolerancia para efecto de imprevistos. En el caso de presentarse un contratiempo será necesario ajustar el ritmo de trabajo para no generar retrasos en los tiempos de entrega.

En el cronograma se consideran las actividades críticas que se identificaron en la matriz de marco lógico y adicionalmente se incluyen las jornadas de reunión con el tutor metodológico para el seguimiento del proyecto. La retroalimentación recibida en las asesorías generó en múltiples ocasiones la necesidad de actualizar el cronograma de trabajo ya que se adicionaron nuevas actividades al proyecto. En otras ocasiones fue necesario modificar la duración de ciertas tareas ya que se alargó o acortó el plazo que se había previsto para su ejecución.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 OBJETIVO ESPECIFICO 1

Identificar los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de fijación de precios de los productos en una cadena de suministro.

Descripción

El Revenue Management y el cumplimiento de la demanda en las cadenas de suministro son dos conceptos que han emergido de industrias diferentes. Por un lado, el cumplimiento de la demanda es un componente estándar en sistemas avanzados de planeación y es principalmente aplicado en industrias de manufactura. El Revenue Management, por su parte ha sido fuertemente vinculado a industrias de servicios.

La propuesta desarrollada en este objetivo plantea que ambos conceptos se pueden vincular al identificar los factores que diferentes autores han citado en sus investigaciones como elementos claves para aplicar las técnicas de Revenue Management. Sin embargo es importante tener en cuenta que la mayor parte de información encontrada en el proceso de revisión bibliográfica relaciona directamente Revenue Management con el sector servicios y no con el sector manufacturero. Por lo tanto el aporte crítico que se propone es extrapolar los factores identificados en la industria de servicios al sector manufacturero.

Con el objetivo de responder a la pregunta ¿Bajo qué condiciones son las estrategias de Revenue Management efectivas? se implementó la ponderación de factores como metodología de investigación y se elaboró una matriz donde se reconoce la importancia crítica de una lista de variables decisivas para la aplicación de las estrategias de precios diferenciados.

Etapas de trabajo

Para el desarrollo del primer objetivo se organizaron las actividades en cuatro etapas de trabajo. En la primera etapa se condujo un proceso de revisión bibliográfica donde se buscaron publicaciones en diferentes fuentes de información con el fin de seleccionar los documentos que profundizan en la relación entre Revenue Management y la industria de servicios. En la etapa dos,

se introduce una descripción del proceso de diseño y aplicación de la matriz de ponderaciones con el fin de identificar los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de fijación de precios en una industria de servicios.

A partir de los factores críticos seleccionados en la segunda etapa se realiza una extrapolación al sector industrial para que de acuerdo a las características específicas del sector, se identifiquen los factores críticos análogos.

6.1.1 Revisión bibliográfica

Para dar cumplimiento al primer objetivo del proyecto se utilizó la revisión bibliográfica como metodología de investigación. El interés se centró en buscar documentos donde se explorará la relación entre los principios de Revenue Management y su aplicación en las cadenas de suministro con el fin de identificar los factores críticos que caracterizan la integración de ambos conceptos en la toma de decisiones.

Se consultaron fuentes primarias de información como libros, tesis y artículos científicos y fuentes secundarias como bases de datos y resúmenes. Se realizó la búsqueda a través de la plataforma de Bases de Datos de la Universidad Icesi en portales como Jstor, EBSCO, Virtual Pro y ScienceDirect. También se utilizó el catalogo publico de Universidades como Icesi, Javeriana y Valle donde se buscaron libros y tesis de grado relacionados con el problema de investigación.

Como parte del proceso de búsqueda se procedió a evaluar si los artículos seleccionados resultan relevantes para el tema de investigación. En este caso se define como relevante los documentos que exploran desde lo cuantitativo y/o cualitativo las relaciones entre Revenue Management y cadenas de suministro. La última etapa consiste en la elaboración de una matriz donde se registra la siguiente información de cada artículo seleccionado.

- Referencia
- Enunciado del problema de investigación e hipótesis
- Características de los métodos de investigación
- Principales hallazgos y aportes

6.1.2 Diseño y aplicación de la matriz de ponderación

El criterio para otorgar el puntaje se basa en la frecuencia con que el factor es citado por diferentes autores en los libros, papers y otros documentos seleccionados en el proceso de revisión bibliográfica. Cada vez que un factor es citado en una publicación se le otorga un puntaje de 1. Para este ejercicio se parte del supuesto de que entre mayor número de veces un factor es citado más crítico se le considerará.

Al terminar la revisión bibliográfica se seleccionaron 30 publicaciones y tras su análisis se identificaron 17 factores. Posteriormente se registró la puntuación para cada factor, evaluando el número de veces que fue citado en un total de 30 artículos. A continuación se presenta la lista de los factores identificados ordenados de mayor a menor por el criterio de puntaje.

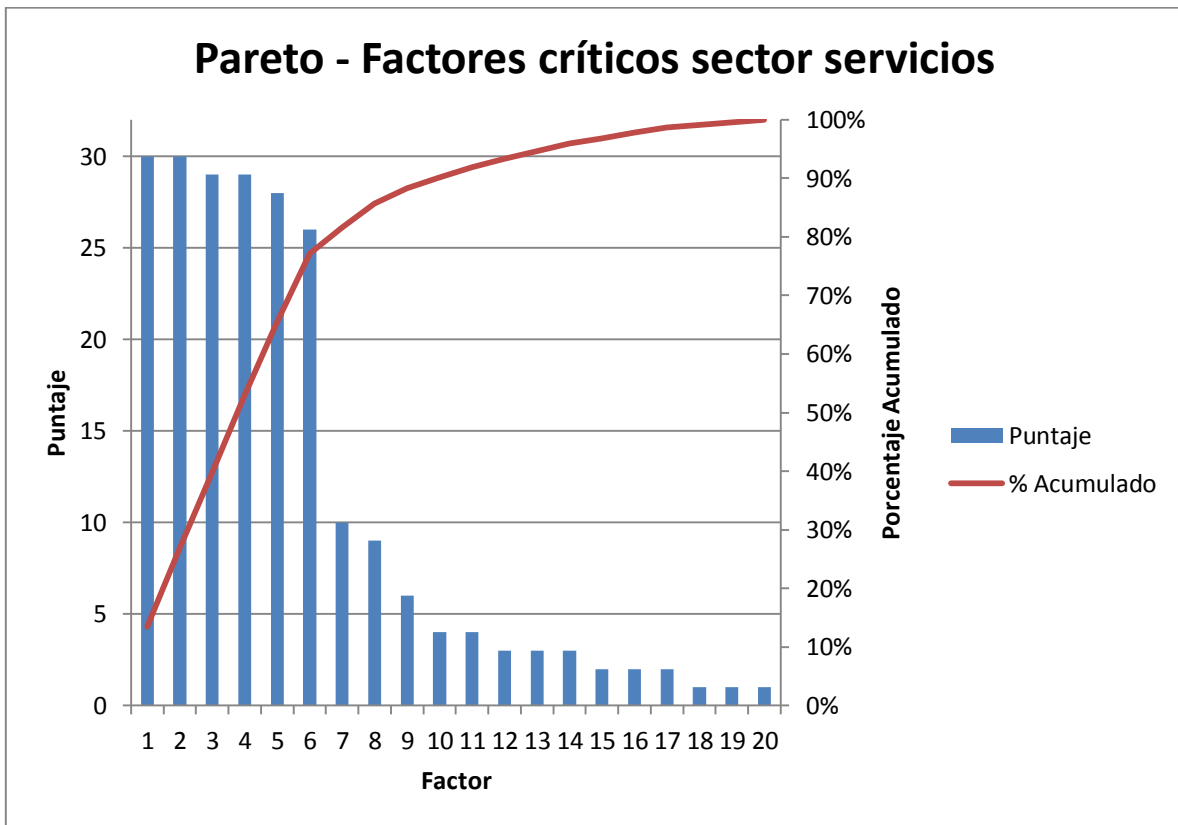
Tabla 2. Factores identificados en la revisión bibliográfica

Factor	Descripción	Puntaje	Puntaje acumulado	% Total	% Acumulado
1	La demanda del servicio se puede dividir en claros segmentos del mercado y la sensibilidad a los precios varía entre los diferentes segmentos. Es posible crear barreras entre los segmentos para asegurar que los clientes de un segmento paguen el precio asignado al segmento al que pertenecen	30	30	13,64%	13,64%
2	La capacidad se considera fija, es caro o poco práctico añadir o restar inventario en el corto plazo.	30	60	13,64%	27,27%
3	Existe una dimensión de tiempo en la provisión del servicio, una vez el tiempo ha pasado el inventario pierde todo su valor.	29	89	13,18%	40,45%
4	Hay una oportunidad para evaluar y aceptar o rechazar las solicitudes de pedidos por adelantado de la prestación del servicio, o existe una flexibilidad considerable para ajustar los precios rápidamente para reflejar las variaciones en el equilibrio de la oferta y la demanda.	29	118	13,18%	53,64%
5	Hay picos y valles definidos en la demanda, que se pueden predecir, pero no con un alto grado de certeza. Funciones de demanda dependientes del tiempo	28	146	12,73%	66,36%
6	Es posible sobrevender la capacidad real	26	172	11,82%	78,18%
7	Necesidad de interacción entre el prestador y receptor del servicio	10	182	4,55%	82,73%
8	Perdida de rentabilidad alta por pérdida de una venta	9	191	4,09%	86,82%
9	El costo marginal de vender una unidad adicional de la capacidad existente es bajo en relación con el precio del servicio	6	197	2,73%	89,55%
10	La capacidad de respuesta depende del personal	4	201	1,82%	91,36%
11	Contar con infraestructura de sistemas de información y datos	4	205	1,82%	93,18%
12	Ausencia de propiedad: se adquiere un derecho a recibir una prestación, uso o acceso pero no la propiedad del mismo.	3	208	1,36%	94,55%
13	Se exige el cumplimiento de altos niveles de servicio	3	211	1,36%	95,91%
14	Debe caracterizarse por la inseparabilidad: producción y consumo en el mismo instante de tiempo	3	214	1,36%	97,27%
15	Costos fijos altos y costos variables bajos	2	216	0,91%	98,18%
16	Intangibilidad	2	218	0,91%	99,09%
17	Continua capacitación en servicio al cliente	2	220	0,91%	100,00%

Fuente: los autores

Al analizarlos puntajes obtenidos se identificó que el 22% de los factores evaluados representan el 78% del puntaje total. Esto permitió identificar que de 17 factores solo 6 de ellos se consideran críticos para aplicar Revenue Management en el sector servicios. La distribución del puntaje se presenta a continuación en una gráfica de Pareto.

Ilustración 3. Pareto factores críticos sector servicios



Fuente: los autores

Los factores críticos identificados a partir del Pareto 78-22 se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Lista de factores críticos para aplicar Revenue Management en servicios

Factor		Descripción
1	Mercados segmentados	Es posible dividir la demanda del servicio en claros segmentos del mercado y la sensibilidad a los precios varía entre los diferentes segmentos. Es posible crear barreras entre los segmentos para asegurar que los clientes de un segmento paguen el precio asignado al segmento al que pertenecen.
2	Capacidad fija	La capacidad de la empresa se considera fija, es caro o poco práctico añadir o restar inventario en el corto plazo. Una vez se ha planeado la agenda no es posible modificar la capacidad.
3	'Inventario' perecedero	Existe una dimensión de tiempo en la provisión del servicio, una vez el tiempo ha pasado el inventario pierde todo su valor.
4	Ventas y reservas con anticipación	Hay una oportunidad para evaluar y aceptar o rechazar las solicitudes de pedidos por adelantado de la prestación del servicio. Existe una flexibilidad considerable para ajustar los precios rápidamente para reflejar las variaciones en el equilibrio de la oferta y la demanda.
5	Funciones de demanda dependientes del tiempo	Hay picos y valles definidos en la demanda, que se pueden predecir, pero no con un alto grado de certeza.
6	<i>Overbooking</i>	Es posible sobrevender la capacidad real

Fuente: los autores

6.1.3 Extrapolar los factores críticos del sector servicios al sector industrial

Teniendo en cuenta los factores críticos identificados en la etapa anterior se realiza un análisis para extrapolar estas condiciones y adaptarlas al ambiente de una empresa del sector manufacturero que se dedica a la producción y comercialización de bienes. Cada factor es evaluado de manera individual considerando en primer lugar si la condición aplica a no aplica al sector. En caso de que el factor aplique se formula un enunciado que se adapte a las características específicas del sector. En la Tabla 4 se incluye los factores críticos identificados.

Tabla 4. Lista de factores críticos para aplicar Revenue Management en la industria

Factor		Descripción
1	Mercados segmentados	Es posible dividir la demanda del producto en diferentes segmentos del mercado y la sensibilidad a los precios varía entre los segmentos. Los clientes son atraídos por diferentes beneficios ofrecidos por el mismo tipo de producto.
2	Capacidad	Existen restricciones de capacidad que limitan la producción en el corto plazo. Solo en largo plazo podrá expandir sus instalaciones y/o adquirir nuevos equipos de producción.
3	'Inventario' perecedero	El producto es altamente perecedero. Los productos deben ser vendidos antes de un momento específico en el tiempo.
4	Tiempo	Demanda dependiente del tiempo. Hay picos y valles definidos en la demanda. El comportamiento de compra varía en el tiempo así como la disposición para pagar. Los productos se venden por temporada y existe la posibilidad de que el cliente compre el producto con anticipación.

Fuente: los autores

Luego del análisis efectuado, se propone que el factor “overbooking” no aplica al sector manufacturero y que el factor 4 y 5 de la tabla 3 se pueden expresar como un solo factor que es el tiempo, lo que reduce la lista de factores críticos a un total de 4 condiciones necesarias para aplicar Revenue Management en un modelo que representa una cadena de suministro.

Se propone que el factor “overbooking” no sea considerado ya que la práctica de sobrevender la capacidad real no es común en el sector manufacturero. Esta es una práctica presente principalmente en las aerolíneas. Se fundamenta en que ante la posibilidad de que un cliente que ya ha comprado su tiquete de vuelo decida reprogramarlo o no decida viajar, la aerolínea decide sobrevender su capacidad física para reducir la probabilidad de incurrir en costos asociados a la pérdida de ingresos por tener asientos vacíos en el vuelo.

6.2 OBJETIVO ESPECIFICO 2

Definir los supuestos necesarios para aplicar los principios de Revenue Management a un modelo matemático.

Descripción

Luego de identificar los cinco factores críticos para aplicar Revenue Management en cadenas de suministro, el objetivo específico 2 propone definir los supuestos que se requieren para poder formular el modelo matemático. Los propuestos son definidos para una cadena de suministro que produce y comercializa productos de temporada en una red de cuatro agentes: proveedores, plantas, centros de distribución y clientes.

Etapas de desarrollo

Para dar cumplimiento al segundo objetivo del proyecto, se definieron seis etapas de trabajo. En la primera etapa se realizan y se establecen los supuestos para una cadena de suministro que no tenga precios de venta dinámicos. Por último, en la segunda etapa se establece que nuevos supuestos deben ser tenidos en cuenta para que el modelo se represente una cadena de suministro donde se aplique Revenue Management.

6.2.1 Planteamiento de supuestos para precios estáticos

Goetschalckx⁵² plantea un conjunto de componentes que deben tomarse bajo consideración en la planeación de las actividades de la cadena de suministro. Estos componentes son fundamentales para la definición de los supuestos del modelo ya que establecen las características de las relaciones entre los agentes de la cadena y los comportamientos de las variables de decisión.

⁵² GOETSCHALCKX, Op. cit., p.29

Tabla 5. Supuestos del modelo matemático para precios estáticos.

Componente	Supuesto	Justificación
Periodos de tiempo	Modelo dinámico que considera múltiples periodos de tiempo	Se define un modelo de planeación a nivel táctico con periodos de tiempo en meses
Ubicación geográfica	Modelo domestico	El modelo representara una cadena de suministro regional ya que solo un país es definido. Esto con el objetivo de simplificar las relaciones en términos de aranceles en transporte y legislaciones comerciales entre países.
Productos	Múltiples productos, producto estándar. Se producen y comercializan bienes de temporada.	Se define que el modelo incluirá la producción de múltiples productos. Los productos son categorizados como estándar ya que existen otras compañías que ofrecen productos comparables y de la competencia. Se define además que los productos tienen un <i>Bill of Materials</i> ya que requieren de materias primas para su producción. En este caso el BOM es convergente.
Clientes	Demanda regular e independiente	Se define una demanda regular que tiene un patrón de comportamiento y podrá ser satisfecha bajo el sistema de planeación de la producción <i>make-to-stock</i> o MTS. La temporada es el atributo del cliente que genera las diferencias en su comportamiento y decisión de compra. Algunos clientes están dispuestos a comprar con anterioridad aprovechando los descuentos por temporada, mientras que otros están dispuestos a pagar precios más altos por comprar a último momento.
Proveedores	No se consideran descuentos por cantidad	El modelo no profundiza en las cantidades óptimas a ordenar de acuerdo a los descuentos incrementales por cantidad. El interés del modelo se centra en evaluar las relaciones de precio demanda con el cliente.
Plantas de producción	Cuenta con subcomponentes como maquinas y recursos. Las	El modelo asume que en la planta de producción se realiza la transformación de

	plantas cuentan con bodega de materia prima.	materias primas y se cuenta con maquinas y recursos para la producción.
Canales de transporte	Uni-modal terrestre	Se define un único modo de transporte considerando que se modela una cadena de suministro regional.
Centros de distribución	Instalaciones donde se almacena el producto terminado. Los CENDIS envían el producto a los clientes.	Bajo un sistema de planeación de la producción MTS es necesario contar con bodega de almacenamiento de producto terminado. Todos los centros de distribución pueden manejar todos los productos.

Fuente: los autores

6.2.2 Planteamiento de supuestos para precios dinámicos

Una vez planteados estos supuestos, se analiza cuales deben modificarse para que el modelo pueda representar una cadena de suministros que aplique Revenue Management, y cuales permanecen de la misma manera.

Cualquier modelo de precios dinámicos requiere establecer cómo la demanda responderá ante cambios en el precio. El lector encontrará que es necesario plantear fuertes supuestos para obtener un modelo al que se le pueda hacer seguimiento. En efecto, este modelo matemático podrá difícilmente representar situaciones de la vida real, pero efectivamente si logra ilustrar la relación entre el precio y el comportamiento de compra del consumidor.

Tabla 6. Supuestos del modelo matemático con precios dinámicos.

Numero	Componente	Supuesto
1	Producto	En este modelo se considera el caso de productos de temporada, es decir artículos que deben ser vendidos antes de un cierto punto en el tiempo. La situación es común en la industria de la comida, productos escolares, el negocio de juguetes, entre otros. Más de un tipo de producto puede ser vendido, sin embargo sus ventas no se ven afectadas por los otros tipos de producto.

2	Clientes	<p>El número de clientes potenciales es infinito. Como consecuencia, el tamaño de la población no es un parámetro de entrada al modelo.</p> <p>Los clientes son miopes, lo que significa que ellos compran tan pronto cuando el precio es menor del que ellos están dispuestos a pagar. Los clientes estratégicos que optimizan su comportamiento de compra en respuesta a la estrategia de fijación de precios de la compañía no son considerados en este modelo.</p> <p>La participación de cada cliente en el mercado de cada producto se mantiene constante.</p>
3	Demanda	<p>La demanda del producto se define como una función lineal. Depende del precio del producto, de un coeficiente de nivel A y un coeficiente de tendencia B. Los valores de A y B para cada producto en cada periodo son un parámetro de entrada al modelo.</p> <p>El comportamiento de la demanda depende únicamente de estos factores y se supone una relación determinística entre la demanda y el precio por cada producto.</p> <p>No se permiten traslados de la demanda, sin embargo es posible que se presenten incrementos como resultado del crecimiento del mercado debido a los descuentos.</p>
4	Precio	<p>El precio de venta del producto se define como una variable de decisión del modelo.</p> <p>El precio estará acotado por un límite superior y un límite inferior. El precio más bajo podrá ser hasta el 80% del precio base y el precio más alto que podrá cobrarse a un cliente solo podrá representar el 130% del precio base.</p>
5	Mercado	<p>No existe competencia con otras compañías vendiendo el mismo tipo de producto.</p> <p>La segmentación del mercado permite identificar diferentes</p>

		<p>segmentos de clientes que vinculan diferentes niveles de importancia a diversos beneficios ofrecidos por el producto. Ya que se trata de un producto de temporada, los parámetros de cada segmento se fundamentan en el hábito de compra. Existen consumidores que están dispuestos a anticipar su compra para pagar un menor precio del producto.</p> <p>De acuerdo a este comportamiento se decide establecer tres segmentos de clientes, el primer segmento representa a los clientes que compran el producto en último momento en el último periodo del horizonte de ventas. Este segmento se caracteriza por su baja sensibilidad al precio ya que su decisión es comprar siempre en ese periodo independientemente del precio al que se vende el producto.</p> <p>El segundo segmento representa a los consumidores que están dispuestos a comprar con anterioridad para aprovechar descuentos sobre el precio del producto. El comportamiento de estos consumidores se representa como una alta sensibilidad al precio ya que ante una reducción en el precio del producto tomarán la decisión de comprar.</p> <p>El tercer segmento representa a los consumidores que aprovechan las ofertas de liquidación para comprar el producto tras la temporada alta en ventas. Su hábito de compra se representa por un bajo coeficiente de nivel y un bajo coeficiente de elasticidad ya que debido a que el producto ya ha perdido un valor en el tiempo ante una disminución del precio no habrá cambios significativos en la demanda.</p> <p>La tabla que se presenta a continuación caracteriza cada segmento de acuerdo al coeficiente de nivel y el coeficiente de elasticidad:</p> <table border="1" data-bbox="570 1289 1398 1465"> <thead> <tr> <th>Segmento</th> <th>Coeficiente de nivel A</th> <th>Coeficiente de elasticidad B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Alto</td> <td>Bajo</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Medio</td> <td>Alto</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Bajo</td> <td>Bajo</td> </tr> </tbody> </table>	Segmento	Coeficiente de nivel A	Coeficiente de elasticidad B	1	Alto	Bajo	2	Medio	Alto	3	Bajo	Bajo
Segmento	Coeficiente de nivel A	Coeficiente de elasticidad B												
1	Alto	Bajo												
2	Medio	Alto												
3	Bajo	Bajo												
6	Tiempo	<p>Partiendo del supuesto de que se produce y comercializan productos de temporada, el parámetro tiempo debe ser definido.</p> <p>Horizonte de tiempo finito. El proceso empieza en tiempo 0 hasta un tiempo T.</p>												

		<p>Los hábitos de compra de cada segmento de clientes se relacionan con el momento de compra de acuerdo con el tiempo de venta del producto. La tabla que se muestra a continuación muestra el segmento que compra en cada periodo.</p> <table border="1"> <tr> <td>Periodo</td> <td>1-7</td> <td>8-11</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Segmento</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </table>	Periodo	1-7	8-11	12	Segmento	3	2	1
Periodo	1-7	8-11	12							
Segmento	3	2	1							

Fuente: los autores

6.3 OBJETIVO ESPECIFICO 3

Formular un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro y aplique Revenue Management en los precios de los productos.

Descripción

El objetivo propone que para formular un modelo de programación matemática que aplique estrategias de precios diferenciados es necesario en primer lugar identificar los supuestos del modelo. A partir de los supuestos se propone la alternativa de definir el precio como variable de decisión, agregar parámetros correspondientes a los coeficientes de nivel y de tendencia de los productos, y la demanda como una relación funcional que cambia dependiendo de los valores que tome la variable precio y los coeficientes de nivel y tendencia. El objetivo es encontrar la mejor estrategia que conduzca a maximizar las utilidades del modelo manteniendo el precio de los productos dentro de unos valores límites.

Etapas de desarrollo

Para dar cumplimiento a este objetivo se desarrollaron cuatro etapas de trabajo. En la primera etapa se clasifica el tipo de modelo matemático que se formulará. En

la etapa 2 se realiza la formulación conceptual de los conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones del modelo base que represente una cadena de suministro (que no aplique Revenue Management). Luego, en la etapa 3 se procede a plantear el modelo en notación algebraica. Posteriormente, en la etapa 4, se definirán los cambios que se deben hacer en el modelo base modificando los parámetros, variables y restricciones para que se pueda aplicar Revenue Management. Por último, en la etapa 5 se explica y justifica la elección de la herramienta para solucionar el modelo.

6.3.1 Clasificación del modelo matemático

Tabla 7. Clasificación del modelo por su forma de representación

Criterio	Elección	Justificación
Modelos físicos, análogos y matemáticos	Matemático	Se trata de un modelo matemático o simbólico que incorpora las propiedades estructurales y comportamental es del sistema real mediante relaciones matemáticas.
Determinísticos versus Estocásticos	Determinístico	El proyecto busca una primera aproximación al campo de investigación en consecuencia parte del supuesto de que existe una relación determinística entre el precio y la demanda.
Modelos deductivos versus modelos inferenciales	Deductivo	Se trata de un modelo deductivo ya que se empezó por la definición de variables, se hicieron algunos supuestos y posteriormente se establecieron las relaciones entre las variables.

Fuente: los autores

Ballou y Master⁵³ sostienen que la mayoría de los modelos para cadenas de suministro son realizados por medio de la programación lineal mixta. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta las justificaciones que los autores presentan, se tomó la decisión de utilizar este tipo de programación. Esta decisión busca reducir la complejidad en el proceso de solución. Si el modelo se condiciona a que todas las respuestas sean enteras, el tiempo que se demorará el sistema para obtener una solución se va a extender y es más probable que se obtenga una solución no factible.

⁵³BALLOU, Ronald; MASTER, James. Facility location commercial software survey. 1999.

6.3.2 Formulación del modelo matemático que represente una cadena de suministro

Para formular el modelo base, se realizó una revisión de documentos que trataran de modelos matemáticos de cadenas de suministro y se encontró una tesis realizada por Toro⁵⁴ en la cual se muestra un modelo matemático de una cadena de suministro nacional. La formulación del modelo de este proyecto de grado parte del planteado por Toro.

Definición de conjuntos principales e índices del modelo:

- Proveedores
- Clientes
- Plantas
- Centros de Distribución
- Productos
- Materia Prima
- Periodos

C= Conjunto de clientes [I]

Este conjunto representa los diferentes nichos que se encuentran dentro del mercado el cual es abastecido por toda la cadena. Para cada nicho de clientes se debe especificar la demanda que se debe satisfacer, este modelo debe recibir como entrada la demanda de cada cliente en cada periodo. Los clientes pueden ser abastecidos directamente desde las plantas de producción o también desde los distintos centros de distribución ubicados en la región, esta decisión se toma dependiendo de la ubicación del cliente ya que puede que sea más factible enviar desde la planta o también puede suceder que el cliente solo se pueda ser abastecer por un centro de distribución dadas las condiciones geográficas de la región.

⁵⁴ TORO, Op. cit., p. 64

CD= Conjunto de centros de distribución [k]

El modelo considera centros de distribución que tienen como función almacenar productos terminados y enviar producto a los clientes. A cada centro de distribución se le asocian costos de manejo y almacenamiento del producto terminado. Adicionalmente tiene un costo anual de funcionamiento. En este modelo se parte del supuesto de que un centro de distribución puede enviar producto a otro centro de distribución ya sea porque necesita liberar espacio de almacenaje o porque la única manera de llegar a un cliente determinado es enviando el producto a ese centro de distribución para enviarlo posteriormente al respectivo cliente.

PL= Conjunto de plantas de producción [j]

Lugares donde se transforma la materia prima en producto terminado a través de diferentes procesos productivos. Para este modelo se plantea el supuesto que cada planta cuenta con una bodega destinada únicamente a almacenamiento de materia prima proveniente de los proveedores. Cada una de las plantas del modelo tiene asociada una capacidad de producción y una capacidad de almacenaje de materia prima.

S=Conjunto de proveedores [i]

Los proveedores son los agentes encargados de producir y enviar las diferentes materias primas a las plantas de producción en toda la cadena de suministro. Los proveedores tienen una capacidad asociada a la cantidad de materia prima que pueden proveer a las plantas durante un determinado periodo.

PT= Conjunto de productos terminados [p]

Conjunto que representa los productos que las plantas fabrican para luego vender a los clientes. Los productos son medidos por unidad y se asocia un peso a cada tipo para poder representar las restricciones de capacidad de

transporte. Otro de los parámetros es la cantidad necesaria de materias primas que un producto requiere para su fabricación. Este parámetro es fundamental para representar las restricciones de fabricación en cada una de las plantas y el inventario de producto terminado en cada periodo.

MP= Conjunto de materias primas [r]

Representan los materiales o insumos que se requieren para fabricar el producto final que se venderá al cliente. En este modelo se considera que el costo de obtención de la materia depende del proveedor que la suministra, la planta a la que se envía, y el modo de transporte que se desea utilizar.

PE= Conjunto de periodos [t]

Partiendo del supuesto de que el modelo representa una cadena de suministro de productos de temporada es necesario formular el modelo en un horizonte de planeación de 12 periodos de tiempo. Esto con el objetivo de evaluar como las decisiones en el periodo n afecta el comportamiento de las variables en otros periodos.

Definición de parámetros:

$CRPR_{ir}$ = Unidades de recurso consumidas por el proveedor i cuando provee la materia prima r; [unidades de recurso / unidad de r]

$CRPL_{jp}$ = Unidades de recurso consumidas en la planta j cuando manufactura el producto p;
[unidades de recurso / unidad de p]

D_{ipt} = Proyección de la demanda del producto p por el cliente l en el periodo t;
[unidades de p/ unidad de tiempo]

PV_p = Precio de venta del producto p; [\$/ unidad de p]

$FIJPL_j$ = Costo fijo de la planta j; [\$/ unidad de tiempo]

$FIJCD_k$ = Costo fijo de centro de distribución k; [\$/ unidad de tiempo]

$CMANCD_{kp}$ = Costo de manejo de producto p en el centro de distribución k; [\$/ unidad de tiempo]

CPT_{jp} = Costo de producción del producto p en la planta j; [\$/ unidad de p] (no incluye el costo de la materia prima usada en el producto)

$CAPL_j$ = Capacidad de producción de la planta j para todos los productos p; [unidades de recurso/ unidad de tiempo]

$CAPCD_k$ = Capacidad de flujo a través del centro de distribución k para todos los productos p; [unidades de peso / unidad de tiempo]

$COSTOMP_{ijmr}$ = Costo de obtención (transporte – seguros- otros) de la materia prima r que se obtiene del proveedor i para la planta j ; [\$/ unidad de r]

Q_{rp} = cantidad de materia prima r necesaria para elaborar una unidad de p; [unidad de r / unidades de p]

$CAPR_i$ = Capacidad del proveedor i al respecto de todas las materias primas r; [unidades de recurso / unidad de tiempo]

$TRCJKM_{jk}$ = Costo de transporte por unidad de peso de los productos terminados p enviados desde la planta hacia el centro de distribución k ; [\$/ unidad de peso]

$TRCKLM_{kl}$ = Costo de transporte por unidad de peso de los productos terminados p enviados desde el centro de distribución k hacia el cliente l ; [\$/ unidad de peso]

$TRCJLM_{jl}$ = Costo de transporte por unidad de peso de los productos terminados p enviados desde la planta hacia el cliente l ; [\$/ unidad de peso]

$TRCKK'M_{kk'}$ = Costo de transporte por unidad de peso de los productos terminados p enviados desde el centro de distribución k hacia el centro de distribución k' ; [\$/ unidad de peso]

$TRCAPJKM_{jk}$ = capacidad de transporte para mover el producto terminado entre la planta j y el centro de distribución k; [unidades de peso / unidad de tiempo]

$TRCAPKLM_{kl}$ = capacidad de transporte para mover el producto terminado entre el centro de distribución k y el cliente l; [unidades de peso / unidad de tiempo]

$TRCAPJLM_{jl}$ = capacidad de transporte para mover el producto terminado entre la planta j y el cliente l; [unidades de peso / unidad de tiempo]

$TRCAPKK'M_{kk'}$ = capacidad de transporte para mover el producto terminado entre el centro de distribución k y el centro de distribución k'; [unidades de peso / unidad de tiempo]

$INVMP_{jr}$ = Valor inicial unitario del inventario de materia prima en la planta j; [\$/ unidad de r]

$INVPC_{kp}$ = Valor inicial unitario del inventario de inventario de producto p en el centro de distribución k; [\$/ unidad de p]

$FPESOPT_p$ = Factor de peso por unidad de producto terminado; [unidades de peso / unidad de p]

$FPESOMP_r$ = Factor de peso por unidad de materia prima; [unidades de peso / unidad de r]

$CAPALMPL_j$ = Capacidad de almacenaje de materia prima en la planta j; [peso]

$CAPALMCD_k$ = Capacidad de almacenaje de producto terminado en el centro de distribución k; [peso]

$INICIALMP_{jr}$ = Cantidad inicial del inventario de materia prima r en la planta j; [unidad de r]

$INICIALPT_{kp}$ = Cantidad inicial del inventario de producto terminado p en la centro de distribución k; [unidad de p]

Definición de variables de decisión:

S_{ijrt} = Cantidad de materia prima r adquirida al proveedor i para la planta j y enviada en el periodo t; [unidades de r / unidad de tiempo]

X_{jkpt} = Cantidad de producto terminado p producido en la planta j y enviado al centro de distribución j en el periodo t; [unidades de p / unidad de tiempo]

Z_{klpt} = Cantidad de producto terminado p enviado al cliente l desde el centro de distribución k en el periodo t; [unidades de p / unidad de tiempo]

V_{jlpt} = Cantidad de producto terminado p producido en la planta j y enviado al cliente l en el periodo t; [unidades de p / unidad de tiempo]

U_{kkpt} = Cantidad de producto terminado p enviado desde el centro de distribución k hacia el centro de distribución k' en el periodo t; [unidades de p / unidad de tiempo]

IMP_{jrt} = Inventario de materia prima r en la planta j al final del periodo t; [unidades de r/ unidad de tiempo]

IPT_{kpt} = Inventario de producto p en el centro de distribución k al final del periodo t; [unidades de p/ unidad de tiempo]

Y_j = Variable binaria asociada a cada planta, igual a 1 si la planta j se abre o igual a cero en caso contrario.

W_k = Variable binaria asociada a cada centro de distribución, igual a 1 si el centro de distribución k se abre o igual a cero en caso contrario.

Definición de Función Objetivo:

La función objetivo del modelo planteado busca maximizar la utilidad de la planta considerando todos los costos acarreados por el producto a lo largo de toda la cadena. Esto se hace al obtener los ingresos totales provenientes de cada producto por cada cliente en cada periodo. Una vez calculado el ingreso total, se restan todos los costos. A continuación se muestra como se obtiene el ingreso total y cada uno de los costos:

Maximizar Utilidad= Ingreso*Ventas – (Costo de obtención de materia prima + Costo de producción + Costo de transporte de producto terminado + Costo de manejo de productos terminados en Centros de distribución + Costo de mantener inventario + Costos fijos de operación en plantas y en Centros de distribución)

Definición de Restricciones:

- Capacidad de los proveedores.
- Capacidad de producción de las plantas.
- Capacidad de flujo en los centros de distribución.
- Satisfacción de la demanda para cliente.
- Restricciones de explosión de materiales, balance de materiales (BOM).
- Restricciones por capacidad de transporte.
- Restricciones de configuración y restricciones lógicas.

- Límites sobre las variables de decisión.

6.3.3 Formulación algebraica del modelo

- **Función objetivo:**

Ingresos totales obtenidos

$$\sum_k \sum_l \sum_p \sum_t Z_{klpt} * PV_p$$

$$\sum_j \sum_l \sum_p \sum_t V_{jlpt} * PV_p$$

Costos variables de producción:

$$\sum_j \sum_k \sum_p \sum_t CPT_{jp} * X_{jkpt}$$

$$\sum_j \sum_l \sum_p \sum_t CPT_{jp} * V_{jlpt}$$

Costos de transporte de productos terminados:

$$\sum_j \sum_k \sum_p \sum_t TRCJMK_{jk} * FPESOPT_p * X_{jkpt}$$

$$\sum_j \sum_l \sum_p \sum_t TRCJLM_{jl} * FPESOPT_p * V_{jlpt}$$

$$\sum_k \sum_{k'} \sum_p \sum_t TRCKK'_{kk'} * FPESOPT_p * U_{kk'pt}$$

$$\sum_k \sum_l \sum_p \sum_t TRCKLM_{kl} * FPESOPT_p * Z_{klpt}$$

Costos por manejo de inventario:

Costo de manejo de productos en centros de distribución:

$$\sum_k \sum_l \sum_p \sum_t CMANCD_{kp} * Z_{klpt}$$

$$\sum_k \sum_{k'} \sum_p \sum_t CMANCD_{kp} * U_{kk'pt}$$

Costo de almacenaje de materia prima en plantas:

$$\sum_j \sum_r \sum_t INVMP_{jr} * IMP_{jrt}$$

Costo de almacenaje de producto terminado en centros de distribución:

$$\sum_k \sum_p \sum_t INVPC_{kp} * IPT_{kpt}$$

Costos fijos de apertura:

$$\sum_j FIJPL_j * Y_j$$

$$\sum_k FIJCD_k * W_j$$

- Restricciones del modelo:

Capacidad Proveedores:

$$\sum_j \sum_r CRPR_{ir} * S_{ijrt} \leq CAPR_i \quad , \quad \forall_{i,t}$$

Capacidad de producción y almacenaje de las Plantas:

$$\sum_k \sum_p CRPL_{jp} * X_{jkpt} + \sum_l \sum_p CRPL_{jp} * V_{jlpt} \leq CAPL_j * Y_j \quad , \quad \forall_{j,t}$$

$$\sum_r IMP_{jrt} * FPESOMP_r \leq CAPALMPL_j * Y_j \quad \forall_{j,t}$$

Capacidad de los Centros de Distribución:

$$\sum_l \sum_p FPESOPT_p * Z_{klpt} + \sum_{k'} \sum_p FPESOPT_p * U_{kk'pt} \leq CAPCD_k * W_k \quad , \quad \forall_{k,t}$$

$$\sum_j \sum_p FPESOPT_p * X_{jkpt} + \sum_{k'} \sum_p FPESOPT_p * U_{k'kpt} \leq CAPCD_k * W_k \quad , \quad \forall_{k,t}$$

$$\sum_p IPT_{kpt} * FPESOPT_p \leq CAPALMCD_k * W_k \quad \forall_{k,t}$$

Satisfacción de la demanda:

$$\sum_k Z_{klpt} + \sum_j V_{jlpt} = D_{lpt} \quad , \quad \forall_{l,p,t}$$

Balance de Materiales en Producción:

$$\sum_k \sum_p Q_{rp} * X_{jkpt} + \sum_l \sum_p Q_{rp} * V_{jlpt} \leq IMP_{jrt-1} + \sum_i S_{ijrt} \quad , \quad \forall_{j,r,t}$$

$$IMP_{jrt} = IMP_{jrt-1} + \sum_i S_{ijrt} - \sum_k \sum_p Q_{rp} * X_{jkpt} - \sum_l \sum_p Q_{rp} * V_{jlpt} \quad \forall_{j,r,t}$$

$$IMP_{jr0} = INICIALMP_{jrt} + \forall_{j,r}$$

Balance de Flujo en Centros de Distribución:

$$\sum_j X_{jkpt} + \sum_{k'} U_{k'kpt} + IPT_{pkt} \geq \sum_l Z_{klpt} + \sum_{k'} U_{kk'pt} \quad , \quad \forall_{k,p,t}$$

$$IPT_{kpt} = IPT_{kpt-1} + \sum_j X_{jkpt} + \sum_{k'} U_{k'kpt} - \sum_l Z_{klpt} - \sum_{k'} U_{kk'pt} \quad , \quad \forall_{k,p,t}$$

$$IPT_{kp0} = INICIALPT_{kpt} + \forall_{k,p}$$

Capacidad Modos de Transporte:

$$\sum_p X_{jkpt} * FPESOPT_p \leq TRCAPJKM_{jk} \quad , \quad \forall_{j,k,t}$$

$$\sum_p V_{jlpt} * FPESOPT_p \leq TRCAPJLM_{jl} \quad , \quad \forall_{j,l,t}$$

$$\sum_p U_{kk'pt} * FPESOPT_p \leq TRCAPKK'M_{kk'} \quad , \quad \forall_{k,k',t}$$

$$\sum_p Z_{klpt} * FPESOPT_p \leq TRCAPKLM_{kl} \quad , \quad \forall_{k,l,t}$$

Límites de las Variables:

$$S_{ijrt}, X_{jkpt}, V_{jlpt}, Z_{klpt}, U_{kk'pt}, IMP_{jrt}, IPT_{kpt} \geq 0, \quad \forall_{ijklpt}$$

$$Y_j, W_k \in \{0,1\}, \quad \forall_{j,k}$$

6.3.4 Modificaciones al modelo

Para que el modelo matemático pueda representar una cadena de suministro en la cual se aplique el Revenue Management se deben tener en cuenta las siguientes modificaciones:

- **Parámetros:**

Se agregaran los parámetros:

A_{pt} =Coeficiente de nivel del producto p en el periodo t.

B_{pt} = Coeficiente de tendencia del producto p en el periodo t.

$PORPAR_{pl}$ =Porcentaje de participación en la demanda del producto p del cliente l.

$PVMAX_p$ = Precio máximo que puede tomar el producto p.

$PVMIM_p$ = Precio mínimo que puede tomar el producto p.

Se eliminan los parámetros:

D_{lpt} y PV_p

Ambos parámetros se definirán como variables de decisión del modelo para cumplir con los principios de Revenue Management. A la variable que representa el precio del producto se le debe agregar el subíndice t que representa los periodos. Se considera ahora, el precio del producto p en el periodo t.

- **Variables de decisión:**

Se agrega la siguiente variable:

PV_{pt} = Precio de venta del producto p en el periodo t

- **Relaciones funcionales:**

$DEMCL_{lpt}$ = demanda del cliente l del producto p en el periodo t

DEM_{pt} = demanda del producto p en el periodo t

La relación funcional DEM_{pt} estará dada en términos del total de la demanda del producto en cada periodo sin discriminar el cliente. Para resolver esta situación, con los datos históricos se obtiene el porcentaje de participación de cada cliente como parámetro de entrada $PORPAR_{pl}$. Para luego multiplicarlo por la demanda total de cada producto en cada periodo para luego obtener la demanda de cada cliente, de cada producto en cada periodo.

- **Función objetivo:**

La función objetivo se define en términos generales:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_p \sum_t [(PV_{pt} - C_p) * (DEM_{pt})]$$

Al remplazar DEM_{pt} , se obtiene la función:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_p \sum_t [(PV_{pt} - C_p) * (A_{pt} - B_{pt} * PV_{pt})]$$

Al analizar esta función se evidencia una no linealidad ya se da la multiplicación entre las variables PV_{pt} y PV_{pt} . Surge entonces la necesidad de explorar y estudiar diferentes métodos de linealización.

- **Restricciones**

Se cambia la siguiente restricción:

$$\sum_k Z_{klpt} + \sum_j V_{jlpt} = D_{lpt} \quad , \quad \forall_{l,p,t}$$

Por la nueva expresión:

$$\sum_k Z_{klpt} + \sum_j V_{jlpt} = DEMCL_{lpt} \quad , \quad \forall_{l,p,t}$$

Se agregan las siguientes restricciones:

$$DEM_{pt} = A_{pt} - B_{pt} * PV_{pt} \quad , \quad \forall_{p,t}$$

$$DEMCL_{lpt} = DEM_{pt} * PORPAR_{pl} \quad , \quad \forall_{l,p,t}$$

$$PVMAX_p \geq PV_{pt} \geq PVMIN_p \quad , \quad \forall_{p,t}$$

6.3.5 Selección de la herramienta para solucionar el modelo

A pesar de que se tenía planteado formular un modelo de programación matemático entero lineal mixto, se obtuvo un modelo no lineal. Debido a esto, con asesoría del tutor temático, se buscaron algoritmos para resolver problemas no lineales y se encontró un software de optimización en línea llamado neos-server⁵⁵.

⁵⁵ <<http://www.neos-server.org/neos/solvers/index.html>> [citado en octubre 2 de 2012]

La aplicación ofrece diversos algoritmos para resolver modelos no lineales. A continuación se presentan los diferentes algoritmos que ofrece la página con los respectivos lenguajes de programación que cada uno soporta:

Tabla 8. Solvers de optimización disponibles en Neos-server

Solver	Lenguaje de Programación
AlphaECP	GAMS
BARON	GAMS
Bonmin	AMPL;GAMS
Couenne	AMPL;GAMS
DICOPT	GAMS
FilMINT	AMPL
LINDOGlobal	GAMS
MINLP	AMPL
SBB	GAMS
Scip	AMPL; CPLEX; GAMS; MPS; OSIL; ZIMPL

Fuente: <<http://www.neos-server.org/neos/solvers/index.html>> [citado en octubre 2 de 2012]

Para decidir que algoritmo utilizar se realizó un filtro teniendo en cuenta que los autores del proyecto conocen el lenguaje de programación matemática AMPL y CPLEX. El solver seleccionado fue *Bonmin* que por su sigla en inglés significa *Basic Open-source Nonlinear Mixed Integer Programming*. Bonmin fue desarrollado por un equipo de investigadores de IBM en alianza con la Universidad Carnegie Mellon. Este solver implementa el método de rama y acotamiento, mejor conocido como *Branch and Bound* el método híbrido de Quesada y Grossmann⁵⁶.

⁵⁶QUESADA I.E. y GROSSMANN. An LP/NLP Based Branch and Bound Algorithm for Convex MINLP Optimization Problems. Computers and Chemical Engineering 16. 1992. p. 937-947

6.4 OBJETIVO ESPECIFICO 4

Analizar los resultados del modelo de programación matemática tras la aplicación de un caso de estudio seleccionado.

Descripción

Luego de identificar los supuestos y formular un modelo de programación matemática que aplica estrategias de Revenue Management para fijar los precios de los productos, se propone analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio⁵⁷. El desarrollo de este objetivo propone un conjunto de factores que se consideran fundamentales para analizar como las decisiones sobre el tiempo en que se efectuaran los descuentos afectan la rentabilidad de la organización y como se relacionan los sistemas de fijación de precios con las diferentes áreas de la organización y otros agentes de la cadena de suministro.

Ilustración 4. Factores para análisis de resultados



Fuente: los autores

⁵⁷ TORO, Op. cit., p. 110

6.4.1 Factores que determinan las estrategias de precios

Tabla 9. Factores que afectan la estrategia de precios

Factores internos	Factores externos
Objetivos de la empresa	Naturaleza del mercado y la demanda
Estrategia de las variables del marketing mix	Competencia
Etapa del ciclo de vida del producto	Otros factores del entorno (Economía, gobierno, intermediarios, etc.)
Costos	

Fuente: los autores

Específicamente, para el caso de estudio bajo análisis el objetivo de maximizar las utilidades es el factor interno que determina el comportamiento del modelo. A esto debe agregarse que factores externos como la naturaleza del mercado y el comportamiento de la demanda de acuerdo a la sensibilidad al precio condicionan la estrategia de fijación de precios.

Partiendo de estos factores, Ferrel y Hartline⁵⁸ proponen que las estrategias de precio pueden clasificarse en tres enfoques. Las estrategias de precio base, en la que la empresa establece el precio inicial y el rango de posibles movimientos de este durante el ciclo de vida del producto, las técnicas para ajustar los precios en los mercados del consumidor, por ejemplo ofrecer descuentos promocionales y por último la estrategia del ajuste de precios en los mercados empresariales, como por ejemplo los descuentos por cantidad y los precios geográficos de acuerdo a las reducciones o incrementos en los costos de transporte.

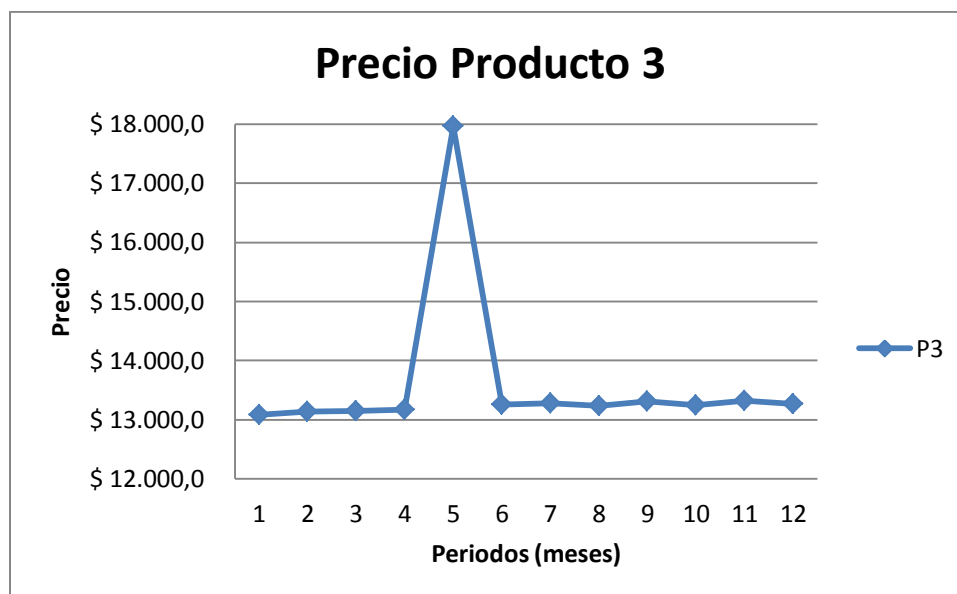
6.4.2 La estrategia de precios en el caso de estudio

La solución entregada por el modelo al aplicar una estrategia de precios diferenciados cumple con los requerimientos de demanda y opta por las decisiones que involucren los menores costos teniendo en cuenta que el objetivo del modelo es maximizar la utilidad. Los ingresos del modelo son \$4.766.540.000. El costo total asociado a la operación de la cadena es de \$3.087.510.000 lo que permite un cálculo de utilidad de \$1.679.040.000.

⁵⁸ FERREL, O.C; HARTLINE, Michael O. Estrategia de precios. En: Estrategia de Marketing. 3 ed. Mexico: Thomson. 2006. p. 201-210.

En relación a la variable precio, la solución arrojada evidencia que el modelo fija precios diferentes dependiendo de la sensibilidad del segmento del mercado que compra en ese periodo. Se puede apreciar en la ilustración 6, que el precio de los productos cumple con la hipótesis planteada. Los precios más altos se presentan en el periodo 5, los más bajos del periodo 1 al 4 que representan el periodo en que se efectúan los descuentos. Los altos precios del periodo 5 responden a la alta demanda y poca sensibilidad del segmento que compra en este periodo.

Ilustración 5. Resultados de la variable precio del producto Escenario inicial



Fuente: los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos, se identifica que para este caso de estudio los siguientes elementos optimizan la utilización de las promociones y maximizan las utilidades del sistema:

- El **Recorte** óptimo de Precio: Al calcular el porcentaje descuento que se aplica a cada producto se obtiene que el modelo ofrece los menores precios durante los periodos 1 a 4, que este caso llamaremos temporada de descuentos. La Tabla 11 muestra el porcentaje óptimo de descuento por producto.

Tabla 10. Porcentaje óptimo de descuento sobre el precio del producto

Producto	Porcentaje de descuento
1	25,11%
2	27,16%
3	24,20%

Fuente: los autores

En la Tabla 11 se evidencia que los porcentajes de descuento óptimo varían dependiendo del producto. El modelo propone que el mayor descuento debe efectuarse sobre el producto 2, este producto se caracteriza por generar el mayor margen de contribución y consumir la menor cantidad de recursos como materias primas y hrs-hombre para su producción. Al efectuar el descuento sobre el precio del producto 2, se genera un aumento en la demanda y como este producto presenta una baja utilización de recursos, dicho aumento no causará un gran impacto en la utilización de la capacidad del sistema. Bajo esta perspectiva, se identifica que en este modelo los costos asociados a la producción y distribución juegan un papel fundamental en la decisión de establecer el porcentaje de descuento óptimo por producto.

- La **Duración** óptima de la estrategia de precio: La duración óptima de la estrategia de precio para el caso de estudio seleccionado corresponde a 4 periodos de tiempo.
- La **Frecuencia** óptima de la estrategia de precio: Chopra y Meindl⁵⁹ proponen que el tiempo en que se realizan las promociones tiene un significativo impacto en la demanda, con el objetivo de orientar esta decisión se han identificado una serie de factores y cada uno se ha relacionado con el impacto que genera en el tiempo de la promoción. Los resultados arrojados por el modelo propone que los descuentos deben efectuarse en los periodos de baja demanda.

Tabla 11. Impacto del tiempo de la promoción

Factor	Impacto en el tiempo de la promoción
Anticipar la compra del producto	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Alto margen	Favorece la promoción durante periodos picos de

⁵⁹ CHOPRA, MEINDL. Op. cit., p.230-251

	demanda
Bajo margen	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Alto costos de mantener inventario	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda
Altos costos de cambiar la capacidad	Favorece la promoción durante periodos de baja demanda

Fuente: CHOPRA, MEINDL. Op. cit., p.230-251

Análisis descuentos vs. Utilidad

Tomaremos como ejemplo el producto 1 y supondremos que es el único producto que se fabrica y comercializa en el sistema. El caso de estudio plantea que el producto 1 se vende a \$13.491. El costo variable del producto incluyendo producción y transporte es de \$7.085 lo que deja un margen de contribución de \$6.407. De acuerdo a los resultados arrojados por el modelo matemático el descuento óptimo que se debe ofrecer sobre el precio de este producto es \$3.388. El descuento consiste en una reducción del precio de 25,11%, pero en realidad se trata de una reducción de 52,88% en el margen de contribución. Como resultado, para mantener el mismo nivel de margen de contribución, la empresa deberá aumentar 112% el volumen de ventas. ¿Qué probabilidad hay de que un descuento de \$3.388 aumente 112% el volumen de ventas? Esta pregunta es crucial para el éxito de la estrategia de precios.

Bajo esta perspectiva, cualquier reducción de precios se debe compensar con un incremento en el volumen de ventas para mantener el mismo nivel de ganancias. En otras palabras, el éxito de una estrategia de bajos precios depende del número de clientes que son atraídos por el producto ya que el bajo margen debe ser compensado con un gran número de artículos vendidos.

En este caso el aumento necesario en el volumen de ventas es demasiado alto, sin embargo como el modelo matemático propuesto no asocia una probabilidad al incremento en ventas, se asume que existe 100% probabilidad de que se alcance el aumento necesario para mantener el margen. De acuerdo con lo anterior, se identifica que en este modelo la capacidad del sistema es la única restricción al aumento en ventas.

6.4.3 Factor 1: Los pronósticos

Los pronósticos de la demanda futura son esenciales para tomar las decisiones en la cadena de suministro y son la base de la planeación⁶⁰. La demanda de los clientes está influenciada por una variedad de factores que pueden ser predichos al menos con alguna probabilidad. Algunos de los factores que se relacionan con los pronósticos de demanda se listan a continuación⁶¹:

- Demanda histórica
- Tiempo de entrega del producto
- Publicidad planeada y esfuerzos de mercadeo
- Estado de la economía
- Descuentos planeados en el precio
- Acciones que los competidores han realizado

Bajo esta perspectiva, se propone que las decisiones de fijación de precios deben estar alineadas con los pronósticos de producción para evaluar si efectivamente el mercado responderá ante el descuento planeado. Un elemento adicional que debe tenerse en cuenta es que las decisiones de descuentos deben ser planeadas en conjunto con los diferentes agentes de la cadena de suministro y el pronóstico sobre la promoción deberá ser compartido.

6.4.4 Factor 2: La capacidad

En el caso de estudio seleccionado, el efecto que genera los descuentos en los precios del producto es un efecto aceleración, ya que los consumidores que son sensibles al precio anticipan el momento de su compra. Adicionalmente se genera un efecto en el aumento del volumen de ventas de los productos. Crear una nueva demanda para periodos no pico es una de las estrategias de planeación agregada con el objetivo de suavizar la demanda.

La comunicación entre los departamentos de mercadeo y ventas y producción es fundamental para que la estrategia de fijación de precios sea exitosa. Teniendo en cuenta que la producción se planea para diferentes horizontes de tiempo es necesario coordinar el momento en que se efectuaran las promociones para que producción pueda planear y responder a las órdenes de los clientes. Esto resulta crítico ya que ante un aumento de las ventas como consecuencia de los

⁶⁰ CHOPRA, MEINDL. Op. cit., p.189

⁶¹ Ibid., p. 190

descuentos, el área de producción debe tomar decisiones en relación a su capacidad.

Teniendo en cuenta que las decisiones de fijación de precios son decisiones tácticas que se toman en el mediano plazo, el área de producción deberá estar informada sobre los descuentos programados por mercadeo y ventas para tomar decisiones sobre los cambios en la capacidad de producción. La importancia de la coordinación en estas decisiones radica en que existen unos costos asociados al cambio en la fuerza de trabajo, maquinas adicionales, subcontratación y tiempo extra. Los costos de cambio de capacidad incluyen la contratación y capacidad de trabajadores, y pueden incluir un costo de la capacidad perdida hasta que el trabajador este bien entrenado⁶².

Restricciones de capacidad en el caso de estudio

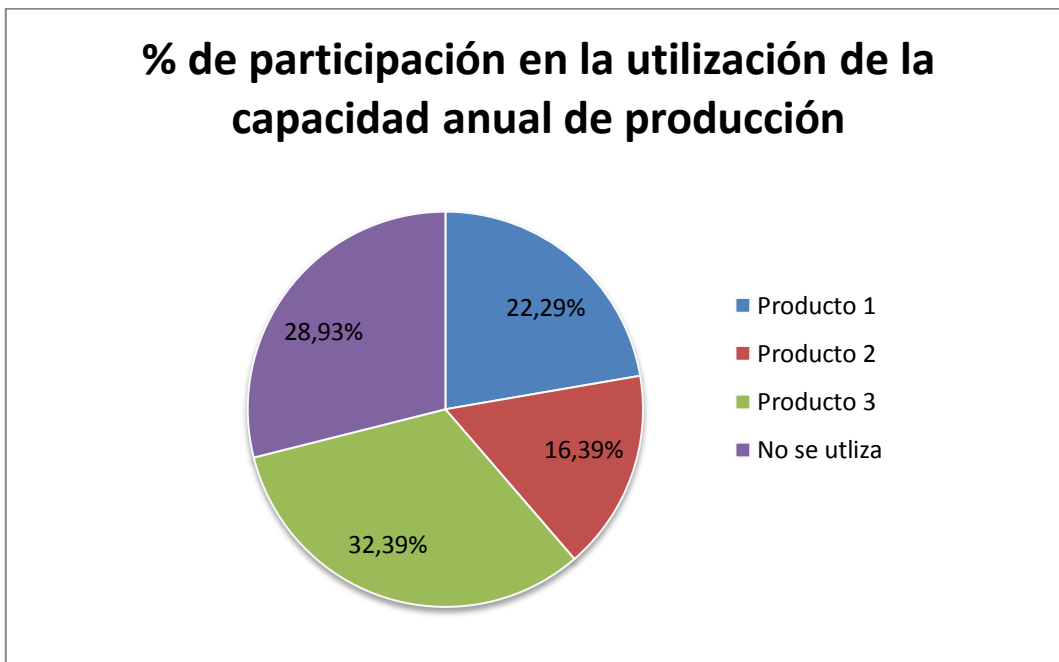
Al analizar los resultados del modelo, se evidencia que para este caso de estudio la capacidad de producción anual del sistema logra satisfacer la demanda anual del producto incluyendo el incremento en ventas por los periodos de descuento. Al considerar periodo a periodo de manera individual, se concluye que solo en los periodos picos de demanda la capacidad resulta insuficiente.

En el caso de estudio, la planta de Armenia presenta un promedio de utilización del 69.29% y la planta de Ibagué del 72.53%. Al analizar la capacidad anual de producción del sistema se evidencia una subutilización de las plantas que corresponde al 28,93%. Ante este comportamiento del modelo, es importante tener en cuenta que el exceso de capacidad es costoso y la capacidad ociosa representa una inversión desperdiciada⁶³.

⁶²SIPPER, Daniel; BUFFIN, Robert L. Jr. Planeación agregada. En: Planeación y control de la producción. 1 ed. México D.F: Mc. Graw Hill. 1998. p. 179.

⁶³Ibid., p. 178.

Ilustración 6. Utilización de la capacidad de producción



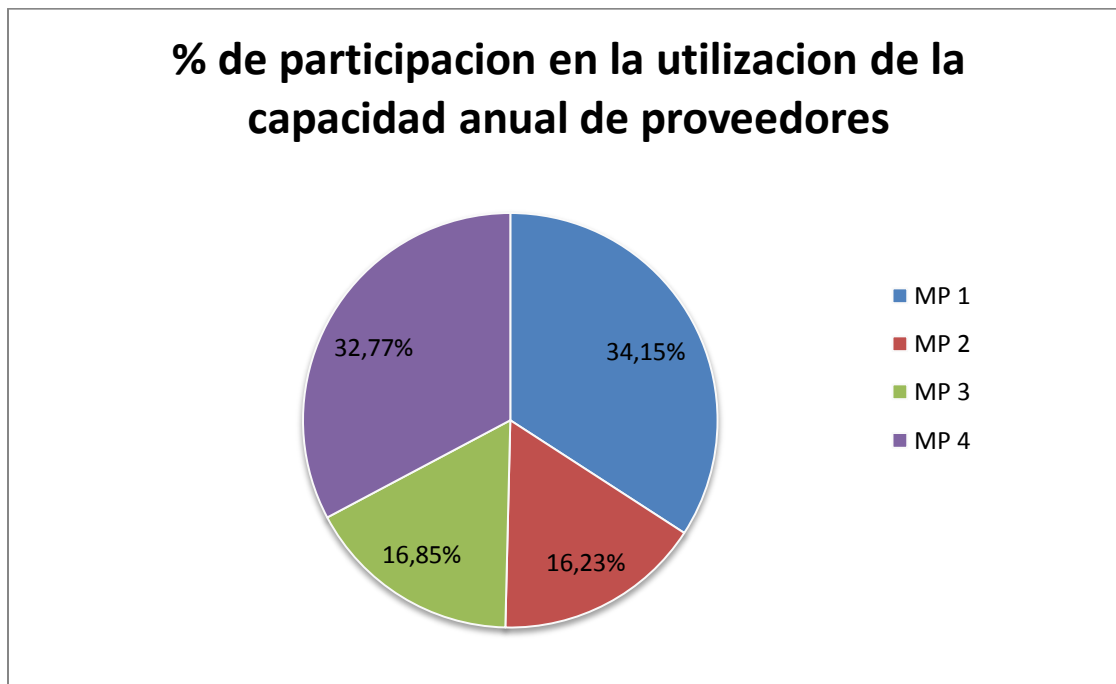
Fuente: los autores

Utilización de la capacidad de los proveedores

De acuerdo con el análisis anterior y teniendo en cuenta que se trata de un producto de temporada, la capacidad de producción del sistema para el caso de estudio seleccionado no es una restricción ante el incremento en ventas como consecuencia de los descuentos efectuados sobre el precio del producto. Con el objetivo de identificar el elemento que genera la restricción, se decidió a analizar la utilización de los proveedores en Medellín y Villavicencio. Al realizar dicho análisis, se obtuvo que ambos proveedores utilizan el 100% de su capacidad disponible para atender la demanda de materias primas para fabricar los productos 1,2 y 3.

En consecuencia la capacidad de los proveedores limita todo el sistema, esto explica el 28,93% de subutilización de las plantas de producción. Este análisis resulta significativo ya que además de considerar las capacidades de producción, las estrategias de fijación de precios también deberán estar alineadas con una planeación de la capacidad de suministro de los proveedores. La Ilustración 8, muestra el porcentaje de utilización de la capacidad de los proveedores por materia prima. Se concluye que las materias primas que más capacidad consumen son la materia prima 1 y la materia prima 4, esto ocurre debido a que estos materiales son necesarios para fabricar todos los productos.

Ilustración 7. Utilización de la capacidad de proveedores



Fuente: los autores

6.4.5 Factor 3: El inventario

Los resultados del caso de estudio seleccionado, muestran que la decisión del modelo es producir para satisfacer la demanda del periodo y además en los periodos en que cuenta con exceso de capacidad, producir y almacenar para vender en los periodos pico. Esta estrategia permite que en los periodos de alta demanda en donde las ventas superan la capacidad, se pueda dar cumplimiento a las órdenes de los clientes y no incurrir en faltantes.

Sin embargo, ante esta decisión es fundamental tener en cuenta los costos asociados al almacenaje. En teoría, el costo de mantener una unidad de inventario durante un periodo incluye los costos de pérdida de oportunidad, seguros, impuestos, hurtos y equipos y personal para manejar el inventario⁶⁴. También será necesario evaluar las diferentes alternativas de almacenamiento propio o rentado y elegir la que represente menores costos para el sistema teniendo en cuenta un equilibrio entre los costos fijos asociados a un almacenamiento propio y los costos variables dependiendo del volumen de producto almacenado.

⁶⁴SIPPER, BUFFIN. Op. cit., p. 179

6.4.6 Factor 4: Configuración de la red

El precio del producto con frecuencia tiene relación con la geografía y los precios de incentivo a menudo están sujetos a estructuras de tarifas de transporte⁶⁵, esto ocurre principalmente por que los mayores costos de un sistema productivo están representados por el subsistema de distribución. El caso de estudio seleccionado toma en cuenta esta consideración y dentro de los parámetros incluye un costo asociado al transporte de las materias primas y al producto terminado. Es importante recordar que la cadena de suministro modelada se sitúa en Colombia, por lo tanto Toro⁶⁶ al determinar el posible costo de transporte de los fletes entre dos puntos específicos de la geografía nacional se basa en las resoluciones expedidas por el Ministerio de Transporte Nacional que establecen un esquema tarifario.

A pesar de que la estrategia de precios diferenciados que propone el modelo no se basa en una segmentación del mercado por zona geográfica, es importante tomar bajo consideración el rol que juegan los costos de transporte en las decisión de fijación de precios, más aun cuando se ha demostrado que el rubro dedicado a transporte es muy significativo y representa aproximadamente el 60% de los costos totales⁶⁷.

6.4.7 Factor 5: Las tecnologías de información

La información desempeña un rol fundamental en el desempeño de la cadena de suministro ya que provee los cimientos para ejecutar las transacciones y tomar las decisiones desde la gerencia⁶⁸. Bajo esta perspectiva y considerando la importancia de integrar las decisiones de fijación de precios entre las diferentes áreas y agentes de la cadena, las tecnologías de información permiten capturar y analizar la información necesaria para tomar las decisiones.

Para establecer las políticas de precios, se necesita información de la demanda, el volumen y la disposición a pagar de los diferentes segmentos de clientes e indicadores como el margen del producto, su *lead time* y su disponibilidad. Al utilizar esta información, disponible gracias a las TI, será posible tomar las decisiones de fijación de precios con mayor proximidad a las necesidades reales del mercado en función de la capacidad de respuesta que tiene la empresa.

⁶⁵ BALLOU. Op. cit., p. 77

⁶⁶ TORO. Op. cit., p. 100

⁶⁷ SUMATRA, Sengupta. Seamless optimization of the entire supply chain. En: IIE solutions. Vol. 28. No.10.1996.

⁶⁸ CHOPRA, MEINDL. Op. cit., p.482

En la actualidad existen compañías líderes de software en esta área, Sabre por ejemplo es una empresa de tecnología global que surge inicialmente en la industria de las aerolíneas como iniciativa de American Airlines y actualmente es una de las empresas líderes en el mercado de planeación de vuelos alrededor del mundo⁶⁹. Por su parte, en la fijación de precios para venta de productos al por menor sobresale DemandTec, una red colaborativa de optimización de IBM pionera en brindar soluciones basadas en el comportamiento de la demanda y la dinámica de los precios en el mercado⁷⁰. Los sistemas de Revenue Management también ha tenido un impacto significativo en bienes de temporada, en este caso, Oracle y ProfiLogic sobresalen como proveedores líderes de software de optimización de ganancias⁷¹.

⁶⁹ <<http://www.sabre.com/>>[citado en septiembre 13 de 2012]

⁷⁰ <<http://www.demandtec.com/mydemandtec/solutions/lifecycle-pricing>>[citado en septiembre 13 de 2012]

⁷¹ <<http://www.oracle.com/us/corporate/acquisitions/profitlogic/index.html>>[citado en septiembre 13 de 2012]

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- En este trabajo de grado se realizó un aporte conceptual al identificar los cinco factores críticos para aplicar Revenue Management en una cadena de suministro, se realizó un aporte metodológico en la definición de supuestos del modelo, el desarrollo de un modelo matemático a partir de los factores críticos identificados, y finalmente un aporte empírico tras resolver el modelo al aplicarlo a un caso de estudio seleccionado.
- Se identificó que los cuatro factores críticos para aplicar Revenue Management en cadenas de suministro son: mercados segmentados, capacidad, inventario perecedero y tiempo. Los clientes son heterogéneos ya que son atraídos por diferentes beneficios ofrecidos por el mismo tipo de producto, existen restricciones en la capacidad, el producto es altamente perecedero o los productos deben ser vendidos antes de un momento específico en el tiempo, los productos se venden por temporada y existe la posibilidad de que el cliente compre el producto con anticipación y finalmente se presentan picos y valles definidos en la demanda.
- Se desarrolló un modelo de programación matemática que incorpora una política de precios diferenciados al definir la demanda y el precio como variables de decisión del modelo, específicamente la demanda como una función lineal en términos del precio, de un coeficiente de elasticidad y un coeficiente de nivel.
- Se encontró que para el caso de estudio seleccionado las estrategias de Revenue Management se aplican bajo los siguientes supuestos: se producen y comercializan productos de temporada, la segmentación del mercado permite identificar diferentes segmentos de clientes que vinculan diferentes niveles de importancia a diversos beneficios ofrecidos por el producto, los clientes son miopes, lo que significa que compran tan pronto cuando el precio es menor del que ellos están dispuestos a pagar, la demanda depende únicamente del precio, del coeficiente de elasticidad y el de nivel y finalmente el modelo se desarrolla en una situación monopólica.
- Se encontró que el éxito de una estrategia de bajos precios depende del número de clientes que son atraídos por el producto ya que el bajo margen debe ser compensado con un gran número de artículos vendidos.

7.2 FUTURA INVESTIGACIÓN

El proyecto reveló que el campo de investigación presenta significativas oportunidades para generar avances teóricos y prácticos. Bajo esta perspectiva, se decidió señalar algunos campos de ampliación en donde pueden enfocarse futuras investigaciones.

En relación a la configuración de la red del modelo matemático, se propone evaluar la posibilidad de convertir el modelo regional a uno global. Esto implica considerar costos de importación y exportación, además de agregar un conjunto de transporte ya que al tener posibilidades de enviar a diferentes países se necesitara de transporte aéreo, ferroviario y/o marítimo dependiendo del país al que se quiera enviar el producto, o del país del que se quiere traer la materia prima. En relación al transporte, se propone incluir la variación en el tiempo de transporte entre todos los nodos de la cadena, así como el inventario en tránsito que se genera. Finalmente, se recomienda incluir en el modelo un costo de penalización por subutilización de las plantas para considerar este costo de oportunidad en la función de utilidad.

Se recomienda extender la metodología desarrollada a la formulación de modelos de programación matemática que incorporen funciones de demanda más complejas. Para esto será necesario considerar un comportamiento asintótico en la función de demanda para que el beneficio marginal de la reducción o aumento de los precios disminuya a niveles cercanos al límite. Así, podría considerarse las limitaciones que presenta el tamaño del mercado junto con la participación de los competidores y otras restricciones que presenta el entorno para el crecimiento infinito de las ventas. Sería deseable además, incluir la variabilidad que presenta el entorno en la demanda para lograr mediante el modelo matemático una representación más cercana a un sistema real.

ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE MARCO LÓGICO

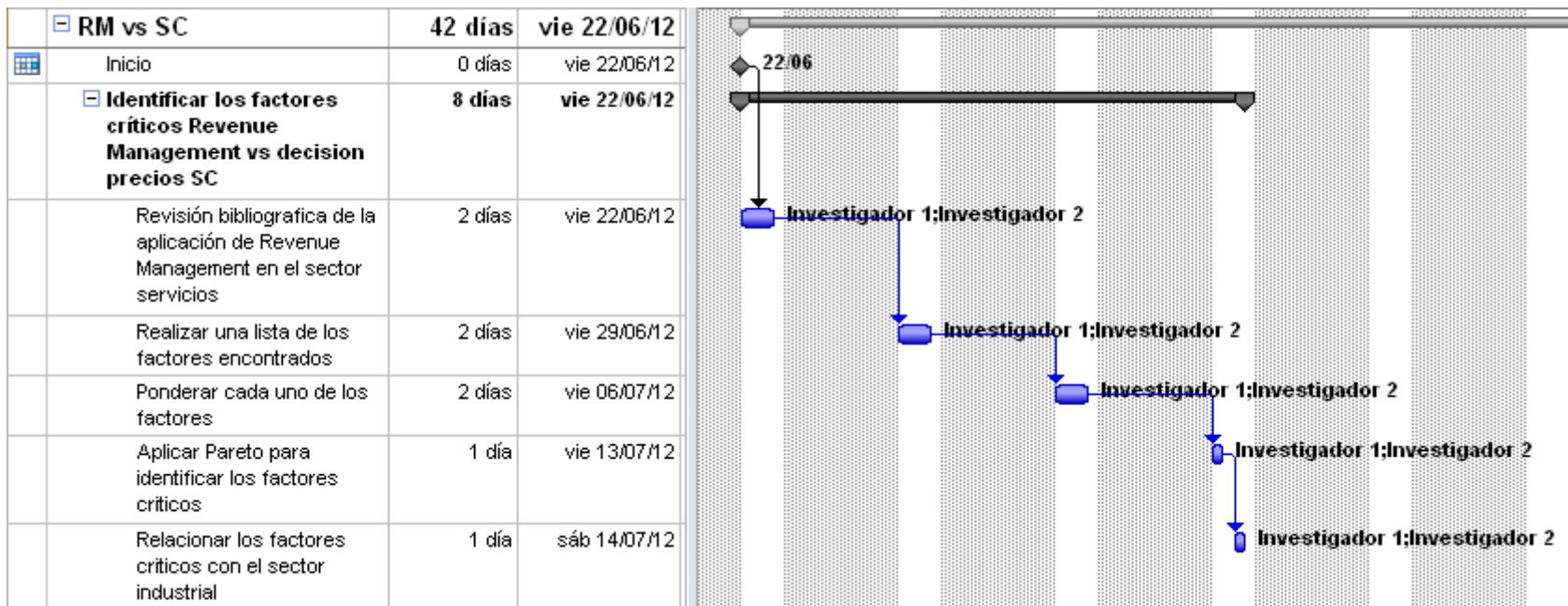
OBJETIVO	RESUMEN	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
OBJETIVO ESPECIFICO 1	Identificar los factores críticos para aplicar Revenue Management en las decisiones de fijación de precios de los productos en una cadena de suministro			
Actividad 1	Revisión bibliografica de la aplicación de Revenue Management en el sector servicios	si/no	verificación directa	Se tendra acceso a literatura requerida
Actividad 2	Realizar una lista de los factores encontrados en la revisión bibliográfica	si/no	lista de factores	Los factores listados son congruentes
Actividad 3	Ponderar cada uno de los factores	#de factores ponderados/ #de factores identificados	matriz de ponderación	La importancia critica depende del numero de veces que un factor es citado
Actividad 4	Aplicar principio de Pareto 80-20 para identificar los factores que son criticos	si/no	gráfica de pareto	Se considera como criticos aquellos factores que representan el 80% del puntaje total
Actividad 5	Relacionar los factores criticos con el sector industrial	#de factores relacionados/ # de factores listados	lista de factores	se encontraran factores que apliquen al sector

OBJETIVO ESPECIFICO 2	RESUMEN	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
	Formular un modelo de programación matemática que represente una cadena de suministro en la que se produce y comercializa productos de temporada.			
Actividad 6	Definir los supuestos del modelo	si/no	Tabla de supuestos	
Actividad 7	Formular de manera conceptual los conjuntos, parámetros, variables, función objetivo y restricciones del modelo.	si/no	verificación directa	
Actividad 8	Escribir el modelo en notación de lenguaje matemático.	si/no	verificación directa	
Actividad 9	Estudiar el manual de usuario IMB ILOG CPLEX para aprender a programar en el lenguaje seleccionado	si/no	verificación directa	Los autores lograrán adquirir la habilidad en el tiempo presupuestado
Actividad 10	Formular el modelo en lenguaje de programación OPL	si/no	verificación directa	
Actividad 11	Crear el archivo .mod en CPLEX	si/no	archivo.mod	
Actividad 12	Ingresar las bases de datos del caso de estudio en Microsoft Access.	si/no	archivo de base de datos	los datos del caso de estudio son coherentes
Actividad 13	Desarrollar el archivo .dat en CPLEX	si/no	archivo.dat	
Actividad 14	Validar el modelo de programación matemática.	si/no	Lista de resultados del análisis de sensibilidad	
Actividad 15	Resolver el modelo de programación matemática aplicando el caso de estudio seleccionado	si/no	archivo de resultados	

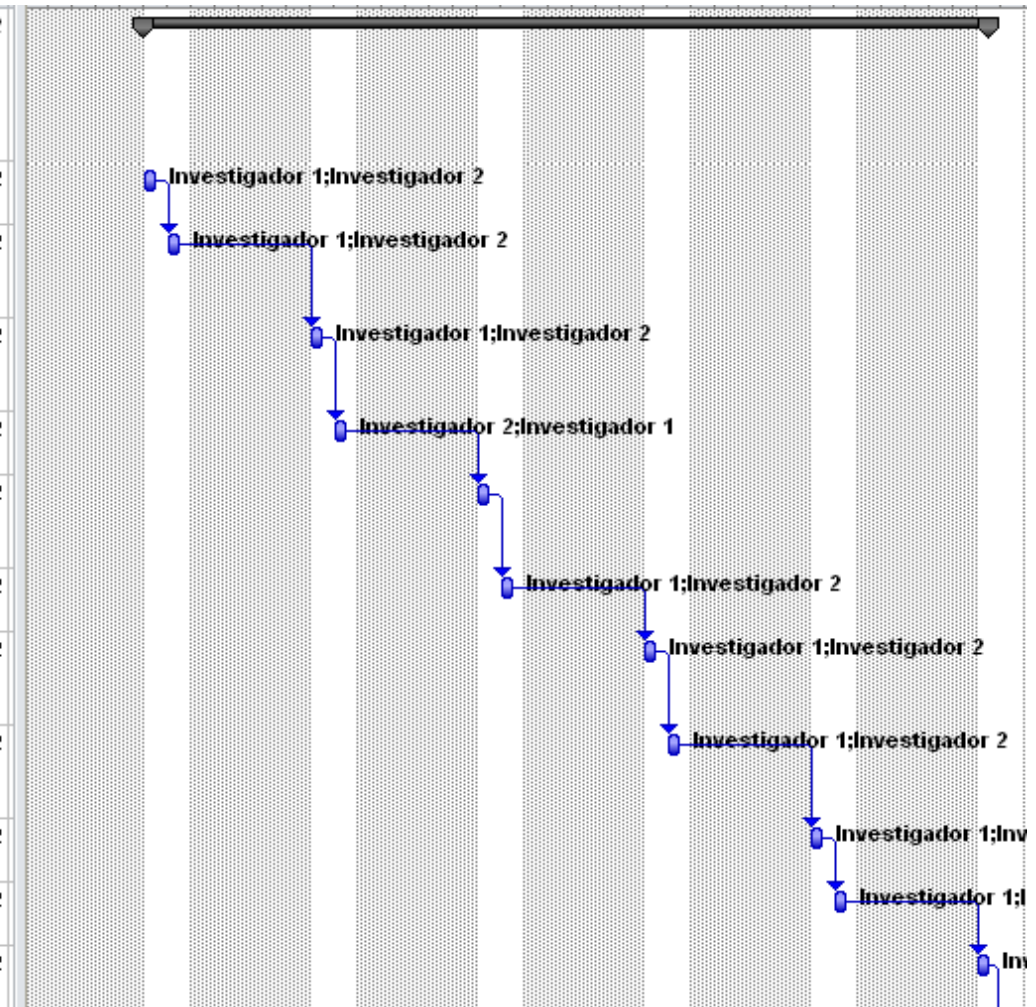
OBJETIVO	RESUMEN	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
ESPECIFICO 3	Identificar los supuestos del modelo de programación matemática que son necesarios para aplicar los principios de Revenue Management			
Actividad 16	Identificar los supuestos del modelo de programación matemática que son necesarios para aplicar los principios de Revenue Management	si/no	lista de supuestos	los supuestos definidos son congruentes
Actividad 17	Formular en notación de lenguaje matemático los parámetros, variables y restricciones de acuerdo a los cambios realizados sobre el modelo base.		verificación directa	
Actividad 18	Investigar sobre herramientas para solucionar un modelo matemático no lineal	si/no	lista de solvers disponibles en neos-server	se tendrá acceso a software de optimización
Actividad 19	Seleccionar el solver para solucionar el modelo no lineal.		verificación directa	
Actividad 20	Establecer las hipótesis.		verificación directa	

OBJETIVO	RESUMEN	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACION	SUPUESTOS
OBJETIVO ESPECIFICO 4	Analizar los resultados de la aplicación del modelo de programación matemática al caso de estudio seleccionado.			
Actividad 21	Formular el modelo en lenguaje de programación AMPL.	si/no	verificación directa	
Actividad 22	Crear archivo .mod	si/no	archivo.mod	
Actividad 23	Crear archivo .dat	si/no	archivo.dat	
Actividad 24	Resolver el modelo matematico aplicando el caso de estudio seleccionado	si/no	Archivo de resultados	
Actividad 25	Identificar los factores que determinan las estrategias de precios.	si/no	Lista de factores	
Actividad 26	Analizar la estrategia de precios que propone el modelo y su aplicación en el caso de estudio.			el análisis solo se extiende al caso de estudio
Actividad 27	Identificar los factores que relacionan los sistemas de fijación de precios con otros sistemas de la organización y agentes de la cadena de suministro.		Lista de factores	
Actividad 28	Analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio de acuerdo con los factores identificados.			el análisis solo se extiende al caso de estudio

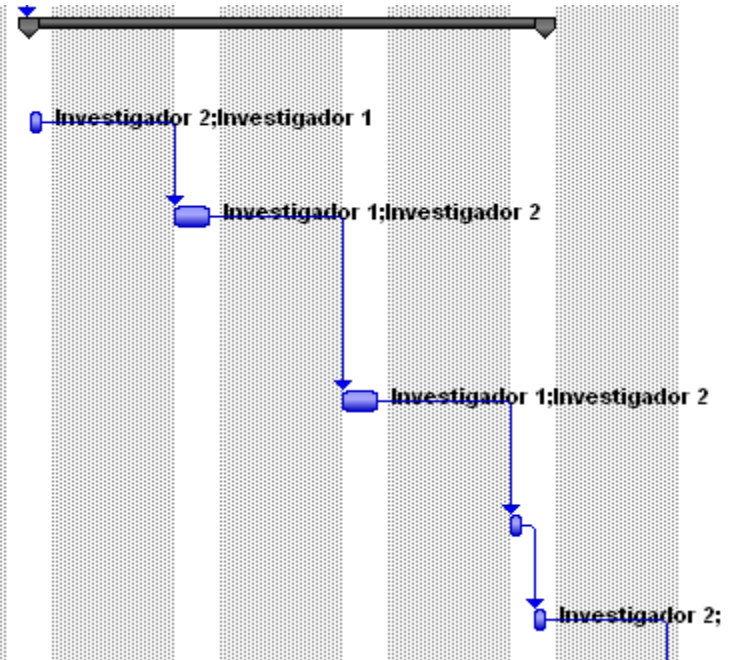
ANEXO B. CRONOGRAMA



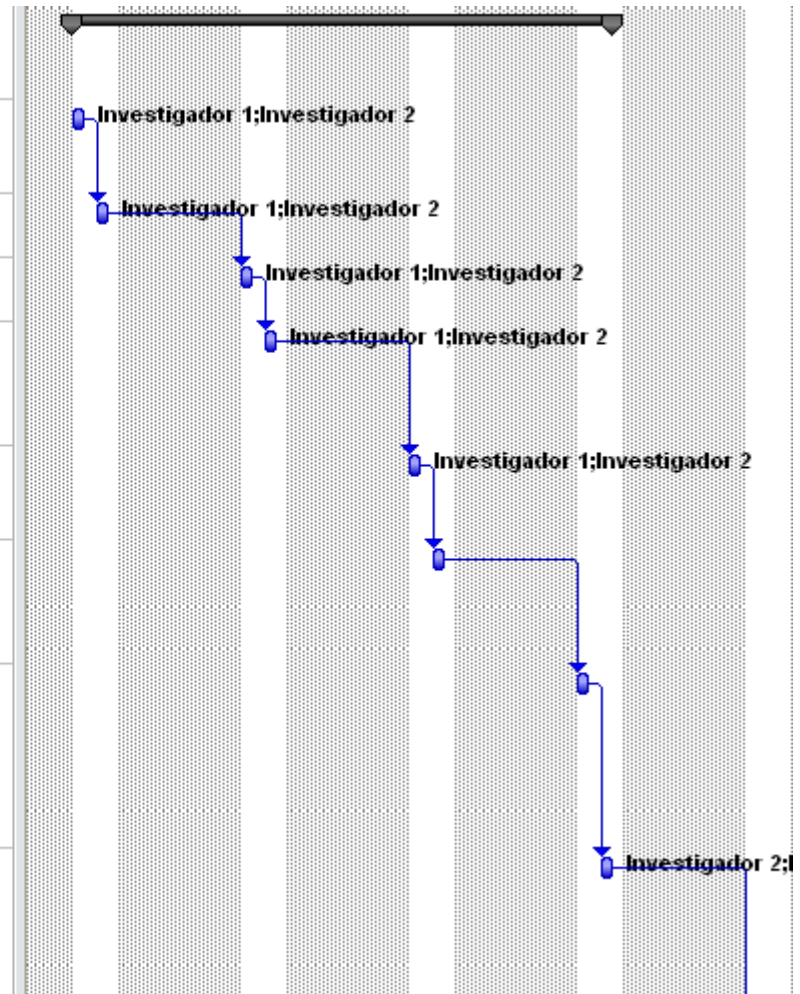
<input type="checkbox"/>	Formular un modelo de programación matemática con productos fabricados y comercializados por temporada	11 días	vie 20/07/12
	Definir los supuestos del modelo	1 día	vie 20/07/12
	Formulación conceptual de conjuntos, variables, FO, y restricciones	1 día	sáb 21/07/12
	Escribir el modelo en notación de lenguaje matemático	1 día	vie 27/07/12
	Estudiar el manual de usuario IBM ILOG CPLEX	1 día	sáb 28/07/12
	Formular el modelo en lenguaje de programación OPL	1 día	vie 03/08/12
	Crear el archivo .mod en CPLEX	1 día	sáb 04/08/12
	Ingresar las bases de datos del caso de estudio en Microsoft Access.	1 día	vie 10/08/12
	Realizar un pronóstico de la demanda con la información del caso de	1 día	sáb 11/08/12
	Desarrollar el archivo .dat en CPLEX	1 día	vie 17/08/12
	Validar el modelo de programación matemática	1 día	sáb 18/08/12
	Resolver el modelo de programación matemática	1 día	vie 24/08/12



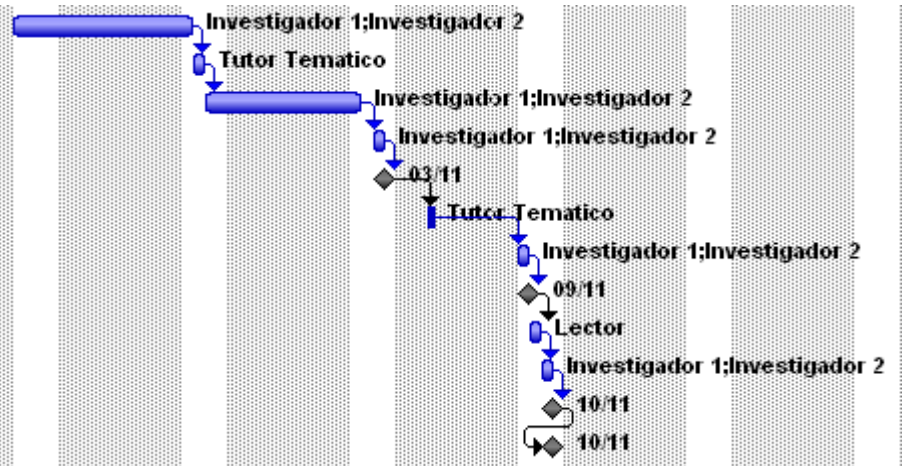
<input type="checkbox"/> Aplicar los principios de RM al modelo de programación matemática	7 días	sáb 25/08/12
Identificar los supuestos del modelo necesarios para aplicar RM	1 día	sáb 25/08/12
Formular en notación de lenguaje matemático los parámetros, variables y restricciones de acuerdo a los cambios realizados sobre el modelo base	2 días	vie 31/08/12
Investigar sobre herramientas para solucionar un modelo matemático no lineal	2 días	vie 07/09/12
Seleccionar el solver para solucionar el modelo no lineal	1 día	vie 14/09/12
Establecer las hipótesis	1 día	sáb 15/09/12



Analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio	8 días	vie 21/09/12
Formular el modelo en lenguaje de programación AMPL	1 día	vie 21/09/12
Crear archivo .mod	1 día	sáb 22/09/12
Crear archivo .dat	1 día	vie 28/09/12
Resolver el modelo matemático aplicando el caso de estudio seleccionado	1 día	sáb 29/09/12
Identificar los factores que determinan las estrategias de precios	1 día	vie 05/10/12
Analizar la estrategia de precios que propone el modelo y su aplicación en el caso de estudio	1 día	sáb 06/10/12
Identificar los factores que relacionan los sistemas de fijación de precios con otros sistemas de la organización y agentes de la cadena de suministro	1 día	vie 12/10/12
Analizar los resultados de la aplicación del modelo al caso de estudio de acuerdo con los factores identificados	1 día	sáb 13/10/12



	Preparacion articulo	3 días	vie 19/10/12
	Revision articulo	1 día	vie 26/10/12
	Ajustes articulo	2 días	sáb 27/10/12
	Elaboracion Documento final	1 día	sáb 03/11/12
	Entrega tutor tematico	0 días	sáb 03/11/12
	Revision tutor tematico	1 día	lun 05/11/12
	Correcciones tutor tematico	1 día	vie 09/11/12
	Entrega al Lector	0 días	vie 09/11/12
	Revision por el Lector	1 día	vie 09/11/12
	Preparar sustentacion	1 día	sáb 10/11/12
	Sustentacion	0 días	sáb 10/11/12
	Fin	0 días	sáb 10/11/12



ANEXO C. CODIGO FUENTE DEL MODELO OBJETIVO 3

Archivo de modelo:

set Proveedores;
setCentros;
setPlantas;
setProductos;
setClientes;
set MP;
setTransporte;
setPeriodos;

param A{p in Productos, t in Periodos};
param B{p in Productos, t in Periodos};
param PORPAR{p in Productos, l in Clientes};
param CRPR{i in Proveedores, r in MP};
param CRPL{j in Plantas, p in Productos};
param FIJPL{j in Plantas};
param FIJCD{k in Centros};
param CMANCD{k in Centros, p in Productos};
param CPT{j in Plantas, p in Productos};
param CAPL{j in Plantas};
param CAPCD{k in Centros};
param COSTOMP{i in Proveedores, j in Plantas, r in MP};
param Q{r in MP, p in Productos};
param CAPR{i in Proveedores};
param FISPTCD{k in Centros, p in Productos};
param FISMP{j in Plantas, r in MP};
param TRCJKM{j in Plantas, k in Centros};
param TRCKLM{k in Centros, l in Clientes};
param TRCJLM{j in Plantas, l in Clientes};
param TRCKKM{k in Centros, h in Centros};
param TRCAPJKM{j in Plantas, k in Centros};
param TRCAPKLM{k in Centros, l in Clientes};
param TRCAPJLM{j in Plantas, l in Clientes};
param TRCAPKKM{k in Centros, h in Centros};
param INVMP{j in Plantas, r in MP};
param INVPM{j in Plantas, p in Productos};
param INVPC{k in Centros, p in Productos};
param FPESOPT{p in Productos};
param FPESOMP{r in MP};
param CAPALMPL{j in Plantas};
param CAPALMCD{k in Centros};

param INICIALMP{j in Plantas, r in MP};
 param INICIALPT{k in Centros, p in Productos};
 param PMIN{p in Productos};
 param PMAX{p in Productos};

var PV{p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var DEM{p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var DEMCL{p in Productos, l in Clientes, t in Periodos}>=0;
 var S{i in Proveedores, j in Plantas, r in MP, t in Periodos}>=0;
 var X{j in Plantas, k in Centros, p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var V{j in Plantas, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var U{k in Centros, h in Centros, p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var Z{k in Centros, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var IMP{j in Plantas, r in MP, t in Periodos}>=0;
 var IPT{k in Centros, p in Productos, t in Periodos}>=0;
 var Y{j in Plantas}binary;
 var W{k in Centros}binary;

maximize UTILIDAD:

sum{j in Plantas, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} V[j,l,p,t]*PV[p,t]
 + sum{k in Centros, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} Z[k,l,p,t]*PV[p,t]
 - sum{i in Proveedores, j in Plantas, r in MP, t in Periodos} COSTOMP[i,j,r] *
 S[i,j,r,t]
 - sum{j in Plantas, k in Centros, p in Productos, t in Periodos} CPT[j,p] * X[j,k,p,t]
 - sum{j in Plantas, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} CPT[j,p] * V[j,l,p,t]
 - sum{j in Plantas, k in Centros, p in Productos, t in Periodos} TRCJKM[j,k] *
 FPESOPT[p] * X[j,k,p,t]
 - sum{j in Plantas, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} TRCJLM[j,l] *
 FPESOPT[p] * V[j,l,p,t]
 - sum{k in Centros, h in Centros, p in Productos, t in Periodos} TRCKKM[k,h] *
 FPESOPT[p] * U[k,h,p,t]
 - sum{k in Centros, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} TRCKLM[k,l] *
 FPESOPT[p] * Z[k,l,p,t]
 - sum{k in Centros, l in Clientes, p in Productos, t in Periodos} CMANCD[k,p] *
 Z[k,l,p,t]
 - sum{k in Centros, h in Centros, p in Productos, t in Periodos} CMANCD[k,p] *
 U[k,h,p,t]
 - sum{j in Plantas, r in MP, t in Periodos} INVMP[j,r] * IMP[j,r,t]
 - sum{k in Centros, p in Productos, t in Periodos} INVPC[k,p] * IPT[k,p,t]
 - sum{j in Plantas} FIJPL[j] * Y[j]
 - sum{k in Centros} FIJCD[k] * W[k];

subject to R1{i in Proveedores, t in Periodos}:
sum {j in Plantas, r in MP} CRPR[i,r] * S[i,j,r,t] <= CAPR[i];

subject to R2{j in Plantas, t in Periodos}:
(sum {k in Centros, p in Productos} CRPL[j,p] * X[j,k,p,t]) + (sum {l in Clientes, p in Productos} CRPL[j,p] * V[j,l,p,t]) <= CAPL[j] * Y[j];

subject to R3{j in Plantas, t in Periodos}:
sum{r in MP}(IMP[j,r,t]*FPESOMP[r]) <= CAPALMPL[j]*Y[j];

subject to R4{k in Centros, t in Periodos}:
(sum {l in Clientes, p in Productos} Z[k,l,p,t] * FPESOPT[p]) + (sum {h in Centros, p in Productos} U[k,h,p,t] * FPESOPT[p]) <= CAPCD[k] * W[k];

subject to R5{k in Centros, t in Periodos}:
(sum {j in Plantas, p in Productos} X[j,k,p,t] * FPESOPT[p]) + (sum {h in Centros, p in Productos} U[h,k,p,t] * FPESOPT[p]) <= CAPCD[k] * W[k];

subject to R6{k in Centros, t in Periodos}:
sum{p in Productos}(IPT[k,p,t]*FPESOPT[p]) <= CAPALMCD[k]*W[k];

subject to R7{l in Clientes, p in Productos, t in Periodos}:
sum {k in Centros} Z[k,l,p,t] + sum {j in Plantas} V[j,l,p,t] == DEMCL[p,l,t];

subject to R8{p in Productos, t in Periodos}:
A[p,t] - (B[p,t]*PV[p,t]) == DEM[p,t];

subject to R9{l in Clientes, p in Productos, t in Periodos}:
DEM[p,t]*PORPAR[p,l] == DEMCL[p,l,t];

subject to R10{r in MP, j in Plantas}:
(sum {k in Centros, p in Productos} Q[r,p] * X[j,k,p,1]) + (sum {l in Clientes, p in Productos} Q[r,p] * V[j,l,p,1]) <= (sum {i in Proveedores} S[i,j,r,1]) + INICIALMP[j,r];

subject to R11{j in Plantas, r in MP, t in Periodos:t>1}:
(sum {k in Centros, p in Productos} Q[r,p] * X[j,k,p,t]) + (sum {l in Clientes, p in Productos} Q[r,p] * V[j,l,p,t]) <= (sum {i in Proveedores} S[i,j,r,t]) + IMP[j,r,t-1];

subject to R12{r in MP, j in Plantas}:
INICIALMP[j,r] + (sum{i in Proveedores}S[i,j,r,1]) - (sum{k in Centros, p in Productos}(Q[r,p]*X[j,k,p,1])) - (sum{l in Clientes, p in Productos}(Q[r,p]*V[j,l,p,1]))
== IMP[j,r,1];

subject to R13{r in MP, j in Plantas, t in Periodos:t>1}:
IMP[j,r,t-1] + (sum{i in Proveedores}S[i,j,r,t]) - (sum{k in Centros, p in Productos}(Q[r,p]*X[j,k,p,t])) - (sum{l in Clientes, p in Productos}(Q[r,p]*V[j,l,p,t]))
== IMP[j,r,t];

subject to R14{k in Centros, p in Productos}:
 $(\sum \{j \text{ in Plantas}\} X[j,k,p,1]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[h,k,p,1]) + \text{INICIALPT}[k,p] \geq$
 $(\sum \{l \text{ in Clientes}\} Z[k,l,p,1]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[k,h,p,1]);$

subject to R15{k in Centros, p in Productos, t in Periodos:t>1}:
 $(\sum \{j \text{ in Plantas}\} X[j,k,p,t]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[h,k,p,t]) + \text{IPT}[k,p,t-1] \geq$
 $(\sum \{l \text{ in Clientes}\} Z[k,l,p,t]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[k,h,p,t]);$

subject to R16{k in Centros, p in Productos}:
 $\text{INICIALPT}[k,p] + (\sum \{j \text{ in Plantas}\} X[j,k,p,1]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[h,k,p,1]) -$
 $(\sum \{l \text{ in Clientes}\} Z[k,l,p,1]) - (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[k,h,p,1]) = \text{IPT}[k,p,1];$

subject to R17{k in Centros, p in Productos, t in Periodos:t>1}:
 $\text{IPT}[k,p,t-1] + (\sum \{j \text{ in Plantas}\} X[j,k,p,t]) + (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[h,k,p,t]) - (\sum \{l$
 $\text{ in Clientes}\} Z[k,l,p,t]) - (\sum \{h \text{ in Centros}\} U[k,h,p,t]) = \text{IPT}[k,p,t];$

subject to R18{j in Plantas, k in Centros, t in Periodos}:
 $\sum \{p \text{ in Productos}\} X[j,k,p,t] * \text{FPESOPT}[p] \leq \text{TRCAPJKM}[j,k];$

subject to R19{j in Plantas, l in Clientes, t in Periodos}:
 $\sum \{p \text{ in Productos}\} V[j,l,p,t] * \text{FPESOPT}[p] \leq \text{TRCAPJLM}[j,l];$

subject to R20{k in Centros, h in Centros, t in Periodos}:
 $\sum \{p \text{ in Productos}\} U[k,h,p,t] * \text{FPESOPT}[p] \leq \text{TRCAPKKM}[k,h];$

subject to R21{k in Centros, l in Clientes, t in Periodos}:
 $\sum \{p \text{ in Productos}\} Z[k,l,p,t] * \text{FPESOPT}[p] \leq \text{TRCAPKLM}[k,l];$

subject to R22{p in Productos, t in Periodos}:
 $\text{PV}[p,t] \geq \text{PMIN}[p];$

subject to R23{p in Productos, t in Periodos}:
 $\text{PV}[p,t] \leq \text{PMAX}[p];$

Archivo de comandos:

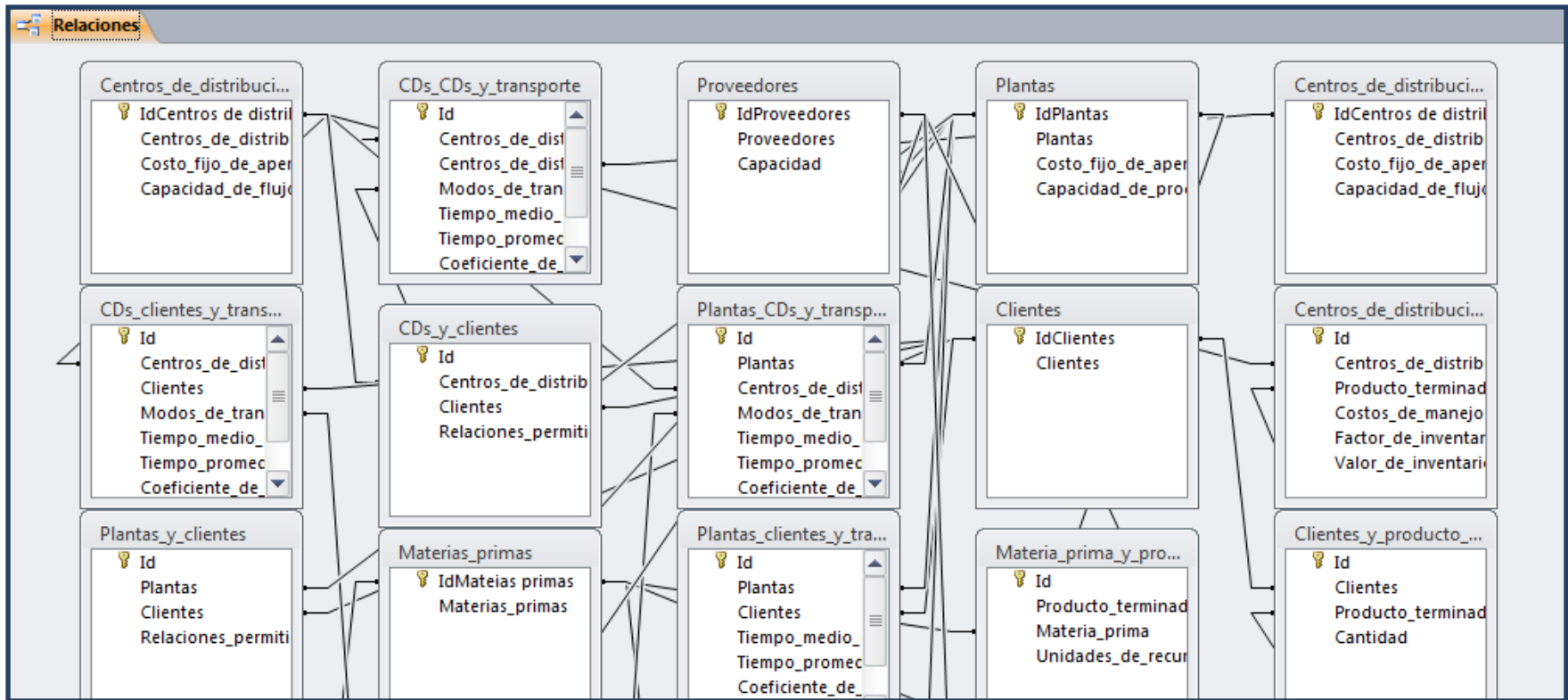
```
#model MOD.txt;
#data DAT.txt;

#option solver cplex;

solve;

display UTILIDAD;
display Y;
display W;
display PV;
display DEM;
display DEMCL;
display S;
display X;
display V;
display U;
display Z;
display IMP;
display IPT;
```

ANEXO D. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS



ANEXO E. DATOS DEL CASO DE ESTUDIO

CONJUNTO DE PROVEEDORES
Medellin (MED)
Villavicencio (VIL)
CONJUNTO DE PLANTAS
Armenia (ARM)
Ibague (IBA)
CONJUNTO DE CENTROS DE DISTRIBUCION
Bogota (BOG)
Manizales (MAN)
Cali (CLO)
CONJUNTO DE MATERIAS PRIMAS
Materia prima 1 (MP1)
Materia prima 2 (MP2)
Materia prima 3 (MP3)
Materia prima 4 (MP4)
CONJUNTO DE PRODUCTOS TERMINADOS
Producto 1 (P1)
Producto 2 (P2)
Producto 3 (P3)
CONJUNTO DE CLIENTES
Cucuta (CUC)
Medellin (MED)
Pasto (PAS)
Pererira (PER)
CONJUNTO DE PERIODOS
1 (Enero)
2 (Febrero)
3 (Marzo)
4 (Abril)
5 (Mayo)
6 (Junio)
7 (Julio)
8 (Agosto)
9 (Septiembre)
10 (Octubre)
11 (Noviembre)
12 (Diciembre)

Consumo unitario de recurso en proveedores (hr hombre / unidad de r)				
Proveedor	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
MED	1.2	2	2.5	2.5
VIL	1.3	1.8	1.9	2.3

Consumo unitario de recurso en planta (hr hombre / unidad de p)			
Planta	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
ARM	4.3	3.5	5.2
IBA	3.9	4.5	4.8

Precio de los productos (\$/unidad de p)	
Producto	Precio
P1	10378
P2	12507
P3	13818

Demanda Cucuta			
Periodo	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
1	3000	3000	0
2	3050	3050	0
3	2960	2960	0
4	3100	3100	0
5	2980	2980	0
6	3130	3130	0
7	3000	3000	0
8	3900	4400	0
9	4000	4500	0
10	4070	4570	0
11	4200	4700	0
12	4380	4880	0

Demanda Pasto			
Periodo	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
1	800	0	4500
2	850	0	4550
3	760	0	4460
4	900	0	4600
5	780	0	4480
6	930	0	4630
7	800	0	4500
8	1700	0	6900
9	1800	0	7000
10	1870	0	7070
11	2000	0	7200
12	2180	0	7380

Demanda Medellin			
Periodo	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
1	1200	2300	700
2	1250	2350	750
3	1160	2260	660
4	1300	2400	800
5	1180	2280	680
6	1330	2430	830
7	1200	2300	700
8	2100	3700	3100
9	2200	3800	3200
10	2270	3870	3270
11	2400	4000	3400
12	2580	4180	3580

Demanda Pereira			
Periodo	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
1	1000	5000	0
2	1050	5050	0
3	960	4960	0
4	1100	5100	0
5	980	4980	0
6	1130	5130	0
7	1000	5000	0
8	1900	6400	0
9	2000	6500	0
10	2070	6570	0
11	2200	6700	0
12	2380	6880	0

Costo Fijo de apertura de Plantas (\$)	
Planta	Costo Fijo
ARM	25000000
IBA	37500000

Costo Fijo de apertura de Centros (\$)	
Centros	Costo Fijo
BOG	8000000
MAN	12000000
CLO	5500000

Capacidad Proveedores (hrs-hombre)	
Proveedores	Capacidad
MED	185000
VIL	120000

Capacidad Plantas (hrs-hombre)	
Plantas	Capacidad
ARM	70000
IBA	85000

Capacidad Almacenaje Plantas (Kg)	
Plantas	Capacidad
ARM	200000
IBA	250000

Capacidad Flujo Centros (Ton)	
Centros	Capacidad
BOG	20000
MAN	35000
CLO	15000

Capacidad Almacenaje Centros (Kg)	
Centros	Capacidad
BOG	650000
MAN	580000
CLO	550000

Costos variables de producción (\$/unidad de p)			
Plantas	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
ARM	1500	950	2300
IBA	1350	800	2500

Costos de manejo de productos en centros (\$/unidad de p)			
Centros	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
BOG	320	580	510
MAN	250	580	430
CLO	230	650	580

Costo de Obtención de Materia Prima (\$/unidad de r)				
<i>Proveedor Medellin</i>				
Planta	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
ARM	370	750	1300	2800
IBA	370	775	1332	3100
<i>Proveedor Villavicencio</i>				
Planta	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
ARM	370	750	1440	2600
IBA	415	750	1450	2960;

Lista de Materiales (unidades de r/unidad de p)				
Producto	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
P1	3	2	0	1
P2	4	0	0	2
P3	1	1	2	1

Costo de Transporte [Plantas-Centros] (\$/Kg)			
Planta	Centro de Distribución		
	BOG	MAN	CLO
ARM	50	25	28
IBA	1000	40	42

Costo de Transporte [Centros-Clientes] (\$/Kg)				
Centro	Cliente			
	CUC	MED	PAS	PER
BOG	55	35	1000	48
MAN	80	53	60	30
CLO	1000	45	50	35

Costo de Transporte [Plantas-Clientes] (\$/Kg)				
Planta	Cliente			
	CUC	MED	PAS	PER
ARM	1000	45	55	21
IBA	68	45	68	37

Costo de Transporte [Centros-Centros] (\$/Kg)			
Centro	Centro		
	BOG	MAN	CLO
BOG	1000	65	1000
MAN	65	1000	1000
CLO	1000	1000	1000

Capacidad de Transporte [Plantas-Centros] (Kg)			
Planta	Centro		
	BOG	MAN	CLO
ARM	70000	70000	70000
IBA	0	70000	70000

Capacidad de Transporte [Centros-Clientes] (\$/Kg)				
Centro	Cliente			
	CUC	MED	PAS	PER
BOG	75000	50000	0	65000
MAN	60000	50000	70000	65000
CLO	0	55000	70000	65000

Capacidad de Transporte [Plantas-Clientes] (\$/Kg)				
Planta	Centro			
	CUC	MED	PAS	PER
ARM	0	45000	60000	55000
IBA	54000	52000	35000	47000

Capacidad de Transporte [Centros-Centros] (\$/Kg)			
Centro	Centro		
	BOG	MAN	CLO
BOG	0	55000	0
MAN	55000	0	0
CLO	0	0	0

Costo de Inventario de Materia Prima (\$/unidad de r)				
Planta	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
ARM	29.6	60	109.6	216
IBA	31.4	61	111.28	242.4

Costo de Inventario de Producto Terminado (\$/unidad de p)			
Centro	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
BOG	1111.93	1340.04	1480.50
MAN	1111.93	1340.04	1480.50
CLO	1111.93	1340.04	1480.50

Inventario Inicial de Materia Prima (unidades de r)				
Planta	Materia Prima			
	MP1	MP2	MP3	MP4
ARM	0	0	0	0
IBA	0	0	0	0

Inventario Inicial de Producto Terminado (unidades de p)			
Centro	Producto Terminado		
	P1	P2	P3
BOG	0	0	0
MAN	0	0	0
CLO	0	0	0

Factor de Peso (Kg/unidad de p)	
Producto	Factor de Peso
P1	3.3
P2	2.7
P3	2.8

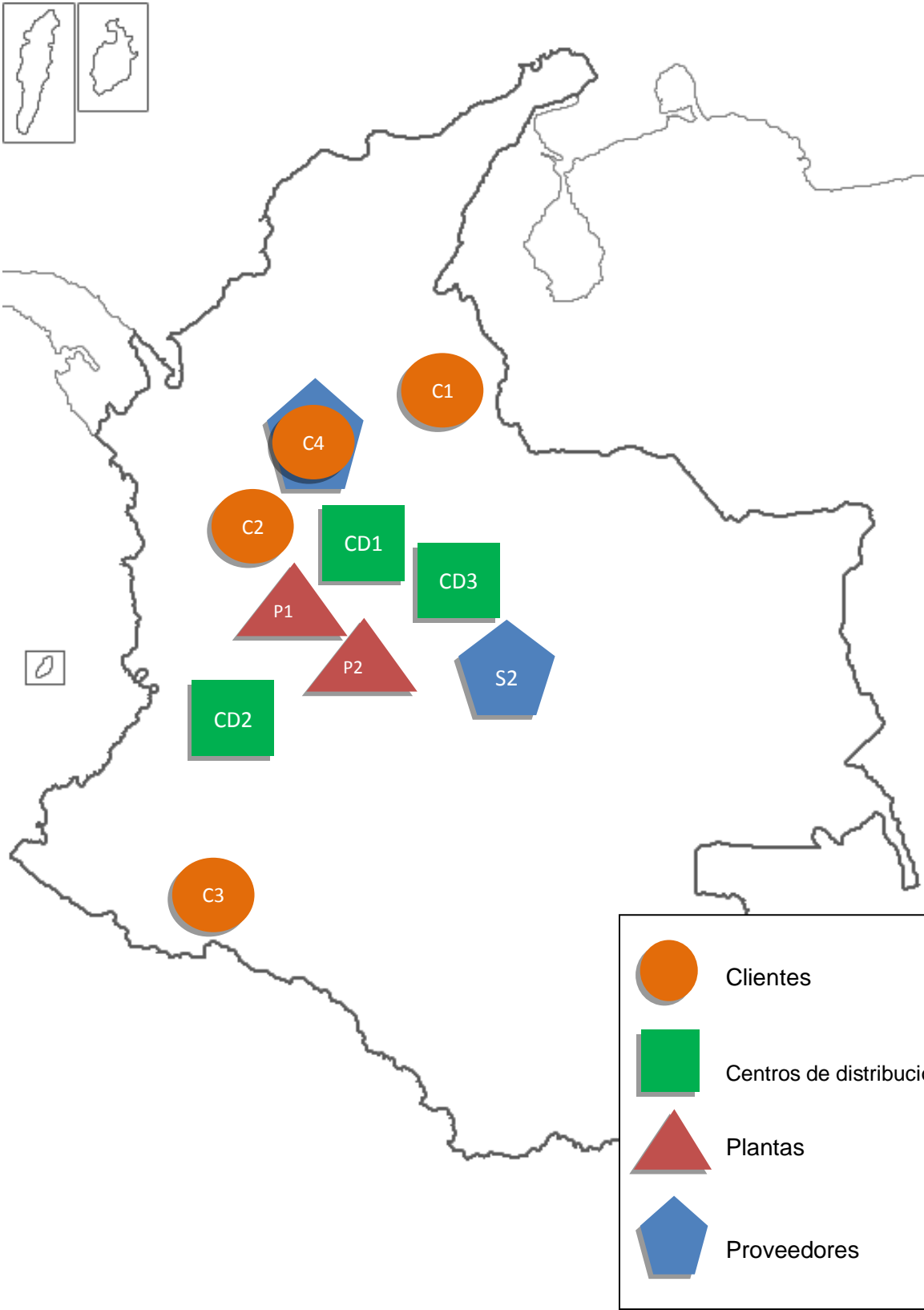
Factor de Peso (Kg/unidad de r)	
Materia Prima	Factor de Peso
MP1	1.3
MP2	0.6
MP3	0.4
MP4	0.7

Coeficiente de Nivel de Productos Terminados en cada Periodo			
Periodo	Producto		
	P1	P2	P3
1	26756	35314	32836
2	26956	35464	32936
3	26596	35194	32756
4	27156	35614	33036
5	26676	35254	32796
6	27276	35704	33096
7	26756	35314	32836
8	71868	89542	92908
9	72268	89842	93108
10	72548	90052	93248
11	73068	90442	93508
12	48000	53000	52000

Coeficiente de Tendencia de Productos Terminados en cada Periodo			
Periodo	Producto		
	P1	P2	P3
1	2	2	2
2	2	2	2
3	2	2	2
4	2	2	2
5	2	2	2
6	2	2	2
7	2	2	2
8	6	6	6
9	6	6	6
10	6	6	6
11	6	6	6
12	2	2	2

Porcentaje de Participación de Clientes por Producto				
Producto	Cliente			
	CUC	MED	PAS	PER
P1	50%	20%	13%	17%
P2	29%	22%	0%	49%
P3	0%	13%	87%	0%

ANEXO F. DIAGRAMA CADENA SUMINISTRO DEL CASO DE ESTUDIO



BIBLIOGRAFIA

ALOMIA, Hernán; ESCALLON, Víctor y ORTEGÓN, Katherine. Guía Metodológica para realización de proyectos de grado. Santiago de Cali, 2007.

BALLOU, Ronald H. Importancia de la logística y de la cadena de suministros. En: Logística: administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Pearson, 2004. P. 13-14.

BECKMANN, J. M. Decision and Team Problems in Airline Reservations. *Econometrica* 26. 1958. p. 134–145.

BECKMANN, M. J.; BOBKOWSKI, F. Airline Demand: An Analysis of Some Frequency Distributions. *Naval Res. Logistics Q.* 5. 1958. p. 43–51.

BELOBABA, P. P. Air Travel Demand and Airline Seat Inventory Management, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1987.

BITRAN, G. R.; GILBERT, S. M. Managing Hotel Reservations with Uncertain Arrivals *Opns.Res.* 44. 1996. p. 35–49.

BITRAN, G. R.; MONDSCHHEIN, S. V. An Application of Yield Management to the Hotel Industry Considering Multiple Day Stays. *Opns.Res.* 43. 1995. p. 427–443.

CAROLL, W. J.; GRIMES, R. C. Evolutionary Change in Product Management: Experiences in the Car Rental Industry. *Interfaces* 25, 1995 p.84–104.

CHOPRA, Sunsil y MEINDL, Peter. Fijación de precios y administración de ingresos en una cadena de suministro. En: Administración de la cadena de suministro. 3 ed. México: Pearson Educación, 2008. p. 459-477.

CIANCIMINO, A.; INZERILLO, G.; INZERILLO, S. y PALAGI, L. A. Mathematical Programming Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem. *Transp. Sci.* 33. 1999. p. 168–181.

CROSS, R. G. An Introduction to Revenue Management. En *The Handbook of Airline Economics*. New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies, 1995, p. 443–468.

DANA, J. D. Peak-Load Pricing when the Peak Time is Unknown, General Motors Research Center for Strategy in Management, Kellogg School, Northwestern University, Evanston. 1996.

DOLGUI, Alexandre; PROTH, Jean-Marie. Dynamic Pricing Models. En: *Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques*. 1 ed. New York: Springer, 2010, p. 20-59.

DUNLEAVY, H. N. Airline Passenger Overbooking. En: *The Handbook of Airline Economics*. New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies, 1995, p. 469–482.

FENG, Y.; GALLEGO, G. Optimal Starting Times for End-of-Season Sales and Optimal Stopping Times for Promotional Fares. *Management Sci.* 41. 1995. p. 1371–1391.

FERREL, O.C; HARTLINE, Michael O. Estrategia de precios. En: *Estrategia de Marketing*. 3 ed. Mexico: Thomson. 2006. p. 201-210.

GALLEGO, G.; VAN RYZIN, G. A Multi-Product Dynamic Pricing Problem and Its Applications to Network Yield Management. *Opns.Res.* 45. 1997. p. 24–41.

GALLEGO, G; VAN RYZING. Optimal Dynamic Pricing of Inventories with Stochastic Demand over Finite Horizons. *Management Sci.* 40. 1991. p. 999–1020.

GERAGHTY, M. K.; JOHNSON, E. Revenue Management Saves National Car Rental. *Interfaces* 27, 1997. p. 107–127.

GOETSCHALCKX, Marc. Engineering Planning and Design. En: Supply Chain Engineering. 1 ed. New York: Springer, 2011. p. 15-58.

IZAQUIRRE, Rafael; MUSTELIER, Sordelicia y RIVERA, Reinaldo. La revisión bibliográfica como paso lógico y metodología de investigación científica. Universidad Nacional de Guinea Ecuatorial: 2001.

KEAT, Paul G; YOUNG, Philip. Decisiones para la fijación de precio y nivel de producción: competencia perfecta y monopolio. En: Economía de la empresa. 4 ed. México: Pearson Education, 2004, p. 396-415.

KIMES, S. E. Yield Management: A Tool for Capacity Constrained Service Firms. J. Opns. Mgmt. 8 ed. 1989 p. 348–363.

KIMES, S. E. Yield Management: A Tool for Capacity Constrained Service Firms. J. Opns. Mgmt. 8. 1989. p. 348–363.

LADANY, S. Bayesian Dynamic Operating Rules for Optimal Hotel Reservations. Z. Opns. Res. 21. 1977. p. B165–B176.

LADANY, S.; ARBEL, A. Optimal Cruise-Liner Passenger Cabin Pricing Policy. Eur. J. Oper. Res. 55, 1991.p. 136 -147.

LIBERMAN, V.; YECHIALI, U. Hotel Overbooking Problem-Inventory System with Stochastic Cancellations. Adv. Appl. Probab. 9. 1977. p. 220–230.

LIBERMAN; V.; YECHIALI, U. On the Hotel Overbooking Problem. Management Sci. 24. 1978. p. 1117–1126.

LITTLEWOOD, K. Forecasting and Control of Passenger Bookings, En AGIFORS Symposium Proc. 12, Nathanya, Israel, 1972.

MARTINEZ, R.; SANCHEZ, M. Automatic Booking Level Control. En AGIFORS Symposium Proc. 10, Terrigal. 1970.

MEISSNER, Joern; STRAUSS, Arne k. Network Revenue Management with Inventory-Sensitive Bid Prices and Customer Choice. Lancaster: Department of management science, Lancaster Univeresity Management School, 2010, p. 1-38.

NAIR, S. K.; BAPNA, R. y BRINE, L. An Application of Yield Management for Internet Service Providers, Working Paper, Department of Operations and Information Management, School of Business Administration, University of Connecticut, Storrs, CT, 1997.

PASCHALIDIS, I. C.; TSITIKLIS, J. N. Congestion-Dependent Pricing of Network Services, Working Paper, Department of Manufacturing Engineering, Boston University, Boston, MA, 1998.

QUANTE, Rainer; MEYR, Herbert y FLEISHMAN Moritz. Revenue Management and demand fulfillment: matching applications, models and software. Springer-Verlag, 2008.

REYES, Jose E. Optimización global determinista aplicada a problemas de ingeniería en energía. México D.F, 2002. p. 11-14.

ROTHSTEIN, M. Hotel Overbooking as a Markovian Sequential Decision Process. *Decision Sci.* 5. 1974. p. 389–404.

RUSSELL, Roberta S. y TAYLOR III, Bernad W. Supply Chain Management. En: *Operations Management*. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. p. 266-312.

RUSSELL, Roberta S. y TAYLOR III, Bernad W. Supply Chain Management. En: *Operations Management*. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. p. 266-312.

RYZIN, Garrett J.; VULCANO, Van G. Computing virtual nesting controls for network revenue management under customer choice behavior. En: *Manufacturing & Service Operations Management*. 2008, p.448–467.

SHANNON, Robert; JOHANNES, James D. Systems simulation: the art and science. *IEEE transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1976. p. 723-724.

SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY Philip y SIMCHI-LEVI Edith. Introduction to Supply Chain Management. En: Designing and Managing the Supply Chain, concepts strategies and Case Studies. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2008. p. 1-3.

SINHA, Ashok. What is Supply Chain Management. En Supply Chain Management. New Delhi: Global India Publications, 2009. p.45-67.

SIPPER, Daniel; BUFFIN, Robert L. Jr. Planeación agregada. En: Planeación y control de la producción. 1 ed. México D.F: Mc. Graw Hill. 1998. p. 175-179.

SMITH, B. C.; LEIMKUHNER, J. F. y DARROW, R. M. Yield Management at American Airlines. Interfaces 22, 1992, p. 8–31.

STRASSER, S. The Effect of Yield Management on Railroads. Transp. Q. 50. 1996. p. 47–55.

SUMATRA, Sengupta. Seamless optimization of the entire supply chain. En: IIE solutions. Vol. 28. No.10.1996.

TALLURI, Kalyan T. y RYZIN, Garrett J. Van. The Theory and Practice of Revenue Management. 3 ed. Boston: Kluwer Academic, 2004.

TARZIJÁN, Jorge; PAREDES, Ricardo. Elementos de Microeconomía para la organización industrial. En: Organización Industrial para la estrategia empresarial. 3 ed. Santiago de Chile: Pearson Education, 2012. p.3-25.

TAYLOR, C. J. The Determination of Passenger Booking Levels. En: AGIFORS Symposium Proc., Vol. 2, Fregene. 1962.

TORO, Héctor H. Modelación matemática de la cadena de abastecimiento en busca de localización eficiente de plantas y/o centros de distribución en el ámbito colombiano. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2001. 159 p.

VINOD, B. Origin-and-Destination Yield Management. En The Handbook of Airline Economics, New York: The Aviation Weekly Group of the McGraw-Hill Companies. 1995. p. 459–468.

WOLLMER, R. D. A Hub-Spoke Seat Management Model, Douglas Aircraft Company, McDonnell Douglas Corporation. Long Beach. 1986.

YEOMAN, Ian y MCMAHON Una.Revenue Management and Pricing: case studies and applications. London: Thomson, 2004.