

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de
Suministro

Análisis de la Red de Distribución Nacional de Polietilenos de la Empresa
Pemex Petroquímica, ubicada en la Ciudad de Coatzacoalcos Veracruz
México.

Tesis para obtener el grado de Doctor en
Logística y Dirección de la Cadena de Suministro

Presenta
César Augusto Gamboa Cortés



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



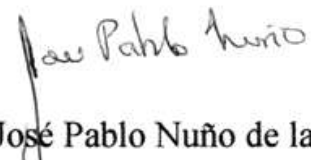
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrados
Investigación y Consultoría
Doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de
Suministro

Se aprueba la Tesis:

Análisis de la Red de Distribución Nacional de Polietilenos de la Empresa
Pemex Petroquímica, ubicada en la Ciudad de Coatzacoalcos Veracruz
México.

Comité asesor


Dr. José Antonio Aguilar Solís
Director de Tesis


Dr. José Pablo Nuño de la Parra
Asesor


Dra. María Auxilio Osorio Lama
Asesor

DEDICATORIA

A Dios

Padre mío, amoroso y de gran bondad, te bendigo, te alabo y te doy gracias por todo tu amor. Porque en cada momento y etapa de mi vida, me has brindado tu ayuda cuando es necesario, porque en cada momento en que te hablo siempre estas a mi lado, sinceramente gracias señor.

A mi padre y a mi madre

César Neftalí Gamboa Aguilar y Margarita Cortés Hernández

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación que siempre me han brindado. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracteriza y que me han inculcado. Porque ni con todas las palabras y todo el dinero del mundo podre agradecerles el haberme dado la vida, el apoyo y el gran amor que siempre me han dedicado.

De corazón gracias papá y mamá

A mi hermano, hermana y cuñada

Iván francisco, Mónica del Carmen y Denisse

Por todo su apoyo y el impulso que me han brindado siempre.

A mis sobrinos

Iván Alexei e Ivana Margarita

Cuando tienes una oportunidad no debes de dejarla pasar, los retos siempre te fortalecen. El estudiar un postgrado es una carrera de resistencia, pero deben de llevar en cuenta que el someterte a un gran esfuerzo, constancia y disciplina siempre los llevará a realizar los anhelos más profundos de su corazón. Iván e Ivana esto es como muestra de ejemplo a la superación personal.

“En la vida triunfan aquellos que no se dejan abrumar por el fracaso, aquellos que se levantan cada vez que se caen, aquellos que no se cansan de perseguir sus sueños”.

Lens Cejudo

“Gran parte de las dificultades por las que atraviesa el mundo se deben a que los ignorantes están completamente seguros y los inteligentes llenos de dudas”.

Bertrand Russell

“El genio se compone del dos por ciento de talento y del noventa y ocho por ciento de perseverante aplicación”.

Ludwig van Beethoven

AGRADECIMIENTOS

Cuando un sueño se hace realidad no siempre se le atribuye al empeño que pongamos en realizarlo. Detrás de cada sueño siempre existen personas que nos apoyan incondicionalmente y que creen en nosotros. Son seres humanos especiales que nos animan a seguir adelante en nuestros proyectos, brindándonos de diferentes maneras su gran apoyo y solidaridad.

En primer lugar quiero agradecer a CONACYT por el apoyo económico brindado, para llevar a cabo la realización de mis estudios Doctorales. Gracias a todos aquellos mexicanos por su aportación en su pago de impuestos, ya que con su ayuda nos permiten realizar una logro y una meta más en nuestra vida.

A Pemex Petroquímica en particular al *Ing. Carlos de la Campa Toledo*, *Sra. Ana María Ramírez Trujillo* y *M.C. Vladimir Amador Mata*, por el invaluable gran apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A la H. Sección No 10 del S.T.P.R.M., al *Sr. Jorge Wade González*, *Lic. Noé Hernández González*, *Sr. Manuel Gutiérrez Antonio*, *Lic. William Serrano Robles*, *Sr. Hermilo Benítez Nolasco*, *Lic. Eloísa Huerta Tokutaira* y *Lic. Lorena Jauregui Román*, por su valioso apoyo y aportación al impulso de la educación a través de distinguida organización sindical.

A mis sinodales:

Dr. José Antonio Aguilar Solís
Dra. María Auxilio Osorio Lama
Dr. José Pablo Nuño de la Parra

“En reconocimiento por su tiempo brindado, por ese gran apoyo en enriquecer este trabajo, por el impulso a la superación y el camino al éxito, muchísimas gracias”.

A los doctores, ingenieros y amigos:

Dra. Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez, *Dr. Juan Gabriel Correa Medina*, *Dra. Magdalena Bandala Garcés*, *Dra. Mayte Alcántara Gutiérrez*, *Dra. Anayansi Careta Isordia*, *Dr. Ángel Nolasco Cervantes*, *C.P. Amelia Álvarez Pérez*, *Ing. José Antonio Cruz Hipólito*, *Ing. Ariel Morales Herrera*, *Ing. Francisco Morales Olan*, *Lic. Yolidabed López Castelán*, *Sra. Iracema Domínguez García*, *Lic. Elizabeth Cruz Rodríguez*, *Ing. Cenobio Gamboa Aguilar*, *Dr. Jorge Gamboa Aguilar (Q.E.P.D.)*, *Sra. Kareli Cortés Alcocer*, *Sra. Lydia Beguerisse Torres*, *Lic. Katty María López Toledo*, *Ing. Julio César Román Taracena*, *M.I. José Luis Betanzos Gutiérrez*, *Lic. Saúl López González*, *Lic. Monserrat del Carmen Jiménez Espinoza*, *Ing. Alejandro Pérez Ficachi*,

“Como una muestra de agradecimiento por toda su orientación y el gran apoyo brindado a través de mis estudios y trayectoria, gracias por compartir sus experiencias y consejos a través de los años”.

A mis profesores, compañeros de trabajo, amigos y a todas aquellas personas a quienes no hago mención, pero les debo gratitud de corazón mil gracias...César.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación	6
1.3. Justificación	7
1.4. Objetivos de la investigación	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. Preguntas de investigación.....	10
1.6. Alcances y limitaciones	11
1.6.1. Alcances.....	11
1.6.2. Limitaciones.....	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Redes logísticas	13
2.2. Diseño del sistema de distribución.....	15
2.3. Proceso de planeación de la red	15
2.3.1. Lista de verificación de datos	16
2.4. Configuración de la red logística	16
2.4.1. Recolección de información	17
2.4.2. Agregación de la información.....	17
2.4.3. Costos de transporte	18
2.4.4. Gestión de depósitos.....	19
2.4.5. Costos de depósitos	19
2.4.6. Costos de distribución	20
2.4.7. Capacidad de los depósitos	20
2.4.8. Posibles ubicaciones de los depósitos	21
2.4.9. Niveles de servicio al cliente requerido.....	21
2.4.9.1. El servicio al consumidor	21
2.4.10. Demanda futura.....	22
2.4.11. Validación de la información y el modelo	23
2.5. Técnicas empleadas para la optimización de la red logística	23

2.5.1. Opciones de modelación.....	23
2.5.1.1. Técnicas de gráfica, compás y regla	23
2.5.1.2. Modelos de simulación.....	24
2.5.1.3. Modelos heurísticos	25
2.5.1.4. Modelos de sistemas expertos.....	26
2.5.1.5. Modelos de optimización.....	26
2.6. Optimización de redes logísticas.....	27
2.6.1. Diseño iterativo y optimización de redes	28
2.7. Problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución.	30
2.8. Modelo de transporte.....	33
2.9. Método del gradiente o de Cauchy.....	35
2.10. Trabajos previos	37
2.11. Vista general de algunas aplicaciones prácticas de la optimización de redes	41
CAPÍTULO 3. MARCO CONTEXTUAL	42
3.1. Antecedentes históricos	43
3.2. Misión.....	45
3.3. Visión	45
3.4. Localización de la empresa.....	45
3.5. Objetivos estratégicos.....	45
3.6. Filosofía de Pemex Petroquímica.....	46
3.6.1. Respecto a las líneas de negocios.....	46
3.6.2. Respecto a los clientes.....	46
3.6.3. Respecto a los directivos	46
3.6.4. Respecto a su personal.....	47
3.6.5. Respecto a sus proveedores y distribuidores	47
3.6.6. Respecto a la sociedad.....	47
3.6.7. Respecto al sindicato	47
3.6.8. Respecto a la seguridad	47
3.6.9. Respecto al medio ambiente	48
3.7. Organización administrativa.	48
3.7.1. Estructura orgánica.....	48
3.7.2. Funciones generales	49
3.8. Actividades industriales a cargo del organismo.....	51

3.8.1. Atribuciones conferidas a la dependencia	51
3.8.2. Complejos Petroquímicos en operación	51
3.8.2.1. Complejo Petroquímico Cangrejera	51
3.8.2.2. Complejo Petroquímico Cosoleacaque	52
3.8.2.3. Complejo Petroquímico Escolín	53
3.8.2.4. Complejo Petroquímico Independencia	54
3.8.2.5. Complejo Petroquímico Pajaritos	54
3.8.2.6. Complejo Petroquímico Tula.....	55
3.8.2.7. Complejo Petroquímico Morelos	56
3.8.3. Ubicación y productos de los centros petroquímicos.....	58
3.9. El proceso de logística.....	62
3.9.1. Gerencia de logística	63
3.9.2. Objetivo	63
3.9.3. Funciones principales de la gerencia de logística	63
3.9.4. Principales clientes.....	65
3.9.5. Principales proveedores.....	65
3.9.6. Infraestructura logística	66
3.9.6.1. Centros embarcadores	67
3.9.6.2. Terminales	68
3.9.6.3. Capacidad de vías en la zona	68
3.9.6.4. Vías de exportaciones.....	68
3.9.6.5. Infraestructura para materias primas	69
3.9.6.6. Ductos.....	69
3.9.6.7. Transporte.....	69
3.9.6.8. Riesgos de infraestructura con Ferrosur	69
3.10. Servicios al cliente.....	69
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA	71
4.1. Alcance y selección de modelos matemáticos	71
4.1.1. Estructura metodológica	71
4.2. Modelo de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución	74
4.2.1. Modelo matemático	75
4.3. Modelo de transporte caso multiproducto	76
4.3.1. Modelo matemático	76

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN	78
5.1. Problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución.	78
5.2. Problema de transporte multiproducto.	83
CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	93
6.1. Análisis de resultados del problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución.	93
6.2. Análisis de resultados del problema de transporte multiproducto.	94
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	98
7.1. Conclusiones relativas a los objetivos específicos y objetivo general.	98
7.2. Aportaciones originales y limitaciones del modelo planteado	101
7.2.1. Aportaciones originales	101
7.2.2. Limitaciones del modelo planteado.....	101
7.3. Impacto Social.....	101
7.4. Recomendaciones.....	102
REFERENCIAS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Contenido del capítulo 1	1
Figura 1.2. Suministro de polietileno a través de los Centros Embarcadores Autorizados....	6
Figura 2.1. Contenido del capítulo 2	12
Figura 2.2. Representación de los elementos de una red logística.	14
Figura 2.3. Red logística por flujo de actividades y materiales en una unidad de producción.	14
Figura 2.4. Modelo de transporte como una red de m fuentes y n destinos.	34
Figura 3.1. Contenido del capítulo 3	42
Figura 3.2. Evolución de la rama petroquímica en Petróleos Mexicanos.	44
Figura 3.3. Estructura orgánica de Pemex Petroquímica.	49
Figura 3.4. Complejo Petroquímico Cangrejera.	52
Figura 3.5. Complejo Petroquímico Cosoleacaque.	53
Figura 3.6. Complejo Petroquímico Escolín.....	53
Figura 3.7. Complejo Petroquímico Independencia.....	54
Figura 3.8. Complejo Petroquímico Pajaritos.....	55
Figura 3.9. Complejo Petroquímico Tula.	56
Figura 3.10. Complejo Petroquímico Morelos.	57
Figura 3.11. Planta Swing del Complejo Petroquímico Morelos	58
Figura 3.12. Ubicación de centros petroquímicos.....	58
Figura 3.13. Esquema de comercialización de los productos	64
Figura 3.14. Ubicación de algunos Centros Embarcadores Autorizados	67
Figura 4.1. Contenido del capítulo 4	71
Figura 4.2. Estructura Metodológica.....	74
Figura 5.1. Contenido del capítulo 5	78
Figura 6.1. Contenido del capítulo 6	93
Figura 7.1. Contenido del capítulo 7	98

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 6.1. Validación de resultados de los costos de la empresa, contra los costos de la propuesta en Lingo.	96
Grafica 6.2. Validación de resultados de toneladas enviadas de producto por la empresa, contra las toneladas propuestas en Lingo a enviar	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Productos por cada complejo petroquímico.	59
Tabla 3.2. Principales productos de la cadena de aromáticos. Principal materia prima: naftas (gasolina).	60
Tabla 3.3. Principales productos del Etileno. Principal materia prima: etano.	61
Tabla 3.4. Principales productos de la cadena del Metano. Principal materia prima: Gas natural.	62
Tabla 5.1. Número de clientes y costos mínimos de distribución mensual en pesos.	79
Tabla 5.2. Asignación de productos, plantas, clientes y demanda esperada en toneladas.	80
Tabla 5.3. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Enero.	84
Tabla 5.4. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Febrero.	84
Tabla 5.5. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Marzo.	85
Tabla 5.6. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Abril.	85
Tabla 5.7. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Mayo.	86
Tabla 5.8. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Junio.	87
Tabla 5.9. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Julio.	87
Tabla 5.10. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Agosto.	88
Tabla 5.11. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Septiembre.	89
Tabla 5.12. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Octubre.	89

Tabla 5.13. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Noviembre.....	90
Tabla 5.14. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Diciembre.	90
Tabla 5.15. Resultados del modelo de transporte multiproducto.....	91
Tabla 6.1. Distribución mensual de Pemex Petroquímica.	95

RESUMEN

Con la globalización cada vez más creciente de los mercados, es necesario que las empresas determinen un óptimo diseño de una red de distribución, que les permita disminuir sus costos y mejorar el exigente y creciente nivel de servicio al cliente. Este trabajo de investigación, aborda el problema de analizar la red de distribución de polietilenos de una empresa Mexicana, que tiene sus plantas de operación en la ciudad de Coatzacoalcos Veracruz México.

En la industria Petroquímica, el polietileno representa un segmento importante, ya que se utiliza como materia prima de una múltiple variedad de productos como tuberías, aislamiento eléctrico, envases, aparatos quirúrgicos, juguetes, artículos de fantasía, entre otros. La única organización productora de polietileno, busca proporcionar una alternativa competitiva de suministro, debido a que no le ha sido posible mejorar el abastecimiento y entrega en las zonas de mayor consumo a nivel nacional, provocando el desabasto que repercute directamente en el nivel de servicio de sus consumidores.

Con el objetivo de mejorar el abastecimiento, este trabajo de investigación emplea la utilización de dos modelos matemáticos de optimización basados en el modelo de problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución; y el modelo de transporte caso multiproducto, los cuales son resueltos mediante el software comercial lingo 9.

Para la validación del modelo, las instancias de pruebas son comparadas con los datos proporcionados por la empresa, presentando los resultados, conclusiones y futuras direcciones de este trabajo. Por último, la realización y las modificaciones realizadas en esta investigación, quedaran a criterio de la empresa como plataforma para una futura implementación del modelo matemático en su base de datos.

ABSTRACT

With the ever-increasing globalization of markets, companies need to determine an optimal design of a distribution network, enabling them to reduce costs and improve the demanding and growing level of customer service. This research addresses the problem of analyzing the distribution of polyethylene of a Mexican company, which has its plants operating in the city of Coatzacoalcos Veracruz Mexico.

In the petrochemical industry, polyethylene represents an important segment because it is used as raw material for a multiple variety of products such as pipes, electrical insulation, packaging, surgical appliances, toys, novelty items, among others. The only producer organization, seeks to provide a competitive alternative supply, because it has not been possible to improve the supply and delivery of major consumption areas nationwide, causing shortages that directly affects the level of service consumers.

In order to improve the supply, this research employs the use of two mathematical models based optimization model multiproduct flow problem and production/distribution systems, and multi-transport model case, which are solved using commercial software lingo 9.

To validate the model, test instances are compared with the data provided by the company, presenting the results, conclusions and future directions of this work. Finally, the realization and the changes made in this investigation, remain at the discretion of the company as a platform for future implementation of the mathematical model in its database

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

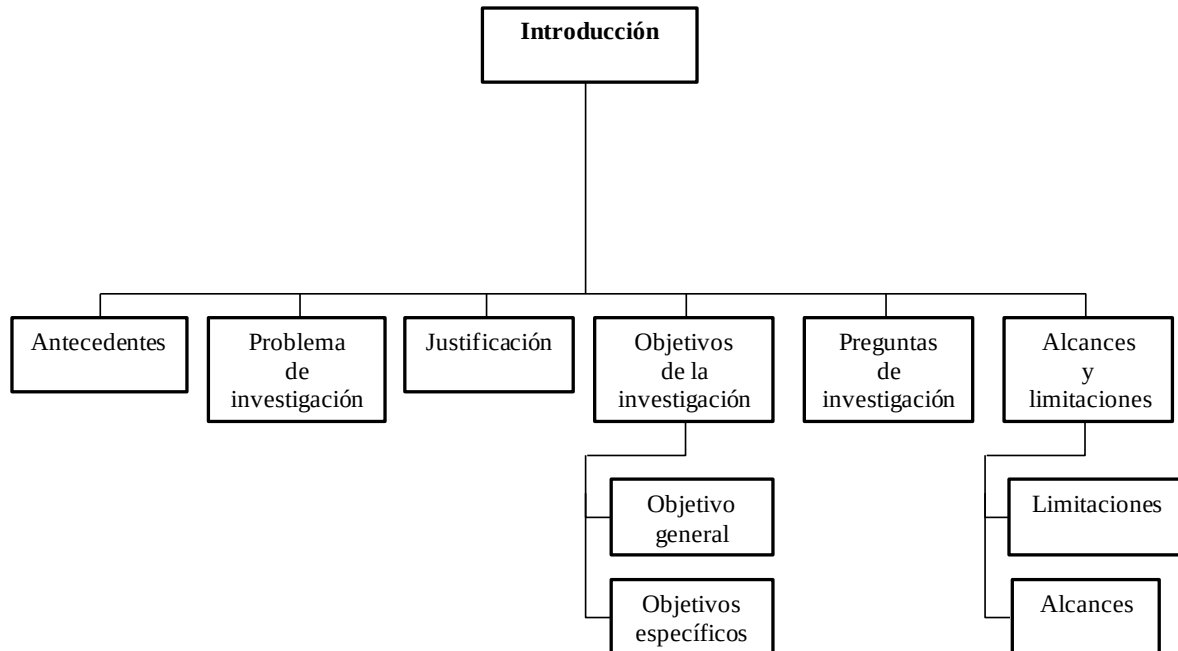


Figura 1.1. Contenido del capítulo 1. Fuente: Elaboración propia.

1.1. Antecedentes

Un sistema logístico puede ser visto como una red integrada por nodos o puntos específicos interceptados entre sí, en donde estos nodos representan áreas físicas dentro de la empresa como almacenes, plantas, puntos de venta y transportes a través de los cuales se genera el flujo de los materiales. Aunada a esta red interna podemos asociar los nodos externos correspondientes a los clientes como puntos de entrega, cerrando de esta forma un ciclo en la red logística (Villegas, 2006).

Es importante distinguir que a esta red de flujo de materiales se integra paralelamente otra red de información que está basada en pedidos generados a proveedores, ventas a clientes, niveles de inventario, plazos de entrega, costos, contabilización, estadísticas, en donde cada uno de éstos representan los nodos de la red de información, los cuales se encuentran respaldados por documentos en papel o procesamiento de información contenida en ordenadores o servidores de gran capacidad, mostrando información como facturas, remisiones, reportes y cheques.

Pacherres, Villalva, Paredes, y Martínez (2009) consideran que una red de distribución es una colección finita de nodos donde cada uno de los cuales representa, una planta, un almacén o una tienda detallista; un arco indica la posibilidad de enviar bienes entre los dos nodos conectados por el arco. En otras palabras, también se puede considerar que una red de distribución es la administración racionalizada del stock, gracias al amplio rango de servicios de distribución, lo cual sirve para:

- Reducir costos de aprovisionamiento de productos;
- Incrementar el capital circulante; y
- Reducir los costos asociados con el almacenamiento, transporte y reposición de sus componentes.

En logística empresarial, el proceso de planificación de la red consiste en el diseño del sistema, a través del flujo de productos desde los proveedores hasta los puntos de demanda, mientras que en el sector público, consiste en determinar el conjunto de las instalaciones de los usuarios que son atendidos. En ambos casos los temas principales son determinar el número, ubicación, equipamiento y tamaño de nuevas instalaciones, así como el desplazamiento de venta, o la reducción de las instalaciones.

Por supuesto, los objetivos y las limitaciones varían dependiendo del sector público o privado y en el tipo de instalaciones, almacenes centrales, centros de distribución central, centros de distribución regionales, centros de distribución locales y puntos de venta. El objetivo general perseguido en logística empresarial, es la minimización de la anualidad del costo total logístico sujeto a limitaciones relacionadas con la capacidad de las instalaciones y requerimientos del nivel de servicio al cliente (Ghiani, Laporte y Musmanno, 2004).

Por regla general, el costo de reducir al mínimo está asociado con las operaciones de instalación como almacenamiento de fabricación, clasificación, consolidación, venta, transportación entre instalaciones, o entre las instalaciones y los usuarios.

La investigación en el diseño de una red logística, se remonta a las teorías de localización temprana del siglo XIX. Desde entonces una gran variedad de modelos y metodologías de solución han sido propuestas y analizadas. En el último cuarto del siglo XIX, en esta época

se construyó la red básica de transporte y comunicaciones en los Estados Unidos y en Europa Occidental. En estos países se destaca en primer lugar la importancia de las actividades logísticas en una economía que evoluciona desde la autosuficiencia hacia la especialización productiva regional, así como también el intercambio de productos dentro de las grandes empresas industriales que han llegado hasta nuestros días.

Durante la década de los 50's, se le toma mayor importancia a la logística, debido a la transición que atraviesan los países más desarrollados con una economía caracterizada por el exceso de demanda, a una economía con exceso de oferta. Es en esta década donde se logra identificar la segunda gran etapa que atraviesa la evolución de la logística, pero no se ubica un desarrollo nuevo por la gestión o algún proceso de mejora para los procesos relacionados a esta, ya que en esta época cobrará mayor importancia la previsión de servicios de venta y la planificación de producción; sin descartar la atención prestada a los problemas minoritarios como el almacenamiento de materiales y resguardo de reservas o stocks de seguridad en los almacenes, así como también el asunto de la distribución (Villegas, 2006).

En México, los aztecas utilizaban la logística cuando su emperador deseaba comer pescado, el cual era transportado desde el puerto de Veracruz por gente a su servicio que hacían la tarea a manera de carrera de relevos, transportando el alimento del emperador pronta y oportunamente hasta la gran Tenochtitlán. La conceptualización de la logística en México es hasta los 80's cuando se vió reflejado el alto impacto de las comparaciones costo/beneficio después de incluir el concepto de logística en las empresas.

El concepto con el cual se dió la aceptación de la logística, fue el manejo de todas las actividades que facilitan el movimiento de productos y coordinación de la oferta y la demanda en la optimización de la utilidad en el tiempo y la producción, para ofrecer el producto adecuado en el lugar preciso con la cantidad requerida en el tiempo justo y a un costo adecuado. En este período de los años 80's el primer cambio que se logra apreciar en los directivos con las empresas es que la logística servía para poder apalancarse financieramente, teniendo ciertas mejoras. Durante los últimos años se han visualizado mejoras en todos los ámbitos de la empresa, sin embargo, uno de los conceptos que se ha

enfocado más a la aplicación de la logística es el aprovisionamiento de materiales (Villegas, 2006).

Las cadenas de suministro en el complejo de hoy y la economía en red, proporcionan una gran cantidad de productos en todo el mundo. Con el énfasis en la eficiencia y reducción de costos, las empresas que realizan un óptimo suministro de diseños de red de la cadena pueden tener una ventaja competitiva importante en el suministro de sus clientes con los productos demandados (Nagurney, Yu y Qiang, 2010).

Pemex Petroquímica desde hace mas de 14 años, ha tenido un deterioro en la participación de mercado nacional en los polietilenos que produce, de un 80% de participación en 1992; a un 32% en el 2004. Para contrarrestar este efecto, desarrolló un proyecto de expansión en polietilenos de alta y baja densidad construyendo la planta swing, que tuvo una inversión de 112 Millones de dólares, para un incremento de 150% en polietilenos de alta densidad y polietilenos de baja densidad. Estas aplicaciones no consideran una inversión adicional en cuestión de infraestructura logística para el almacenamiento y entrega de producto.

Posteriormente en el año 2006 nace el proyecto de Centros Embarcadores Autorizados, con la intención de contar con la logística que permita desplazar, almacenar y distribuir los polímeros, asegurando la continuidad operativa de la planta swing, de las ampliaciones de las plantas existentes; y la solución a la estrategia para restablecer la participación y crecimiento de Pemex Petroquímica en el mercado nacional, acercando el producto a las zonas de mayor demanda, con la intención de incrementar la competitividad.

Este proyecto se concibió sin la necesidad de que la empresa invirtiera en recursos económicos, humanos y de infraestructura, realizando alianzas con el sector privado, colocando el producto a través de ferrocarril en las instalaciones de un tercero, con quien se tiene un contrato de prestaciones de servicios, el cual, proporciona la infraestructura de almacenamiento, trasvase y entrega al cliente.

Todos estos servicios son liquidados por el cliente en los términos en que se realiza la venta. En caso de que el cliente cuente con infraestructura ferroviaria, se puede realizar la

entrega directa al cliente, utilizando los mismos sistemas de control que se desarrollaron para los Centros Embarcadores Autorizados (Pemex Petroquímica, 2007).

A pesar de los grandes esfuerzos de Pemex Petroquímica en la actualidad, los consumidores de polietileno a nivel nacional siguen experimentado graves retrasos, debido a que no se ha permitido mejorar los niveles de servicio en entregas de producto terminado.

1.2. Problema de investigación

En la industria petroquímica, el polietileno representa un segmento importante, ya que se utiliza como materia prima de una múltiple variedad de productos como tuberías, fibras, películas, aislamiento eléctrico, revestimientos, envases, utensilios caseros, aparatos quirúrgicos, juguetes, artículos de fantasía entre otros.

Pemex Petroquímica siendo el único productor de polietileno a nivel nacional, busca proporcionar una alternativa competitiva de suministro a sus clientes, ya que ha alcanzado el desabasto de la demanda de este producto debido a una mala distribución. Actualmente, Pemex Petroquímica produce 13 tipos de polietileno donde 3 tipos de estos son fabricados en las plantas del Complejo Petroquímico Cangrejera y 10 en el Complejo Petroquímico Morelos ubicados en la ciudad de Coatzacoalcos Veracruz.

El producto es enviado a través de ferrotolvas hacia los Centros Embarcadores Autorizados, ubicados en las Zonas Metropolitana, Guadalajara, Monterrey, Veracruz, Coatzacoalcos y San Luis Potosí. Cabe mencionar que los Centros Embarcadores Autorizados son los responsables de suministrar el producto al cliente (ver figura 1.2).

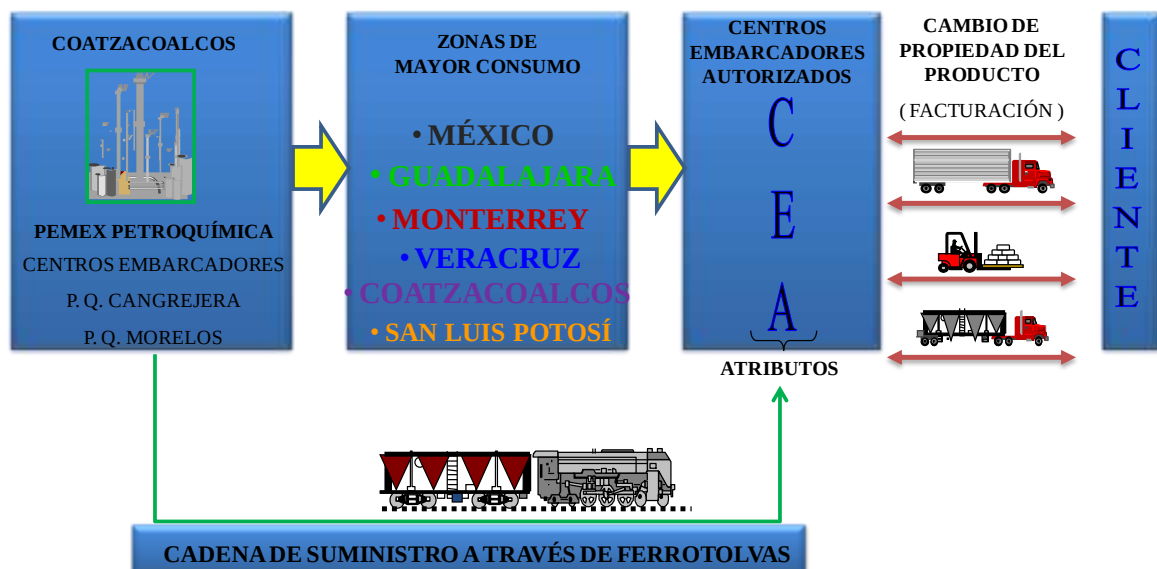


Figura 1.2. Suministro de polietileno a través de los Centros Embarcadores Autorizados.

Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

Con el objetivo de mejorar el abastecimiento, este trabajo pretende realizar un análisis de la red de distribución de polietilenos, proponiendo un modelo matemático que responda a la demanda del mercado nacional, y así mismo entregar el producto a tiempo a sus clientes.

1.3. Justificación

El abastecimiento del polietileno es de suma importancia en lo que se refiere a todo el territorio nacional, y esto es debido a que como materia prima tiene gran utilidad en sus diferentes usos para su fabricación como: botellas, tuberías para agua, fibras, películas, aislamiento eléctrico, revestimientos, utensilios caseros, aparatos quirúrgicos, juguetes, artículos de fantasía, bolsas de todo tipo, recubrimiento de acequias, envasado automático de alimentos y productos industriales como leche, agua, plásticos; base para pañales desechables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos, bazar, tubos y pomos en cosméticos, medicamentos y alimentos; tuberías para riego, tanques de agua, envases para detergentes, envases para lejías, aceites, champú, lácteos; cajones para pescados, envases para pintura, helados; tambores; tuberías para gas, telefonía, agua potable, minería, láminas de drenaje y uso sanitario; bolsas tejidas, guías de cadena, piezas mecánicas, también se usa para recubrir lagunas, canales, fosas de neutralización, lagos artificiales, canalones de lámina, plantas de tratamiento de aguas ,en la industria automotriz, entre otros.

Al existir desabasto de polietileno a nivel nacional es significativo ya que obliga a las industrias en buscar desesperadamente fuentes de suministros en otros países productores como USA, Canadá, Brasil, Venezuela, Bolivia entre otros, afectando así la economía del país, economía laboral y financiera de las empresas que fabrican la gran variedad de estos productos (Cruz , 2006).

Debido a que no se ha permitido mejorar la demanda y la entrega en las zonas de mayor consumo a nivel nacional en la fabricación de polietileno, se ha provocado un gran desabasto en los niveles de servicio de entrega al cliente. La realización de un análisis de la red de distribución actual y de un modelo que responda a la demanda del mercado en la entrega de producto a tiempo, será una alternativa para minimizar la falta de este importante producto Petroquímico. Con la realización de este proyecto el beneficio es a

nivel nacional, ya que Pemex Petroquímica siendo el único productor, tiene presencia en distintas regiones en México; permitiendo incrementar la competitividad, participación de mercado y satisfacción al cliente. A continuación se mencionan los beneficios de la realización de este proyecto:

Beneficios para los consumidores de polietileno:

- Posibilidad de acceder a las fuentes de abastecimiento más cercanas.
- Reducción de costos logísticos.
- Reducción de tiempo en días/horas en la recepción del producto hasta sus instalaciones.
- Mayor competitividad en el mercado.

Beneficios para Pemex Petroquímica:

- Viabilidad y continuidad operativa en la producción de polietileno.
- Innovar un esquema logístico competitivo para la satisfacción al cliente.
- Acercar el producto a las áreas de mayor consumo.
- Mejorar la confiabilidad de suministro de polietileno.
- Disminución de tiempo de entrega del producto.
- Disminución de costos logísticos.

A los Centros Embarcadores Autorizados:

- Aumento directo en la venta de sus servicios.
- Optimización de sus servicios, para ofrecer una ventaja competitiva y abarcar de esta forma a más clientes.
- Incrementar la presencia con los clientes y su experiencia en el mercado.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo matemático que responda a la demanda del mercado nacional de polietilenos, para la distribución de entrega de producto a tiempo a sus consumidores.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los diferentes modelos de distribución existentes de redes distribución.
- Proponer un modelo matemático que se adecue en base a las necesidades que requiera Pemex Petroquímica.
- Desarrollar métodos de solución Exactos o Heurísticos adecuados para el modelo propuesto.
- Implementar el método de solución en software comercial y/o en un lenguaje de programación.
- Realizar un conjunto de pruebas del modelo propuesto con instancias reales.

1.5. Preguntas de investigación

- ¿Los métodos de distribución existentes se adaptan a las necesidades particulares de la empresa?
- ¿Los métodos de soluciones propuestos pueden conducir a la obtención de soluciones aproximadas, optimas locales u optimas globales?
- ¿Las herramientas computacionales disponibles permiten solucionar el problema planteado?
- ¿Cómo se ajusta el modelo matemático y método de solución propuestos al caso de estudio?
- ¿Cuál es el tamaño máximo de instancia y el tiempo requerido para la solución de la implementación realizada?
- ¿Qué consideraciones se deben integrar a la práctica?

1.6. Alcances y limitaciones

1.6.1. Alcances

Se propondrá y resolverá un modelo matemático para reconfiguración de la red de distribución de polietileno a nivel nacional, al cual se le integrarán las restricciones que se adecuen a las necesidades que requiera la empresa. Con el desarrollo de este modelo se tomarán las medidas complementarias para cumplir el abastecimiento de polietileno a nivel nacional. Este beneficio se verá reflejado en la entrega de producto a tiempo privilegiando la distribución y satisfacción a los clientes de Pemex Petroquímica, dando así cumplimiento a la demanda solicitada en cada región.

1.6.2. Limitaciones

- Disponibilidad de información.
- Diferentes puntos de consumo a nivel nacional.
- Diferentes demandas de especificación del producto.
- Diferente forma de producción y almacenamiento.
- Restricción de capacidad de almacenamiento de los Centros Embarcadores Autorizados.
- Los Centros Embarcadores Autorizados no son parte de Pemex Petroquímica.
- No se puede enviar producto final de un Centro Embarcador Autorizado a otro debido a que son independientes.
- Para el uso de ferrotolvas se tiene un contrato de prestaciones de servicios con la empresa Ferrosur, la cual proporciona la infraestructura de almacenamiento, trasvase y entrega al cliente.
- Si el cliente cuenta con infraestructura ferroviaria, el puede realizarse la entrega directa del producto.
- Únicamente se consideraran los recursos y la problemática actual.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

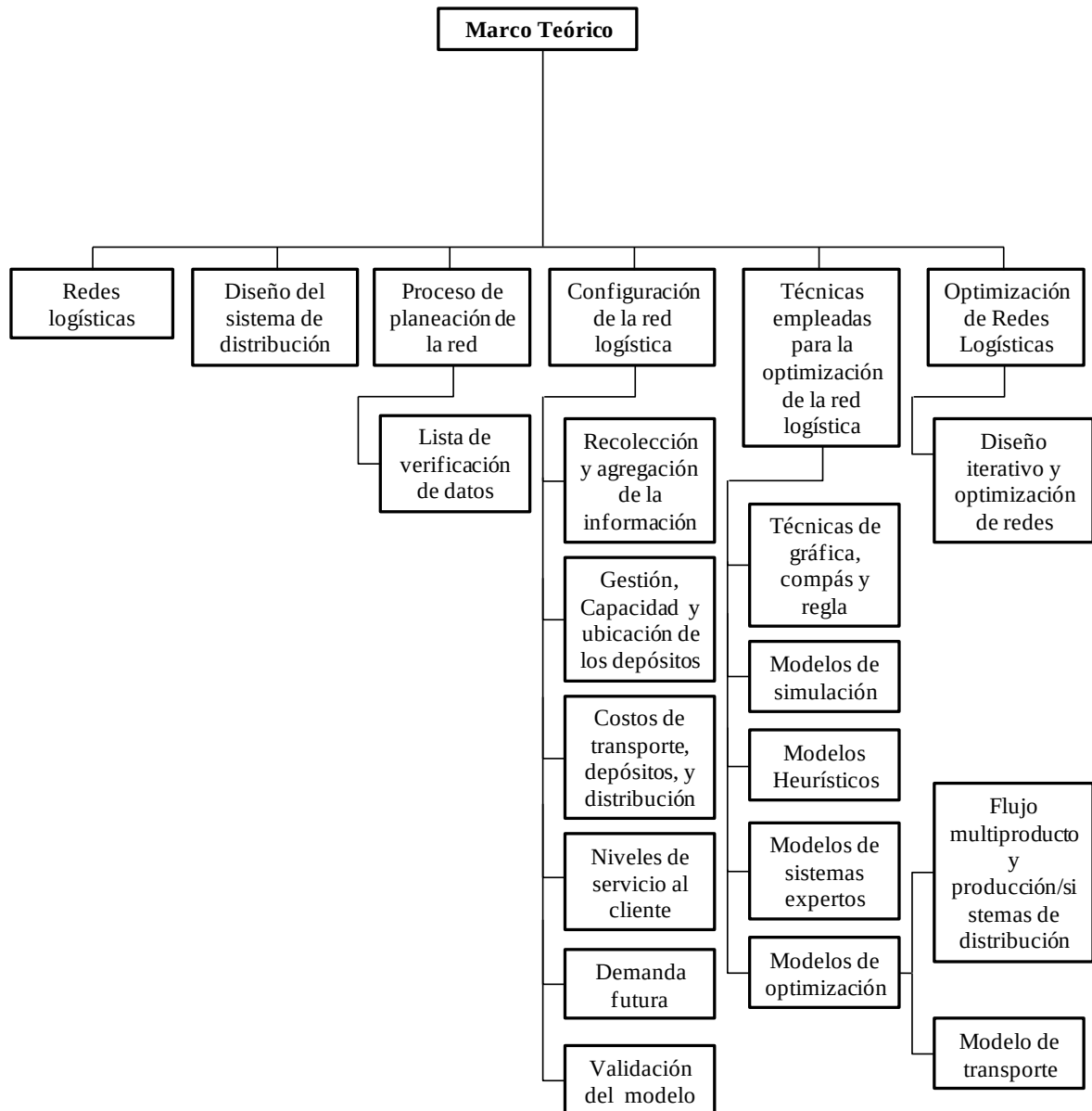


Figura 2.1. Contenido del capítulo 2. Fuente: Elaboración propia.

2.1. Redes logísticas

En los últimos tiempos debido a las complejidades del contexto y a la gran competencia, muchas compañías han tomado la decisión de armar una estructura logística horizontal de distribución, conformando así, con sus clientes y proveedores Cadenas de Abastecimiento o Redes Logísticas. Uno de los grandes temas de preocupación de las empresas es determinar la más adecuada red de distribución de sus productos, entendido ello como el conjunto de bodegas, transporte e inventarios, que permitan hacer llegar de la mejor manera, dichos productos a sus clientes (Veloza, 2006).

Simchi-Levi, Kaminsky y Simchi-Levi (2003) nos dicen que una red logística consiste en proveedores, fabricantes, depósitos, centros de distribución, y puntos de venta, así como las materias primas, productos en proceso, productos terminados y la información relativa a los mismos que fluyen entre los primeros. En 2004 Soret los Santos nos menciona que la cadena de suministro, también se conoce como la red de logística, y que esta se compone también de los proveedores, centros de fabricación, almacenes, centros de distribución y puntos al por menor, así como materias primas, el trabajo en el inventario de procesos y productos terminados que fluyen entre las instalaciones.

Una red logística puede caracterizarse por los siguientes elementos:

- Proveedores.
- Centros de producción.
- Almacenes centrales.
- Almacenes nacionales.
- Almacenes regionales.
- Almacenes locales.
- Almacenes de tránsito.
- Puntos de venta.
- Clientes.

Esquemáticamente pueden representarse estos diversos niveles mediante un grafo donde los arcos son las relaciones entre ellos (ver figura 2.2).

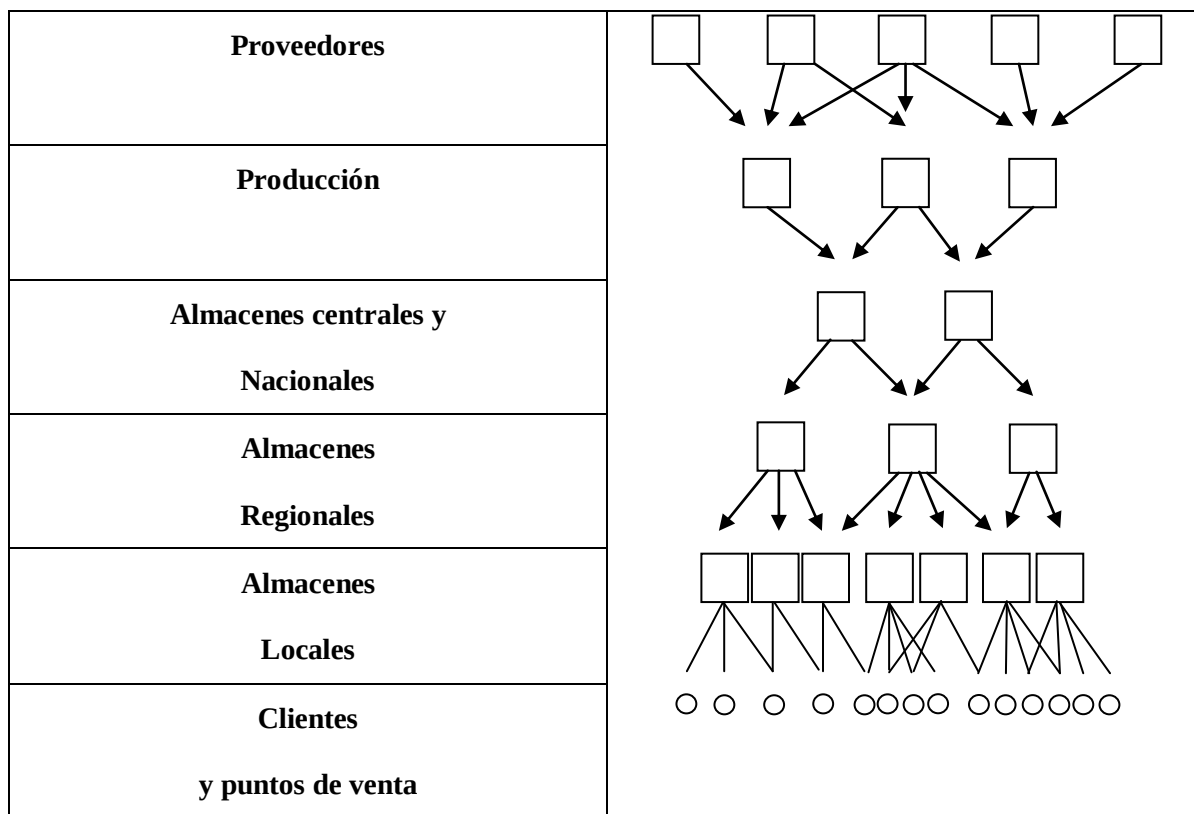


Figura 2.2. Representación de los elementos de una red logística. Fuente: Soret los Santos 2004.

También puede considerarse como una red logística la originada por el flujo de actividades y materiales dentro de una unidad de producción (ver figura 2.3).

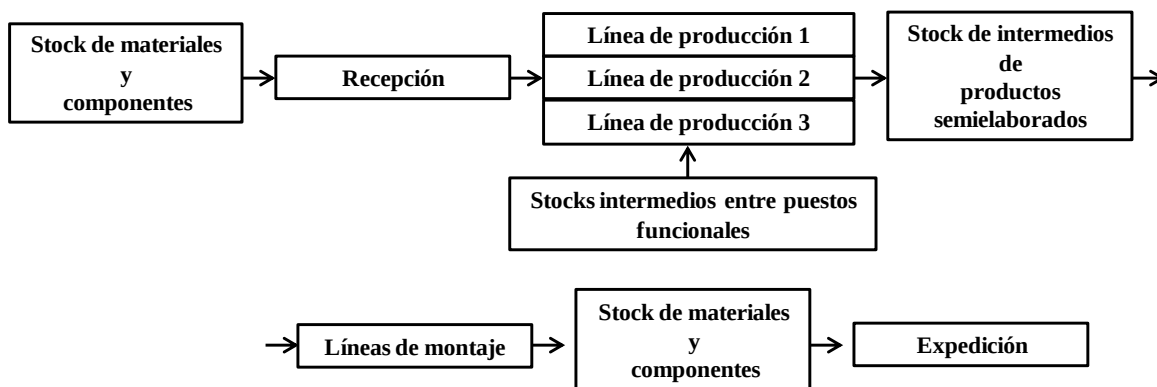


Figura 2.3. Red logística por flujo de actividades y materiales en una unidad de producción.

Fuente: Soret los Santos 2004.

2.2. Diseño del sistema de distribución

Desde el 1950, modelos formales de computadora se han utilizado para responder a las pregunta de diseño de redes de distribución, tales como: ¿Cuántos puntos de almacenamiento deben ser, y donde deben ser localizados?, ¿Deben ser de propiedad?, ¿Deben de abastecerse todos los puntos de envío de todos los productos o deben especializarse por línea de producto? , ¿Qué clientes deben ser atendidos por cada punto de almacenamiento para cada producto?, ¿Dónde deben ser localizadas las plantas?, ¿Qué se debe producir en cada planta? y ¿Cuánto?, ¿Qué proveedores deben ser usados y en qué niveles?, ¿Cuáles deben ser los flujos de transporte anuales en todo el sistema?, ¿Deben los puntos de estancamientos ser usados?, y si es así ¿Dónde deben ser? Problemas de localización de almacenamiento, propuesto como programación entera mixta, modelos con variables binarias para cargas fijas relacionadas con la elección del sitio y variables continuas para el flujo de mercancías, comenzaron a aparecer en la literatura de la investigación de las operaciones como artículos. Cerca de dos décadas atrás, el diseño estructural del sistema de distribución usando un enfoque de optimización se convirtió técnicamente factible.

Geoffrion y Powers proporcionan una perspectiva sobre un algoritmo y la evolución asociada, que indica que:

“Ahora es posible para las empresas de todos los tamaños encuentren diseños de sistemas de distribución que son óptimos para todos los propósitos prácticos, incluso en muchos casos, el alcance del problema de diseño se extiende para el completo sistema logístico en el más amplio sentido contemporáneo “(Drezner, 1995, pp. 181-182).

2.3. Proceso de planeación de la red

Todo proceso que el gerente de logística y de la cadena de suministros utiliza para configurar la red de instalaciones y para definir el flujo del producto a través de este requiere información, herramientas de computación y un proceso de análisis que lleve a un buen diseño de la red. El problema de la configuración de la red es el relativo a la especificación de la estructura a través de la cual fluyen los productos desde sus puntos de

origen hasta los puntos de demanda. Esto implica la determinación de las instalaciones que se utilizarán, si existen el número y ubicación de ellas, los productos y clientes asignados, los servicios de transporte utilizados entre éstas; el lugar de origen, las actividades entre instalaciones y la distribución hacia los flujos de productos de los clientes; así como los niveles de inventario que se mantienen en las instalaciones (Ballou, 2004).

2.3.1. Lista de verificación de datos

La planeación de red puede requerir una base de datos sustancial que se derive de muchas fuentes. Aunque cierta información puede ser específica de un problema particular de configuración de red, buena parte de la base de datos puede generalizarse. Puede incluir

- Un listado de todos los productos en la línea de producto.
- Ubicaciones de los clientes, puntos de almacenamiento y puntos de suministro.
- Demanda de cada producto por ubicación de clientes.
- Tarifas o costos de transportación.
- Tiempo de tránsito, tiempo de transmisión de pedidos y ritmos de surtido de pedidos.
- Tarifas o costos del almacenamiento.
- Costos de producción / compras.
- Tamaños de envío por producto.
- Niveles de inventario por ubicación por producto y los métodos para controlarlos.
- Patrones de pedidos por frecuencia, tamaño, temporada y contenido.
- Costo de procesamiento de pedidos y cuando se incurran.
- Costo de capital.
- Metas de servicio al cliente.
- Equipos e instalaciones disponibles con limitaciones de capacidad.
- Patrones de distribución sobre la forma como se cumplen las ventas.

2.4. Configuración de la red logística

La configuración de la red logística puede envolver aspectos relacionados con la ubicación de la planta, de los depósitos, y de los distintos puntos de venta. Este tipo de definiciones son estratégicas ya que van a tener efectos de largo plazo en la empresa, por lo cual es

imprescindible realizar un adecuado análisis al respecto. El objetivo es diseñar o reconfigurar la red logística a manera de minimizar los costos totales de la misma, incluyendo costos de abastecimiento, de producción, de manejo de los inventarios ya sea almacenaje, como costos fijos y aquellos relacionados al transporte (Simchi-Levi et al. 2003).

2.4.1. Recolección de información

La configuración adecuada de la red logística, requiere de una gran cantidad de información en relación a:

1. Ubicación de los consumidores, los minoristas, depósitos existentes y centros de distribución, plantas de producción y proveedores.
2. Todos los productos, incluyendo volúmenes y requerimientos especiales para su transporte.
3. Demanda anual de cada producto por cliente localizado.
4. Tarifas de transporte para cada modalidad.
5. Costos de depósitos, incluyendo mano de obra, costo de manejo de los inventarios y costos fijos operativos.
6. Tamaño y frecuencia de los fletes efectuados a clientes.
7. Costos asociados al proceso de pedidos.
8. Requerimientos en cuanto a atención al cliente y metas asociadas.

2.4.2. Agregación de la información

La cantidad de información a manejar en la optimización de la red logística es abrumadora por esta razón, un esencial primer paso a seguir, es la agregación de la información relevada. Para esto se utilizan los siguientes criterios:

1. Los clientes que se encuentren próximos entre sí, serán agregados y considerados como un solo cliente. Para ello se puede dividir el total del área de distribución en bloques o parcelas, y todos los clientes que se encuentren dentro de cada una de ellas, son agregados y considerados como un solo cliente ubicado en el centro de la misma.

2. Los distintos productos son agregados en un número razonable de grupos de productos basados en:
 - a) *El patrón de distribución.* Todos los productos recogidos en una misma fuente y destinados a un mismo cliente, son agregados conjuntamente.
 - b) *El tipo de producto.* En muchos casos, diferentes productos son tan solo variantes en cuanto a modelo, estilo o únicamente diferente tipo de empaque. Estos productos serán casi siempre agregados entre sí.

Un tema importante a tener en cuenta, es el efecto de la agregación de la información en la efectividad del modelo que se está generando. En este sentido valen las siguientes consideraciones: aún pudiendo utilizar la información originada, es conveniente realizar la agregación, ya que la habilidad de predecir la demanda a nivel individual de cliente o producto resulta bastante limitada, y los resultados obtenidos serán mucho más acertados a nivel agregado. La otra consideración a tener en cuenta es que muchos investigadores han concluido que el error al estimar los costos de transporte con un nivel mayor de agregación no es significativo (Simchi-Levi et al. 2003).

2.4.3. Costos de transporte

El paso siguiente en la construcción de una red logística, es el de estimar los costos de transporte. Se puede distinguir entre otros costos de transporte asociados a una flota interna o una externa. Estimar los costos de transporte asociados a una flota interna, si se cuenta con la información adecuada, no resulta demasiado complicado. La información necesaria para realizar dicha estimación incluye, básicamente, el costo anual por vehículo de transporte, la distancia recorrida anualmente por éste, las cantidades distribuidas en el año, y la capacidad y carga del vehículo. Incorporar en el análisis las tarifas de transporte asociados a un transportista externo a la empresa, resulta ya más complejo. En este sentido se debe tener en cuenta qué tipo de transporte se va a utilizar, cuál es la distancia a recorrer, cuál es la tarifa que nos cobra el transportista por kilometro y por volumen de carga.

2.4.4. Gestión de depósitos

Asumiendo que la ubicación de la planta de producción y los puntos de venta no son alterados lo cual eventualmente puede llegar a suceder, las decisiones básicas a tomar se referirán a:

1. Determinar el número apropiado de depósitos.
2. Determinar la ubicación de cada depósito.
3. Determinar el tamaño de cada depósito.
4. Asignación de espacios dentro de cada depósito para cada producto.
5. Determinar qué productos van a recibir los clientes de cada depósito.

Un aumento en el número de depósitos nos conlleva a las siguientes consecuencias:

- a) Una mejora en el nivel de servicio debido a la reducción en el tiempo de respuestas a los consumidores.
- b) El incremento en costo de inventario, ya que aumentan los stocks de seguridad requeridos para cada uno de los nuevos depósitos.
- c) Incremento en los costos totales.
- d) Reducción de los costos de transporte desde los depósitos a los consumidores.
- e) Aumento de los costos de transporte desde los proveedores y/o desde la planta, a los distintos depósitos.

En esencia, la empresa debe balancear el incremento de costos asociados al incremento del número de depósitos con las ventajas que surgen de la aproximación con los clientes. De todos modos, la ubicación de los depósitos es un elemento crucial para determinar si la cadena de abastecimiento será una canal eficiente para distribuir los productos de la empresa. (Simchi-Levi et al. 2003).

2.4.5. Costos de depósitos

Almacenes y centros de distribución son importantes nodos en una red de suministro, que realizan funciones valiosas que apoyan el movimiento de materiales. Productos de almacenamiento temporal o de más tiempo, transformación de productos, concentración de cargas de vehículos, la creación de surtidos, y los envíos de montaje son todas las

actividades realizadas normalmente en estas instalaciones. En 2004 Ballou refiere a los centros de distribución como almacenes de distribución (Langevin y Riopel, 2005).

Los costos asociados a los depósitos y centros de distribución, incluyen tres componentes principales

1. *Costos de manejo*. Sin los costos que varían en forma proporcional al flujo de movimiento en el depósito.
2. *Costos fijos*. Incluye todos aquellos costos que no varían en forma proporcional al flujo de mercaderías que circulan por el depósito. Normalmente estos costos fijos son proporcionales aunque no en forma lineal, al tamaño del depósito. Es decir que son fijos para cierto rango de tamaños de depósito, y aumentan en forma no lineal cuando se pasa a un rango superior.
3. *Costos de almacenamiento*. Constituidos por los costos de mantener inventarios, los cuales son proporcionales a los niveles promedio de inventarios.

2.4.6. Costos de distribución

Para poder realizar el diseño y planificación de una red y asegurar un nivel de servicio con la utilización de los mínimos recursos, es necesario abordar los elementos de los que dependen los costos de distribución. Estos elementos son los vehículos de transporte, las instalaciones fijas como almacenes, delegaciones, terminales de consolidación, terminales multimodales y la propia mercancía transportada. Cada uno de estos términos tiene un conjunto de costos asociados que justificará la adopción de un diseño de red y estrategias de envío específico (Estrada, 2007).

2.4.7. Capacidad de los depósitos

La capacidad real de los depósitos es otro dato importante a la hora de diseñar la red logística. El tema principal en este sentido es el de estimar el espacio efectivamente requerido de los depósitos, dado el flujo anual de mercaderías que circula por los mismos. Si las entradas y salidas de las mercaderías, se dan de manera regular y uniforme, la necesidad de espacio será aproximadamente el doble que el stock promedio mantenido, lo

que es igual al tamaño máximo del pedido que se efectúa habitualmente a lo cual habría que agregar el stock de seguridad de existir.

2.4.8. Posibles ubicaciones de los depósitos

Es importante identificar cuáles serían las posibles ubicaciones para los nuevos depósitos.

Estas ubicaciones deberán satisfacer ciertas condiciones:

- a) Condiciones geográficas y de infraestructura.
- b) Disponibilidad de mano de obra y recursos naturales.
- c) El interés y aceptación públicos.
- d) La industria local y las normas generales aplicables (posibles franquicias por ser de interés local).

Como es de esperar, no todas las posibles ubicaciones van a cumplir con las condiciones requeridas, pero aquellas que si lo hagan serán las posibles ubicaciones para los nuevos depósitos (Simchi-Levi et al. 2003).

2.4.9. Niveles de servicio al cliente requerido

Se pueden definir distintos niveles de servicio, y para ello podríamos definir por ejemplo, una distancia máxima entre el depósito y los clientes que va a proveer. De esta forma nos estaríamos asegurando que cada depósito tenga un tiempo de respuesta razonable hacia los clientes. En algunos casos se debe reconocer que el tiempo de respuesta no será el mismo, por ser áreas de difícil accesibilidad. En estas situaciones el nivel de servicio podría definirse como la proporción de cliente que se encuentra dentro de determinada distancia del depósito, reconociendo que va a existir cierto porcentaje con un tiempo de respuesta mayor.

2.4.9.1. El servicio al consumidor

La excelencia en la gestión de toda organización empresarial debe tener como objetivo principal el cliente. Por ello, todo cuanto se refiera a las necesidades y requerimientos de los consumidores potenciales de la organización debe constituir un elemento básico de su estrategia y de su gestión (Cuatrecasas, 2010).

Los clientes no han sido nunca tan valorados como hoy en día. Ser capaz de satisfacer sus expectativas es trabajo de la gestión de la cadena logística, y decir el nivel de servicio a ofrecer al cliente es esencial con el fin de alcanzar los objetivos de beneficio de la empresa.

El servicio al cliente es un término muy amplio que contiene muchos elementos, desde la disponibilidad de productos, hasta el servicio de atención posventa. Teniendo en cuenta que todos los elementos de la cadena de suministro se encuentran en interacción y una decisión sobre uno de ellos afecta al resto, cualquier decisión sobre la cadena de suministro puede afectar al servicio al cliente.

Así pues, las empresas han empezado a solicitar amplios sistemas de soporte a la decisión que ayuden a la unidad de un nivel estratégico, táctico y de operaciones, a evaluar, simular y analizar las diferentes opciones y escenarios y la interacción entre agentes en la cadena. En los objetivos del servicio al cliente se han de tener en cuenta aspectos tan importantes como la disponibilidad del producto, la política de devoluciones y los tiempos de entrega, los cuales deben ser estudiados a la hora de diseñar el canal apropiado (Serra de la Figuera, 2005).

2.4.10. Demanda futura

El diseño de la red logística son decisiones estratégicas que van a tener un impacto en la firma que durará por un periodo bastante prolongado. Esto implica que por razones obvias, deben considerarse como posibles cambios en la demanda futura de los clientes a la hora de diseñar la red logística. Si pudiéramos conocer con exactitud la forma de la demanda, la previsión de cualquier parámetro empresarial, sería fácil y podríamos preparar cualquier actividad para satisfacer nuestros objetivos.

Desgraciadamente esto suele ocurrir y se deben aplicar métodos analíticos, a veces intuitivos y no formales, para poder tomar una decisión. Si la demanda es conocida es que está determinada y por esta razón se suele hablar de demanda determinista, si se desconoce será no determinista. No es el caso frecuentemente conocer la demanda, pero a veces podemos intuir la forma en cómo ocurrirá, simplemente observando la variación de los últimos periodos de tiempo (Soret Los Santos, 2006).

Varias son las posibles maneras de distribuir productos desde sus múltiples orígenes hasta sus variados destinos y pueden utilizarse vehículos llenos o fraccionados, almacenes intermedios y envíos directos. El objetivo general suele ser distribuir la mercancía con el costo total mínimo, atendiendo a las restricciones de servicio pertinentes como ventanas temporales de entrega, demandas variables, capacidad de los vehículos, normativa vigente de horas de conducción y de descanso (Robusté, 2005).

2.4.11. Validación de la información y el modelo

Luego de haber hecho el revelamiento de toda la información requerida para generar un modelo que represente la realidad que se está estudiando, el paso siguiente es verificar si dicha información y modelo, efectivamente cumplen su propósito. Para ello se realiza lo que se denomina validación de la información y el modelo. Esto se ejecuta habitualmente tratando de reconstruir con el modelo generado, la red que se está utilizando efectivamente, comparando luego los resultados obtenidos a través del modelo en cuanto a costos, con los números obtenidos en la realidad. A su vez, se pueden realizar pequeños cambios de red logística actual, y observar si el modelo refleja adecuadamente el cambio en los resultados que se obtiene de la nueva configuración. De esta manera no solo se puede reconocer si el modelo refleja la realidad adecuadamente a o no, sino que además se pueden obtener ciertas mejoras en el desempeño de la red actual.

2.5. Técnicas empleadas para la optimización de la red logística

2.5.1. Opciones de modelación

Aunque existen numerosos modelos individuales que pueden ser utilizados para el análisis, estos pueden clasificarse en solo unas cuantas categorías, denominadas: 1) técnicas de gráfica, compás y regla; 2) modelos de simulación; 3) modelos heurísticos; 4) modelos de optimización, y 5) modelos de sistemas expertos (Ballou, 2004).

2.5.1.1. Técnicas de gráfica, compás y regla

Este es un nombre general que se refiere a una amplia variedad de técnicas intuitivas apoyadas por un nivel relativamente bajo de análisis matemático. Sin embargo, los resultados no necesariamente son de baja calidad. El buen juicio, experiencia y un buen

entendimiento del diseño de red permiten que un individuo genere diseños satisfactorios. Pueden tomarse en cuenta factores subjetivos, excepciones, costos y restricciones, muchos de los cuales no pueden representarse mediante el modelo matemático más elaborado. Esto enriquece el análisis y con seguridad puede hacer que los diseños se lleven a cabo en forma directa. Los métodos utilizados para apoyar este tipo de análisis pueden parecer rudimentarios en el mundo computarizado actual. Las gráficas estadísticas, las técnicas de mapeo y las comparaciones de hojas de cálculo son solo algunas de las técnicas que pueden utilizarse (Ballou, 2004).

2.5.1.2. Modelos de simulación

Los modelos de simulación están representados por dos tipos: 1) Simulación determinista y 2) simulación estocástica o Monte Carlo. Los simuladores deterministas son esencialmente calculadores de costo, donde se entregan los valores de las variables estructurales (p.ej., flujos de producto dentro de una red) al modelo, y a su vez calcula los costos, estadísticas de servicio y otra información relevante.

Por otro lado, los simuladores estocásticos intentan emular eventos reales como por ejemplo patrones de pedidos, tiempos de entrega del transporte y niveles de inventario en el tiempo dentro de un canal de distribución, utilizando distribuciones de probabilidad para representar la incertidumbre en el tiempo de los eventos y el nivel de las variables del evento. Las simulaciones deterministas se utilizan típicamente para evaluar el diseño de la red actual de una compañía de modo que pueda establecerse un “caso base” contra el cual puedan compararse los diseños optimizados de red. Los simuladores estocásticos se utilizan para mostrar los resultados de desempeño de los métodos de control de inventario, de selección de servicio de transporte, de políticas de servicio al cliente, entre otros.

Los simuladores estocásticos manejan efectivamente la dimensión de tiempo de la planeación de la cadena de suministros, en tanto que los simuladores deterministas se utilizan en conjunto con el diseño espacial de redes. La simulación de la red por lo general implica replicar las estructuras de costos, restricciones y otros factores que representan la red de manera razonable. Esta replicación por lo general se realiza mediante relaciones matemáticas, las cuales con frecuencia son de naturaleza estocástica. Además el

procedimiento de simulación por lo regular es nada más ni nada menos que la técnica para realizar experimentos de muestreo sobre el modelo del sistema. Es decir, se presenta una configuración de red particular al modelo de simulación que luego proporciona los costos e información relevante para la operación del diseño del sistema. Al repetir el experimento muchas veces sobre el mismo diseño y con distintos diseños se generan estadísticas que son útiles para realizar comparaciones entre las opciones del diseño.

Debido a la complejidad de las relaciones del modelo y a la cantidad de información manejada en las simulaciones, por lo general se realizan en una computadora. La manipulación de la simulación en vez del sistema real se realiza por conveniencia. Las simulaciones se han utilizado para tratar prácticamente con todo problema de planeación en logística. La simulación estocástica es el método de elección cuando es esencial un detalle sustancial en una descripción compleja del problema, cuando existen elementos estocásticos dentro del problema y cuando no es crítico encontrar la solución óptima matemáticamente. Los profesionales sitúan la simulación como la técnica cuantitativa más frecuentemente utilizada en segundo lugar, solo después de la estadística (Ballou, 2004).

2.5.1.3. Modelos heurísticos

Los modelos heurísticos son un tipo de mezcla entre el realismo en la definición de un modelo que puede obtenerse mediante los modelos de simulación, y la búsqueda de las soluciones óptimas obtenidas por los modelos de optimización. Generalmente alcanzan una amplia definición del problema, pero no garantizan soluciones óptimas para el mismo.

Los modelos se construyen alrededor del concepto de heurística de Hinkle y Kuehn, que se definen como:

“Un proceso abreviado de razonamiento que busca una solución satisfactoria en vez de una óptima. La heurística, que reduce el tiempo invertido en la búsqueda de la solución de un problema, incluye una regla o un procedimiento computacional, que restringe el número de alternativas de solución a un problema con base en el proceso análogo humano de prueba y error, para alcanzar soluciones aceptables a los problemas, para los cuales no se encuentran disponibles algoritmos de optimización“(Ballou, 1995, pp. 647).

La modelación heurística es un método práctico para algunos de los problemas logísticos más difíciles. La heurística es útil cuando se desea que el modelo busque una mejor solución, pero se comprometerían demasiadas cosas si se intentara resolver el problema por métodos de optimización.

2.5.1.4. Modelos de sistemas expertos

Cuando un problema de planeación, como un diseño de red, se resuelve muchas veces en una variedad de situaciones, es probable que el responsable de la planeación desarrolle un entendimiento acerca de la forma en cómo se resuelve el problema. Tal entendimiento con frecuencia trasciende a la formulación matemática más compleja posible. Este conocimiento y habilidad, si se puede capturar en la configuración de un modelo o sistema experto, puede utilizarse para generar soluciones de mayor calidad en general que el anteriormente obtenido con solo el uso de los métodos de simulación, heurísticos o de optimización.

Cook define un sistema de experto como un programa de computadora artificialmente inteligente que resuelve problemas a un nivel de experto utilizando el conocimiento y la lógica de solución de problemas de los expertos humanos. Aunque los sistemas de expertos se encuentran en su etapa temprana de desarrollo, se han reportado algunas aplicaciones, como en el apoyo para diagnósticos médicos, la exploración mineral, las configuraciones por computadora de diseños a la medida y el apilamiento de cajas sobre tarimas. Se están comenzando a manifestar algunas aplicaciones en logística en las áreas de inventarios, transportación y servicio al cliente. (Ballou, 2004).

2.5.1.5. Modelos de optimización

Los modelos de optimización se fundamentan en procedimientos matemáticos precisos para evaluar alternativas y garantizan que será encontrada una solución óptima, es decir, la mejor alternativa al problema según se propuso en forma matemática, o sea, se puede demostrar matemáticamente que la solución generada es la mejor.

Muchos de los modelos deterministas de la investigación de operaciones o de la ciencia administrativa son de este tipo. Estos incluyen programación matemática, programación

lineal, no lineal, dinámica o entera, de enumeración, modelos de secuenciación, distintos modelos dominados por cálculos y modelos de reemplazo de equipo. Se observan varias ventajas del método de optimización:

- Se garantiza que el usuario tendrá la mejor solución posible para un conjunto dado de supuestos e información.
- Muchas estructuras complejas de los modelos ahora pueden manejarse en forma correcta.
- Se realiza un análisis más eficiente, ya que todas las alternativas se generan y se evalúan.
- Se pueden efectuar comparaciones una y otra vez, ya que se garantiza la mejor solución para cada una.
- Los ahorros de costos o utilidades entre una solución óptima y una generada en forma heurística pueden ser importantes.

Aunque estas ventajas pueden ser impresionantes, los modelos de optimización también tienen sus desventajas. La principal desventaja, es que a medida que se incrementa la complejidad del problema, no se podrá obtener una solución óptima dentro de un tiempo computacional razonable y con las capacidades de memoria de incluso las computadoras más grandes. Con frecuencia, el realismo de la descripción del problema debe considerarse en un balance contra el tiempo de solución. Incluso así, se debería utilizar un modelo de optimización limitado dentro de un modelo heurístico, donde la optimización resuelva parte del problema. Por otro lado los modelos de optimización que involucran programación matemática con frecuencia incluyen heurística para guiar el proceso de solución y para limitar el tiempo de solución, ya que no pueden garantizar que se encontrará la solución sin enumerar todas las posibles alternativas con el inaceptable tiempo de ejecución (Ballou, 2004).

2.6. Optimización de redes logísticas

El óptimo de una red logística de una empresa, deben ser los resultados y servicios requeridos a un costo más bajos. Teóricamente, parece posible minimizar el costo total de una red logística de sus condiciones de diseño y sus parámetros mediante los métodos de

investigación de operaciones. Sin embargo, el número de parámetros libres y sus combinaciones posibles aumenta más de manera exponencial por el número de productos, número de entregas y estaciones de recepción. Por lo tanto, incluso potentes ordenadores no son capaces de determinar una enumeración completa dentro del tiempo limitado, en el conjunto de parámetros de una red logística óptima. La tarea general de determinación de una red logística óptima incluye como sub-problemas, o problemas estándares una o varias etapas de la ubicación de almacenes, el problema del vendedor viajero, la planificación de un recorrido óptimo, llenado, envasado y muchos otros problemas.

Con el fin de hacer un problema matemáticamente resoluble, los requisitos a menudo deben ser simplificados. Algunos parámetros de diseño de redes logísticas son descuidados por los métodos estándar es, por ejemplo en las heurística la búsqueda de soluciones óptimas requiere de aproximaciones adecuadas de las soluciones iniciales. El intento de resolver la compleja tarea de determinar una red logística óptima es sólo por métodos matemáticos. En la práctica, la tarea de optimizar una red logística significa encontrar en un tiempo limitado y esfuerzo, una solución factible con costos totales significativamente más bajos que los presentes. Mucho más importante que encontrar la teoría óptima, es comprender las acciones que permiten un considerable ahorro de costos en comparación con la situación actual. Una solución optimizada y factible puede ser diseñada y dimensionada logísticamente en pasos iterativos, apoyados en programas computacionales.

2.6.1. Diseño iterativo y optimización de redes

Gudehus y Kotzab (2009), nos mencionan los pasos del diseño iterativo y optimización de una red logística, estos son:

1. Estudio, documentación y análisis de la estructura de la red existente, para los procesos y cadenas de suministro, incluyendo los flujos de información y datos conectados.
2. Especificación de los requisitos de estructura, es decir, del proveedor y estructura del destinatario, estaciones intermedias y relación de transportes disponibles.

3. Determinación del rendimiento y necesidades de abastecimiento, es decir, de la variedad, órdenes, demanda de servicios, consignación y rendimiento de las restricciones y los factores de extrapolación para el horizonte de planificación.
4. Segmentación de surtidos, pedidos y clase de envíos con características similares logísticas.
5. Determinación preliminar de las unidades de carga y la selección del apropiado transportistas.
6. Determinación de la entrega necesaria y cadenas de suministro con el modo envío, en los parámetros de la estructura y los parámetros de transporte: el envío es en una sola etapa, para las etapas dos, tres y mayores, son consideradas si los requisitos no pueden cumplirse por las cadenas de una sola etapa.
7. Análisis de la distribución regional en la entrega y estaciones de recepción, del envío de la demanda y de los flujos de carga.
8. La división preliminar de la zona de servicio total en las áreas de recolección y/o áreas de distribución.
9. Diseño de una solución inicial de la red, ya sea a partir de la red existente y la adición de las estaciones intermedias o de la construcción de una nueva red con un número mínimo de estaciones de logística, en los centros de transporte y de las áreas de servicio.
10. La asignación de las partidas o envíos en los costos óptimos de la cadena de una solución inicial: los envíos grandes y urgentes se asignan a las cadenas de suministro con pocas etapas, los envíos más pequeños se asignan a las cadenas de suministro con más etapas.
11. La concepción preliminar de estrategias de suministro.
12. Cálculo de las reservas y existencias de artículos dentro de las estaciones y de los flujos de carga entre las estaciones.
13. Determinación de los límites necesarios, lugares de amortiguamiento y capacidades de almacenamiento dentro de las estaciones y del transporte requerido.

14. Poner en marcha un proyecto específico que consta de los módulos del programa de las estaciones de entrega, estaciones intermedias y estaciones receptoras, para las relaciones de transporte entre las estaciones.
15. Cálculo de la entrega o los tiempos de envío y verificación de las necesidades de abastecimiento.
16. Cálculo de los costos de entrega basada en las tasas de costos preliminares para el rendimiento esperado y el desempeño de la demanda.
17. Optimización iterativa de las redes y cadena de suministro mediante el ajuste de estrategias de suministro y la variación de los parámetros libres, tales como los parámetros de la estructura, las unidades de carga, modos de transporte, entrega y reposición frecuente, y los parámetros de transporte.
18. Diseño de la orden en los procesos que inicia el proceso de suministro y la información y flujo de datos para el control de los procesos.

Si ciertos requisitos o restricciones no pueden cumplirse en uno o en estos pasos de diseño, el proceso de diseño debe ser repetido hasta lo último o previo a alguna etapa. Por este procedimiento, el proceso de diseño se convierte en iterativo. Para un esbozo de la estructura de la red general y para la estimación de dimensiones y capacidades, es necesario que en el paso 10 se asignen representativamente el valor de los envíos para cada clase de envío. Para los cálculos de costos más precisos, es necesario asignar las partidas individuales de una determinada demanda anual con el menor costo total de entrega, que mantiene el plazo de entrega requerida y todas las demás restricciones.

2.7. Problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución

Una empresa puede tener relativamente algunos productos y algún número de plantas. Los productos se envían a partir de las plantas, ya sea directamente a los mercados o almacenes y posteriormente a los clientes. Las principales cuestiones que ocupan este tipo de problemas son los siguientes: ¿Cuántos almacenes se tienen?, ¿Dónde se localizan?, y ¿Cómo los productos deben fluir a través del sistema? Implícito en la decisión del flujo del producto es ¿Qué productos deben ser elaborados?, ¿Qué planta debe de fabricarlo?, y

hacia ¿Cuál mercado? Este tipo de problema asume que los almacenes están ilimitados en su capacidad. Para formular el problema, Daskin (1995) define la siguiente notación:

Entradas

h_i^k = Demanda por producto k en el mercado i .

f_j = Costos fijos de localización de un almacén en el sitio candidato j .

c_{ijm}^k = Costo de producir una unidad de producto k en la planta m y envío al mercado i a través de un almacén en la localidad candidata j .

S_m^k = la capacidad de la planta m para producir el producto k .

M = Un número muy grande

Decisión de Variables

Y_{ijm}^k = Flujo del producto k por la planta m hacia el mercado i por el almacén j .

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{Si se localiza un almacén en el sitio candidato } j. \\ 0 & \text{Si no se localiza.} \end{cases}$$

Minimizar

$$(1) \quad \sum_j f_j X_j + \sum_i \sum_j \sum_m \sum_k c_{ijm}^k Y_{ijm}^k$$

Sujeto a:

$$(2) \quad \sum_i \sum_m \sum_k Y_{ijm}^k > MX_j \quad \forall j$$

$$(3) \quad \sum_j \sum_m Y_{ijm}^k \geq h_i^k \quad \forall i, k$$

$$(4) \quad \sum_i \sum_j Y_{ijm}^k \leq S_m^k \quad \forall m, k$$

$$(5) \quad Y_{ijm}^k \geq 0 \quad \forall i, j, m, k$$

$$(6) \quad X_j = 0,1 \quad \forall j$$

La función objetivo (1) minimiza la suma de los costos fijos de localización de almacenes y los costos variables. Hay que tener en cuenta que un gran número de componentes de los costos pueden ser incorporados en los costos variables c_{ijm}^k , incluyendo los costos unitarios de producción en la planta m , el costo de la unidad de transporte entre la planta m y un almacén en el sitio candidato j , alguna unidad de los costos variables de almacenamiento en el sitio j , y los costos de transporte entre el sitio j y el mercado i . Todo este costo unitario puede depender del producto en cuestión. La restricción (2) es el flujo a través de un almacén en el sitio de candidato j . Esta restricción establece que el flujo sólo puede ser positivo si se localiza un almacén en el sitio candidato j . Restricción (3) indican que la cantidad total de producto k que es enviado en el mercado i de todas las plantas y todos los almacenes debe ser mayor o igual a la demanda de producto k en el mercado i . Esto es simplemente una extensión multiproducto de las limitaciones de la demanda que se han

utilizado en la formulación del problema de transporte. Del mismo modo, la restricción (4) es la extensión de las limitaciones de la oferta multiproducto utilizados también en el problema de transporte. Por último, la restricción (5) y (6) son la no negatividad y las restricciones integradas, respectivamente.

2.8. Modelo de transporte

En el sentido obvio, el modelo tiene que ver con la determinación de un plan de costo mínimo para transportar una mercancía desde varias fuentes a varios destinos. El modelo se puede entender de manera directa para abarcar situaciones prácticas de las áreas de control del inventario, programación de empleo y asignación de personal, entre otros. El modelo de transporte es básicamente un programa lineal que se puede resolver a través del método simplex regular. Sin embargo, su estructura especial hace posible el desarrollo de un procedimiento de solución, conocido como técnica de transporte, que es más eficiente en términos de cálculo (Taha, 1995).

El modelo de transporte busca determinar un plan de transporte de una mercancía de varias fuentes a varios destinos. Entre los datos del modelo se cuentan:

1. Nivel de oferta en cada fuente y la cantidad de demanda en cada destino.
2. El costo de transporte unitario de la mercancía a cada destino.

Como sólo hay una mercancía, un destino puede recibir su demanda de una o más fuentes. El objetivo del modelo es el de determinar la cantidad que se enviará de cada fuente a cada destino, tal que se minimice el costo de transporte total. La suposición básica del modelo es que el costo del transporte en una ruta es directamente proporcional al número de unidades transportadas. La definición de “*unidad de transporte*” variará dependiendo de la “*mercancía*” que se transporte.

La figura 2.4 representa el modelo de transporte como una red con m fuentes y n destinos. Una fuente o un destino está representado por un nodo, el arco que une una fuente y un destino representa la ruta por la cual se transporta la mercancía. La cantidad de la oferta en

la fuente i es a_i , y la demanda en el destino j es b_j . El costo de transporte unitario entre la fuente i y el destino j es C_{ij} .

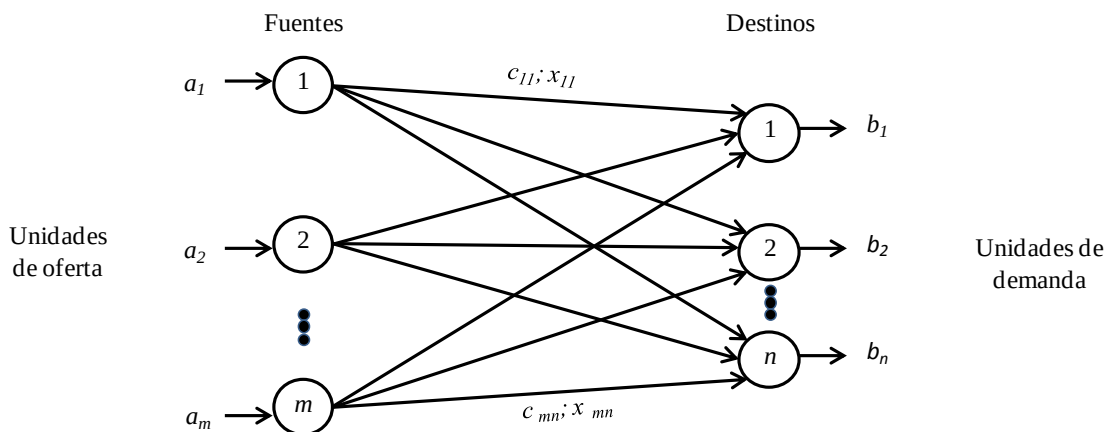


Figura 2.4. Modelo de transporte como una red de m fuentes y n destinos.

Fuente: Taha, 1995.

Si X_{ij} representa la cantidad transportada desde la fuente i al destino j , entonces el modelo general de programación lineal que representa el modelo de transporte es:

Minimizar

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \text{para todas las } i \text{ y } j$$

El primer conjunto de restricciones estipula que la suma de los envíos desde una fuente no puede ser mayor que su oferta; en forma análoga, el segundo conjunto requiere que la suma de los envíos a un destino satisfaga su demanda. El modelo que se acaba de escribir implica que la oferta total $\sum_{i=1}^m a_i$ debe ser cuando menos igual a la demanda total $\sum_{j=1}^n b_j$. Cuando la oferta total es igual a la demanda total ($\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$) la formulación resultante recibe el nombre de *modelo de transporte equilibrado*. Este difiere del modelo solo en el hecho de que todas las restricciones son ecuaciones, es decir:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

En el mundo real, no necesariamente la oferta debe ser igual a la demanda o mayor que ella. Sin embargo, un modelo de transporte siempre puede equilibrarse. El equilibrio, además de su utilidad en la representación a través de modelos de ciertas situaciones prácticas, es importante para el desarrollo del método de solución que explote completamente la estructura especial del modelo de transporte.

2.9. Método del gradiente o de Cauchy

El método del gradiente conocido también como método de Cauchy o del descenso más pronunciado, consiste en un algoritmo específico para la resolución de modelos de programación no lineal sin restricciones, perteneciente a la categoría de algoritmos

generales de descenso, donde la búsqueda de un mínimo está asociado a la resolución secuencial de una serie de problemas unidimensionales (Gómez y López, 2011).

Para Taha (1995), utiliza el gradiente de la función para encontrar el óptimo. Es un método para optimizar funciones continuas que son dos veces diferenciables. La idea general es generar puntos sucesivos comenzando en un punto inicial dado, en la dirección del aumento más rápido (maximización) de la función. Esta técnica se conoce como método de gradiente de la función en un punto es lo que indica la tasa más rápida de aumento. El procedimiento se basa en resolver ecuaciones simultáneas que representan la condición necesaria para optimalidad u optimidad, es decir $\nabla f(X) = 0$.

La terminación del método de gradiente se efectúa en el punto donde el vector gradiente se anula. Esta es solamente una condición necesaria de optimidad. Por consiguiente, se destaca que la optimidad no puede verificarse a menos que se conozca a priori que $f(X)$ es cóncava o convexa.

Suponiendo que $f(X)$ se maximiza. Sea X^0 el punto inicial desde el cual comienza el procedimiento y defina $\nabla f(X^k)$ como el gradiente de f en el punto k -ésimo X^k . La idea del método es determinar una trayectoria particular p a lo largo de la cual df/dp se maximiza en un punto dado. Este resultado se logra si se seleccionan puntos sucesivos X^k y X^{k+1} tales que

$$X^{k+1} = X^k + r^k \nabla f(X^k)$$

donde r^k es un parámetro llamado tamaño de paso óptimo.

El parámetro r^k se determina de modo que X^{k+1} resulta en la mejora más grande en f . En otras palabras, si una función $h(r)$ se define de manera que

$$h(r) = f[X^k + r^k \nabla f(X^k)]$$

r^k es el valor de r que maximiza $h(r)$. El procedimiento propuesto termina cuando dos puntos sucesivos de ensayo X^k y X^{k+1} , son aproximadamente iguales. Lo anterior equivale a tener

$$r^k \nabla f(X^k) \cong 0$$

Con la hipótesis de que $r^k \neq 0$, la cual siempre será cierta a menos que X_0 sea el óptimo de $f(X)$, esto es equivalente a la condición necesaria $\nabla f(X^k) = 0$.

2.10. Trabajos previos

Diferentes autores de cierta forma han trabajado en problemas de redes logísticas y en sistemas de distribución tal como Guelat, Florian y Crainic (1990) presentan un modelo para simular el transporte de mercancías de múltiples productos sobre una red multimodal.

Daskin (1995) discute los problemas del flujo de multiproductos y sistemas de distribución refiriéndose a los casos de estudios donde los tipos de demanda son múltiples. El ejemplo que menciona es la producción de diferentes tipos de automóviles que son producidos en 30 plantas ensambladoras.

Drezner (1995) nos menciona la localización del diseño de un sistema de distribución realizado a través de modelos formales de computadora, en un caso de distribución de redes. Este autor nos proporciona un algoritmo de computación programado en el software LINGO para la realización de este tipo de problemas. Ghiani et al. (2004), mencionan el caso de rediseñar la red de distribución de la empresa Dow Consumer Products que produce más de 80 productos de consumo común en toda Norte América.

Eskigun, Uzsoy, Preckel, Beaujon, Krishnan y Tew (2005) diseñan una red de cadena de suministro con el modo de selección, plazos de entrega y capacidades de centros de distribución de vehículos. Alarcón, Cruz, Bozá y Pérez (2007) proponen un marco conceptual mediante el cual se determinan los aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta para el modelado del proceso de planificación colaborativa en contextos de redes de suministro/distribución.

También Cheong, Bhatnagar y Graves Stephen (2004) realizan el diseño de una red logística examinando los beneficios de la segmentación de la demanda de acuerdo a la sensibilidad del plazo de entrega de los clientes. Pacherres, Villalva, Paredes y Martínez (2009) analizan toda la red de distribución nacional de medicamentos en la ciudad de Guayaquil Ecuador.

Gamboa, Aguilar, Osorio y Nuño (2011a) analizan la red de distribución de polietilenos, a través de un modelo de flujo de multiproductos y producción, el cual es resuelto mediante software comercial. Gamboa et al. (2011b) realizan el mismo análisis pero ahora aplicando el modelo de transporte.

Gamboa y Bandala (2009) llevan a cabo el análisis de la red de distribución de amoníaco en el norte y noroeste de México, aplican un modelo matemático de programación lineal basado en el problema de la p-mediana, para determinar la puesta en operación de los centros de distribución que la componen, así mismo se propone una alternativa para la calendarización de sus operaciones.

Mejía y Castro (2007) desarrolla un modelo de decisión basado en programación lineal, para establecer envío de productos y la optimización del proceso logístico en una empresa colombiana de alimentos refrigerados y congelados. Esta empresa es una de las más grandes del país en el sector y abastece el territorio nacional y exporta a países vecinos.

Nagurney et al. (2010) desarrollan un modelo de la red de la cadena de suministros en el caso de múltiples productos, con relevancia para la salud. Parra (1999) hace una aplicación de un modelo multiproductos para una gran empresa alimentaria española. El trabajo se realizó en la Universidad de Alcalá España. La aplicación se hace a través de SOT o Sistema de Optimización de Transporte, que permite resolver problemas de optimización de flujos de transporte para múltiples productos y periodos, combinado con la optimización de la producción.

Manimaran, Selladurai, y Parthiban (2004) proponen un modelo matemático y un procedimiento de solución que incorpora una metodología de recocido simulado para encontrar la red más cerca de una distribución óptima para este problema. El objetivo es descubrir el conjunto de plantas, centros de distribución y minoristas que se abran y determinar las cantidades que deben suministrarse, para que el costo total de la cadena de suministro de la red de distribución se reduzca al mínimo. El costo de la cadena de suministro incluye el costo de transporte para la distribución de los productos de una etapa a otra etapa y los gastos fijos y gastos variables para el mantenimiento de las plantas, centros de distribución y minoristas.

Paternina (2009) muestra una modelación de redes logísticas en Sinmaf APS que es un sistema que apoya el diseño y optimización de cadenas de suministros. El estudio del caso fue una red logística que cuenta con 5 centros de distribución y 5 plataformas logísticas asignadas a un Centro de distribución. Los centros de distribución se abastecen desde 7 orígenes de carga. La operación distribuye cerca de 1500 referencias a 350 poblaciones del país a través de 30 canales de cobertura.

Klose y Drexler (2004) en este artículo revisa algunos modelos de la localización continua, modelos de ubicación de red, y modelos de programación entera mixta, el autor formula brevemente modelos de redes de distribución mencionando al final el caso de estudio de una compañía de electrónico basada sobre la existencias de cuatro diferentes niveles: 1. Plantas de producción 2. Un centro de distribución 3. Cinco centros de distribución regionales 4. Más de 1100 clientes.

Manzini y Gebennini (2008) desarrollan y aplican modelos de optimización de programación para el diseño y gestión dinámica (es decir, multi-periodos) multi-etapas y problemas múltiples productos básicos. Los modelos propuestos usan de una programación lineal entera mixta para encontrar soluciones en las aplicaciones industriales (plantas de producción, centros de distribución y clientes).

Medina (2005) se enfoca en un problema de diseño de red multiproducto con incertidumbre en parámetros de entrada. Se considera incertidumbre en dos de los parámetros del problema: costos de ruteo y demandas. La incertidumbre se modela vía escenarios discretos. El problema de Diseño Robusto de Red Capacitada Multiproducto se modela a través de un programa entero mixto no lineal (MINLP, Mixed Integer Non-linear Program, por sus siglas en inglés). Desde el punto de vista de optimización, aún en los casos más sencillos, este problema es difícil de resolver ya que se ha demostrado que pertenece a la clase *NP-completo*.

Herrera y Oscar (2009) aborda el establecimiento de un modelo de programación lineal entera mixta, que consiste en la evaluación de dos o más instalaciones de almacenamiento para la determinación de la ubicación en una red de sistemas de abastecimientos, contando con dos o más centros de manufactura para suplir la demanda de un conjunto de clientes.

Se contemplan condiciones de manejo de la programación por metas determinándose diferentes objetivos relacionados con las capacidades de los centros de distribución y de los almacenes, además del cumplimiento de los requerimientos de demanda por parte de los clientes o redes de consumo. Este trabajo se desarrolló en el sistema de abastecimiento de alimentos al sur de la ciudad de Bogotá Colombia.

Canca, Palma, Zapata, y Campos (2007) propone un modelo matemático de optimización para la evaluación global desde un punto de vista centralizado, es decir como si existiese una autoridad central de la conveniencia al uso y cambio del modo de transporte en la distribución de mercancías en una red logística extensa. Se trata de una primera aproximación al análisis de la medición de la conveniencia del empleo de cadenas intermodales para el transporte de larga distancia. La metodología se concreta para el caso de una red simplificada que resume la red de transporte de mercancías. Los resultados de esta aproximación basada en la formulación y resolución de un modelo matemático de optimización se utilizan en una segunda etapa para la simulación de la red.

Viveros y Salazar (2010) presenta un modelo para la planificación de la producción en un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción de la industria, y fabricación de medios de acero para la molienda de minerales. A partir de un enfoque tradicional de planeación de la producción, se desarrolla un modelo de programación lineal, el cual está basado en el pronóstico de ventas, inventarios iniciales de productos terminados y materias primas, capacidad de producción instalada, como también de las rutas alternativas de producción de los productos. El modelo permite que el déficit de producto pueda suplirse en periodos posteriores cuando exista disponibilidad de recursos.

Centeno y Mendoza (2003) desarrollan un modelo de asignación intermodal-multiproducto para las operaciones de las cargas terrestres, usando el software llamado STAN (Strategic Transportation Analysis). El modelo permite realizar valoraciones de alternativas de modificación a los sistemas carretero y ferroviario, como pueden ser alteraciones en los flujos provenientes de variaciones en las demandas origen-destino, modificaciones a la infraestructura, avances en la tecnología, y reformas en el ambiente económico regulatorio.

Cobo y Gómez (2004) presentan un programa informático desarrollado para el tratamiento gráfico de problemas de redes de distribución y su modelización de forma automática. El programa ha sido desarrollado utilizando el lenguaje de programación Java, por lo que puede ser utilizado a través de Internet. Mediante una interface gráfica muy intuitiva, el usuario puede diseñar la red de transporte, estableciendo los valores de los diferentes parámetros del problema y variando determinadas características del mismo. Una vez diseñada la topología de la red, el software genera código fuente que puede ser utilizado directamente en programas tales como Lindo, Lingo, Gams.

2.11. Vista general de algunas aplicaciones prácticas de la optimización de redes

1. Diseño de redes de telecomunicación (redes de fibra óptica, de computadores, telefónicas, de televisión por cable).
2. Diseño de redes de transporte para minimizar el costo total de proporcionar las ligaduras (vías ferroviarias, carreteras).
3. Diseño de una red de líneas de transmisión de energía eléctrica de alto voltaje.
4. Diseño de una red de cableado en equipo eléctrico (como sistemas de computo) para minimizar la longitud total del cable.
5. Diseño de una red de tuberías para conectar varias localidades.
6. Diseño de una red de tuberías de gas natural mar adentro, que conecta fuentes del golfo de México con un punto de entrega en tierra con el objetivo de minimizar el costo de construcción.
7. Determinación de la ruta más corta que une dos ciudades en una red de caminos existentes.
8. Determinar la capacidad anual máxima en toneladas de una red de conductos de pasta aguada de carbón que enlaza minas carboneras.
9. Determinación del programa de costo mínimo de los campos petrolíferos a refinerías y finalmente a los campos de distribución. Se pueden enviar petróleo crudo y productos derivados de la gasolina en buques tanque, oleoductos y/o camiones.

CAPÍTULO 3. MARCO CONTEXTUAL

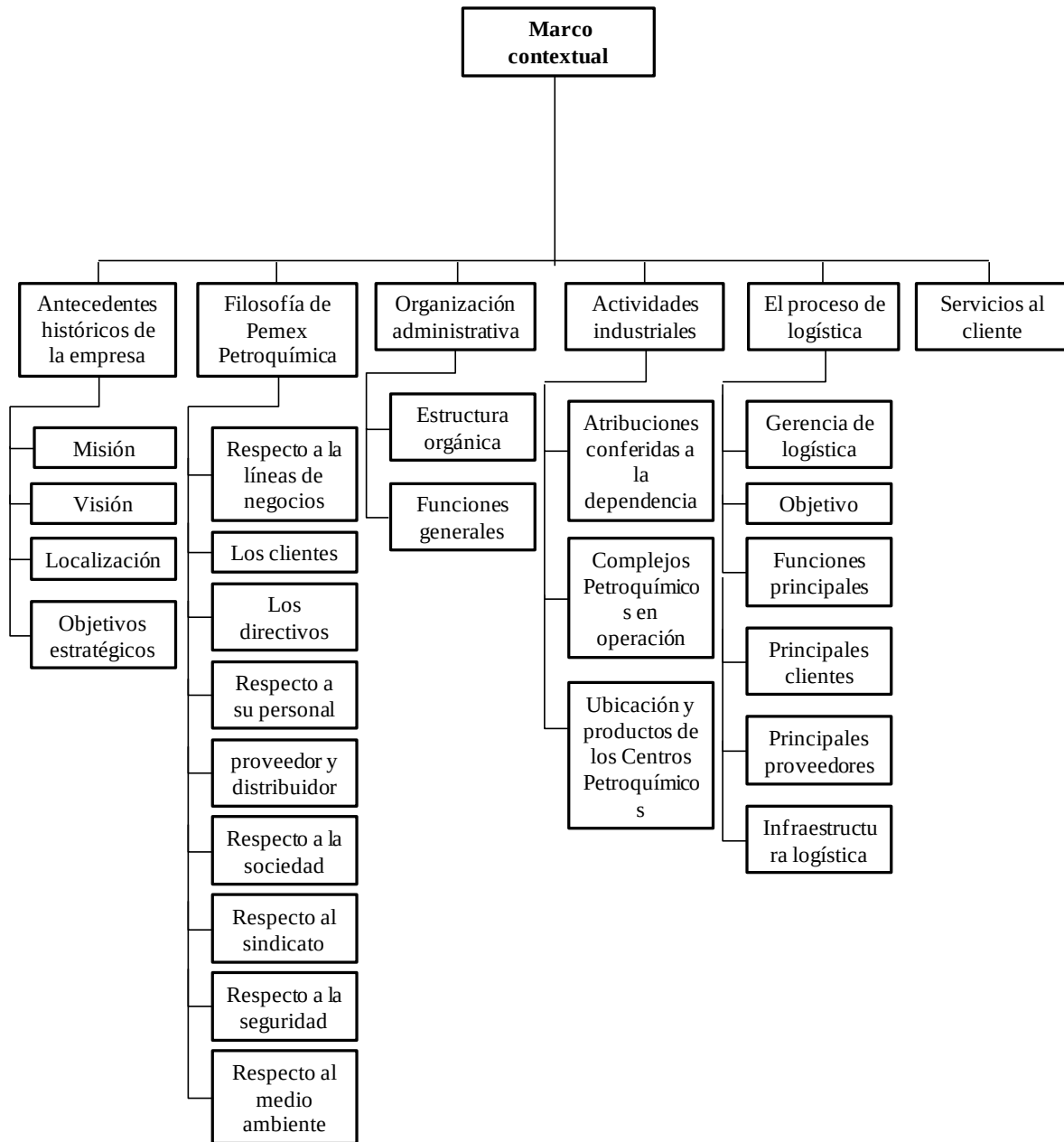


Figura 3.1. Contenido del capítulo 3. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Antecedentes históricos

Pemex Petroquímica es una empresa de reciente creación, aun cuando sus orígenes se remontan a los años cincuenta teniendo una rica tradición como parte integrante de la industria petrolera nacional. Hasta antes de la emisión de la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, las actividades relacionadas con la industria petroquímica básica y secundaria eran de la exclusiva competencia del estado.

El 16 de julio de 1992, se publica en el Diario Oficial, la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, que dio origen a la creación de Pemex Petroquímica como organismo descentralizado de carácter técnico, industrial y comercial, con personalidad jurídica y patrimonio propios, para operar en calidad de subsidiario con respecto a Petróleos Mexicanos. Pemex Petroquímica inició sus operaciones en la ciudad de México, D.F., el 1 de enero de 1993 y el 18 de marzo de ese mismo año, la Dirección General de Petróleos Mexicanos, con la aprobación del Ejecutivo Federal, anunció el traslado de la sede a la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. Dicho traslado se llevó a cabo durante el segundo semestre de 1993.

El 13 de octubre de 1996, el Ejecutivo Federal anunció la nueva estrategia para la industria petroquímica con el principal objetivo de expandir la capacidad de producción de petroquímicos, a través de la desincorporación del régimen del dominio público de la federación de los inmuebles y plantas industriales situados en los complejos y unidades de Cosoleacaque, Camargo, Tula, Escolín, Cangrejera, Morelos y Pajaritos. Posteriormente, con fecha 28 de febrero de 1997, se firma el convenio de sustitución patronal de cada empresa filial y a partir del 1 de marzo de 1997, inicia la vigencia del nuevo Contrato Colectivo de Trabajo (ver figura 3.2).

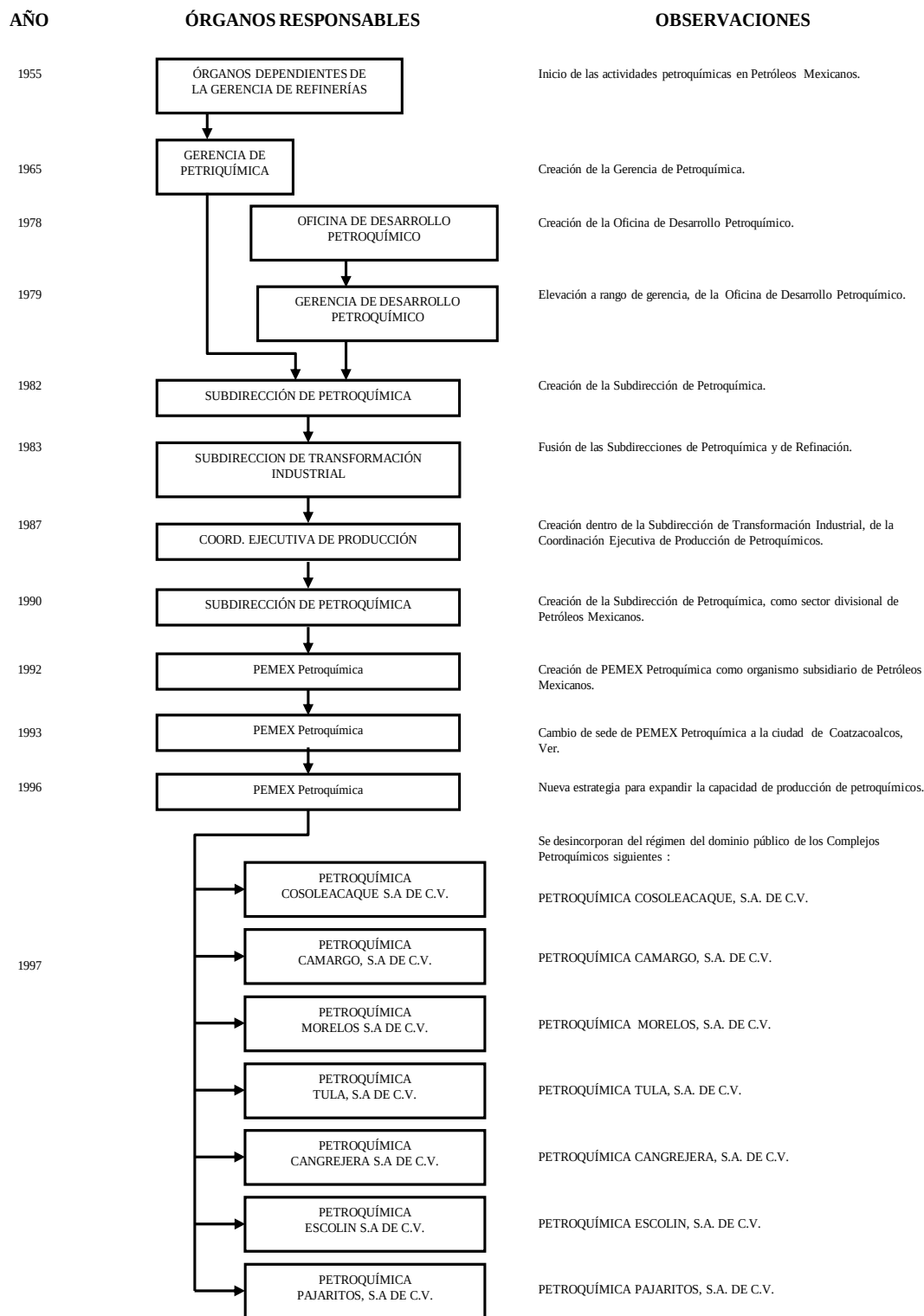


Figura 3.2. Evolución de la rama petroquímica en Petróleos Mexicanos. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.2. Misión

Somos una empresa que elabora, comercializa y distribuye productos petroquímicos selectos, en crecimiento continuo y maximizando su valor económico, con calidad, seguridad, respeto al medio ambiente, a su entorno social y promoviendo el desarrollo integral de su personal.

3.3. Visión

Ser una empresa sustentable, líder en el mercado nacional, que opere con estándares internacionales, rentable, segura, confiable y competitiva, reconocida por la calidad de sus productos; con una arraigada cultura de servicio al cliente, respetuosa del medio ambiente, cuidadosa de sus relaciones con la comunidad y promotora del desarrollo integral de su personal.

3.4. Localización de la empresa

Pemex Petroquímica se localiza en el municipio de Coatzacoalcos en la zona sur del estado de Veracruz, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra ubicada en Jacarandas No. 100 Colonia Rancho Alegre No 1, C.P. 96558 de Coatzacoalcos Veracruz, México.

3.5. Objetivos estratégicos

La efectividad y competitividad de Pemex Petroquímica, al ser una empresa paraestatal, pero a la vez sujeta a las condiciones del mercado, por ser una empresa productiva está en relación directa al grado de cumplimiento de su misión y de las estrategias que determine para obtener la visión proyectada.

De ello depende de su rentabilidad, calidad, seguridad y preservación del medio ambiente, ya que el primero representa el propósito legítimo de cualquier empresa de operar con utilidades y agregar valor sin importar si su naturaleza es pública o privada. El segundo es marcar y satisfacer las necesidades de sus clientes, razón de ser de la empresa para lo cual se requieren productos de calidad, buenos precios y servicios. El tercero involucra la eliminación de riesgos para los trabajadores, instalaciones y comunidad, aprovechar al

máximo nuestros recursos, sin emisiones al medio ambiente, por ello se han fijado los siguientes objetivos estratégicos:

- Maximizar la rentabilidad de Pemex petroquímica.
- Satisfacer las necesidades de clientes externos e internos.
- Mantener la integridad de las personas e instalaciones, preservando el medio ambiente.

3.6. Filosofía de Pemex Petroquímica

3.6.1. Respecto a las líneas de negocios

Pemex Petroquímica tiene como objetivo constituirse en una empresa líder en calidad y competitividad a nivel mundial. Con tal propósito, debe orientar su actividad industrial hacia aquellas líneas de negocios cuyos productos tengan una mayor demanda en el mercado y cuyos procesos permitan operar con altos índices de productividad, calidad y rentabilidad, tomando como parámetros de referencia los precios y estándares de calidad internacionales.

3.6.2. Respecto a los clientes

Nuestros clientes son la razón de ser de nuestra empresa, por ello nuestros productos invariablemente deben tender a satisfacer las necesidades y expectativas del cliente en lo que se refiere a calidad, oportunidad, precio y servicio, a fin de mantener su confianza y lealtad.

3.6.3. Respecto a los directivos

Nuestros directivos deben ser, a la vez administradores y líderes de empresa; con una clara visión de negocios orientada a resultados; con iniciativa para promover y conducir el cambio con talento; para detectar y aprovechar áreas de oportunidad; con capacidad para enfrentar retos y resolver problemas; y con calidad y sensibilidad humanas para dirigir al personal, motivarlo, desarrollarlo y estimular sus logros en el trabajo.

3.6.4. Respecto a su personal

La calidad de nuestra empresa se sustenta fundamentalmente en la calidad de nuestro personal. Es por ello que Pemex Petroquímica promueve su constante superación técnica, profesional y humana; alienta su iniciativa y creatividad en el trabajo; propicia su desarrollo dentro de la organización y, sobre todo, cultiva en ellos un espíritu de servicio y lealtad al cliente, a la empresa y al país.

3.6.5. Respecto a sus proveedores y distribuidores

Los proveedores y distribuidores de Pemex Petroquímica no son considerados como elementos ajenos sino como importantes eslabones de nuestras cadenas de producción y ventas. En tal virtud, deben compartir con nosotros la responsabilidad de ofrecer productos y servicios de la mejor calidad a nuestros clientes, de acuerdo a las normas y políticas establecidas por la institución.

3.6.6. Respecto a la sociedad

Pemex Petroquímica es consciente de su responsabilidad social ante el país. En consecuencia: respeta y evita el deterioro de los ecosistemas; procura el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y contribuye al progreso económico, social y cultural de la población en las regiones donde opera.

3.6.7. Respecto al sindicato

Nosotros identificamos los objetivos comunes, con el fin de alcanzarlos exitosamente con compromiso, justicia y trabajo en equipo, favoreciendo una relación armónica con el sindicato propiciando un clima laboral saludable, así como promover una comunicación transparente, clara y oportuna; estableciendo relaciones de confianza mutua, equidad y justicia, con la finalidad de fortalecer con calidad y productividad a la empresa.

3.6.8. Respecto a la seguridad

Nosotros estamos consientes de que lo más importante es cuidar la salud y la seguridad de nuestros compañeros, coadyuvando con la participación en actividades relacionadas con la salud y la seguridad, respetando y cuidando nuestras instalaciones y equipos, así como el

establecimiento de mecanismos que garanticen la seguridad del personal y la operación de la industria, promoviendo la imagen de Pemex como una empresa comprometida con la seguridad y el medio ambiente.

3.6.9. Respecto al medio ambiente

Estamos conscientes que el respetar y mejorar el medio ambiente, es parte primordial de una industria sana y preocupada por el entorno ecológico, por tal motivo buscamos y/o adoptamos, siempre que sea posible, nuevas tecnologías ambientales que respeten los recursos naturales, con la finalidad de optimizar los recursos, reciclarlos y evitar desperdicios, con estas medidas se concientiza siempre que sea posible, a los compañeros, familias y a la ciudadanía en el cuidado del entorno ecológico.

3.7. Organización administrativa.

3.7.1. Estructura orgánica

Pemex Petroquímica se integra como tenedora de acciones de las empresas filiales, con los siguientes órganos principales (ver figura 3.3). El consejo de administración está integrado por ocho miembros y sus respectivos suplentes, los consejos titulares son: cuatro representantes del gobierno federal designados por el ejecutivo federal, los 3 directores generales de Pemex Exploración y Producción, Pemex Refinación, Pemex Gas, Petroquímica Básica y el director general de Petróleos Mexicanos, quien además funge como presidente de dicho consejo.

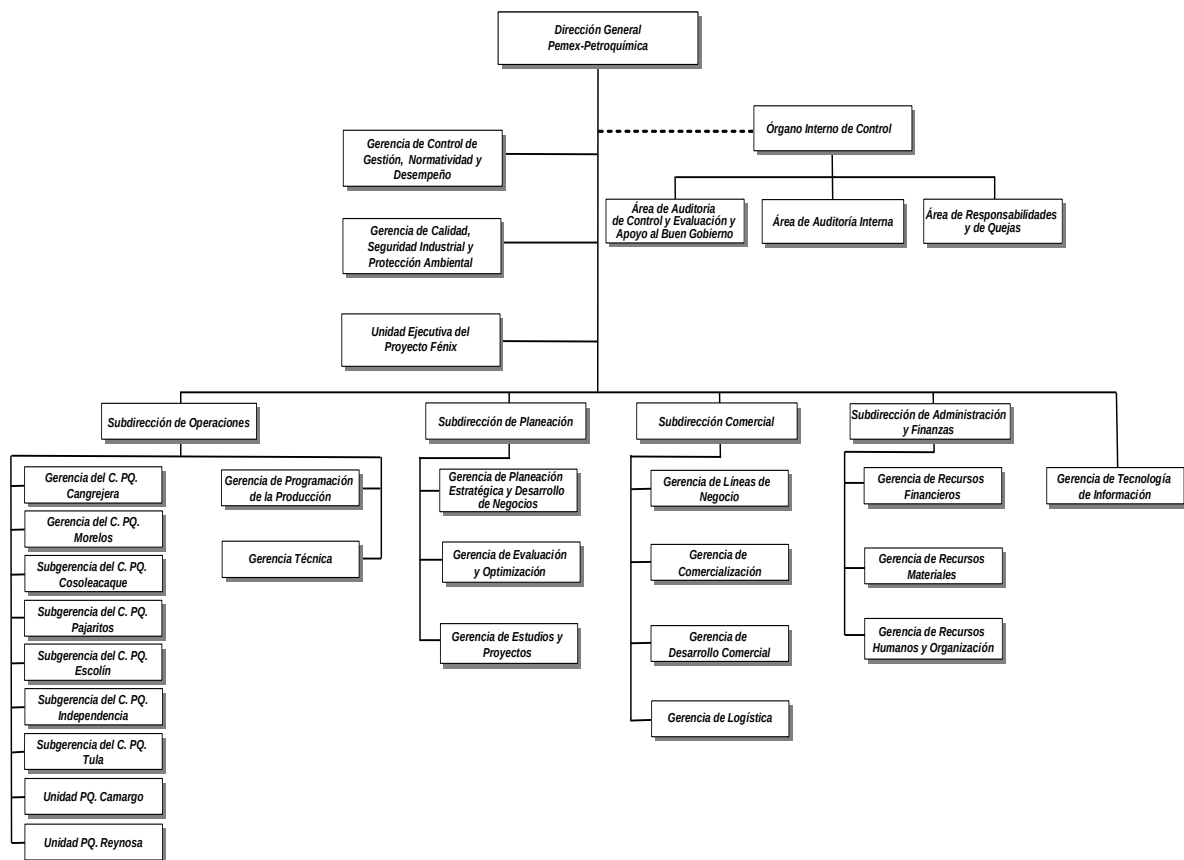


Figura 3.3. Estructura orgánica de Pemex Petroquímica. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.7.2. Funciones generales

Consejo de administración. Aprobar los programas anuales de operación, inversión y funcionamiento del organismo; los programas de inversión externa, la creación, liquidación, enajenación o fusión de empresas subsidiarias o filiales, así como la emisión de bonos, contratación de empréstitos y las erogaciones extraordinarias que afecten el patrimonio del organismo.

Dirección general. Administrar y representar al organismo; promover la ejecución de los acuerdos y presentar para su aprobación los programas-presupuesto de operación y los planes de desarrollo al Consejo de Administración; fijar normas de organización y funcionamiento.

Subdirección de planeación. Formular los escenarios de Planeación y establecer el plan de negocios y los programas estratégicos de Pemex Petroquímica y sus centros de trabajo.

Subdirección comercial. Mantener o mejorar el posicionamiento en el mercado nacional de Pemex Petroquímica y sus centros de trabajo.

Subdirección de administración y finanzas. Establecer estrategias y políticas administrativas y económico-financieras, para lograr el aprovechamiento de los recursos humanos, materiales, financieros del organismo.

Subdirección de operaciones. Optimizar la planta productiva del organismo, asegurando la elaboración de productos petroquímicos dentro de esquemas de rentabilidad, competitividad y racionalidad de recursos.

Gerencia de calidad, seguridad industrial y protección ambiental. Coordinar la observancia de la legislación en materia de seguridad industrial, salud ocupacional y protección ambiental, asegurando la calidad de los productos.

Órgano interno de control. Realizar auditorías, atender las inconformidades, quejas, denuncias y vigilar que los actos del personal se apeguen a lo dispuesto en la Ley Federal de responsabilidades de los servidores públicos.

Gerencia de control de gestión, normatividad y desempeño. Consolidar la información necesaria y realizar la gestión correspondiente para atender con oportunidad, calidad y transparencia, los compromisos de gestión y programas federales, sectoriales e institucionales de la Dirección General de Pemex Petroquímica.

Gerencia de tecnologías de información. Establecer las bases para la elaboración del Plan Estratégico de Tecnología de Información y mantenerlo alineado con el Plan de Negocios del Organismo; así como, administrar los recursos en materia de Tecnología de Información.

Unidad del proyecto “fénix”. Identificar oportunidades de inversión conjunta entre Pemex Petroquímica y el sector privado nacional e internacional y efectuar su promoción ante la comunidad petroquímica internacional para la formación de alianzas estratégicas; seleccionando a los socios estratégicos idóneos, bajo criterios de transparencia, ética y equidad en dicho proceso.

3.8. Actividades industriales a cargo del organismo

3.8.1. Atribuciones conferidas a la dependencia

Pemex Petroquímica es un Organismo Descentralizado de la Administración Pública Federal de carácter técnico, industrial y comercial con personalidad jurídica y patrimonio propios, que tiene por objeto de acuerdo la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, inciso IV.- Los procesos industriales petroquímicos cuyos productos no forman parte de la industria petroquímica básica, así como su almacenamiento, distribución y comercialización.

3.8.2. Complejos Petroquímicos en operación

Las actividades de producción se realizan en los siguientes Centros de Trabajo:

3.8.2.1. Complejo Petroquímico Cangrejera

Fue creada con la finalidad de alcanzar la autosuficiencia en productos petroquímicos básicos y no básicos; procesadora y transformadora de hidrocarburos líquidos y derivados del Etileno. Las actividades de operación de sus instalaciones iniciaron en 1980. Este complejo, el mayor de su tipo en Latinoamérica, cuenta con plantas cuya capacidad de producción se ubica a la altura de las más grandes del mundo. Los procesos de este Complejo se dividen en tres áreas principales: Área fraccionadora de hidrocarburos, donde se obtienen el etano, el propano, el butano y las naftas; Área de Etileno el cual sirve de materia prima para la elaboración de Oxido de Etileno, Polietileno de baja densidad, Estírenos y Etilbenceno; por último el área de Aromáticos, donde se obtienen principalmente el Paraxileno, Xileno, Benceno, Tolueno y Pentanos entre otros. La capacidad de producción del Complejo rebasa los 4 millones de toneladas de materias primas para autoconsumo, así como para el suministro de las empresas petroquímicas privadas ubicadas en la región y en otras entidades del país (ver figura 3.4).

Ampliaciones:

Se incrementó la capacidad de producción de Etileno de 500 a 600 MTA (Miles de toneladas anuales). En 2004 se incrementó la producción de PEBD (Polietilenos de baja densidad) DE 240 A 315 MTA.



Figura 3.4. Complejo Petroquímico Cangrejera. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.2. Complejo Petroquímico Cosoleacaque

Sus productos son Amoniaco y Anhídrido Carbónico, que se utilizan como materias primas en sectores industriales tales como: fertilizantes, explosivos, fibras sintéticas y bebidas gaseosas o refrescos. El Complejo Petroquímico Cosoleacaque, ocupa una superficie de 100 hectáreas y se localiza en Cosoleacaque Veracruz. Su ubicación estratégica le permite minimizar los costos para la venta de producto tanto para el golfo de México como para el pacífico sin pasar por el canal de Panamá, para lo cual se tienen instalados ductos para enviar el producto a ambas costas del país.

Cuenta también con centros de distribución en Guaymas Sonora, Topolobampo Sinaloa, San Martín Texmelucan Puebla y Lázaro Cárdenas Michoacán. Actualmente se cuenta con capacidad instalada de 4 plantas; hoy operan dos de ellas, la 6 y la 7. Como producto secundario se genera Bióxido de Carbono para la industria refresquera y química. La entrega de los productos se hace por ducto, auto tanque, carro tanque y barco (ver figura 3.5).



Figura 3.5. Complejo Petroquímico Cosoleacaque. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.3. Complejo Petroquímico Escolín

Elabora y comercializa polietileno de baja densidad. Desde su origen en 1971 se convirtió en uno de los centros industriales más importantes de la región norte del estado de Veracruz, se ubica a 4 kilómetros de la ciudad de Poza Rica Veracruz, sobre una extensión de 60 hectáreas, con una producción de polietileno de baja densidad de 55 mil toneladas por año. Actualmente enfrenta una fuerte problemática por desabasto de etileno, el cual es la materia prima principal de este centro productor (ver figura 3.6).



Figura 3.6. Complejo Petroquímico Escolín. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.4. Complejo Petroquímico Independencia

El Complejo Petroquímico Independencia del Organismo Subsidiario Pemex Petroquímica, es el único productor nacional de Metanol, su capacidad instalada es de 205 MTA. Su misión estratégica ha sido satisfacer la demanda de productos derivados del petróleo en la zona del altiplano del país. Se encuentra localizado en el estado de Puebla en Santa María Moyotzingo perteneciente al municipio de San Martín Texmelucan, en un área total ocupada de 106 hectáreas. En julio de 2005 se optó por dejar las 2 plantas fuera de operación por el alto costo del gas natural, pero en enero de 2006 se tuvieron condiciones propicias para que reanudara operaciones la planta numero 2 (ver figura 3.7).



Figura 3.7. Complejo Petroquímico Independencia. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.5. Complejo Petroquímico Pajaritos

Complejo pionero en la industria petroquímica en México inició operaciones en agosto de 1967. Es la única empresa en México que produce el Monómero del Cloruro de Vinilo teniendo una cobertura del 35% de la demanda nacional. Actualmente cuenta con una capacidad instalada anual distribuida de la siguiente manera:

Monómero de Cloruro de: Vinilo 405 MTA, Etileno 180 MTA, Acido Muriático 20 MTA. Este Centro de Trabajo consta de una superficie de 99 hectáreas (ver figura 3.8).



Figura 3.8. Complejo Petroquímico Pajaritos. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.6. Complejo Petroquímico Tula

Ubicada en el kilómetro 23.5 de la carretera Jorobas-Tula en el Municipio de Tula de Allende, Hidalgo, inició operaciones en 1979 como Unidad Petroquímica Tula. Este Centro de Trabajo consta de una superficie de 36 hectáreas, en la que se ubica una planta de Acrilonitrilo, sus servicios auxiliares, sus áreas de administración, talleres y almacenes. Está diseñada para producir 50 mil toneladas de Acrilonitrilo y 6 mil toneladas de Ácido Cianhídrico anuales, utilizando el proceso catalítico de la Standard Oil Company SOHIO, mediante propileno, amoníaco y aire como materias primas, proceso que se divide en: reacción, recuperación, purificación, almacenamiento y tratamiento de desechos. Asimismo, cuenta con su planta de servicios auxiliares con una unidad desmineralizadora de agua, dos calderas de vapor y una torre de enfriamiento (ver figura 3.9).



Figura 3.9. Complejo Petroquímico Tula. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.2.7. Complejo Petroquímico Morelos

Orientada fundamentalmente a productos que la petroquímica mexicana requiere como materia prima para la industria procesadora y transformadora de fibras sintéticas, plastificantes, resinas sintéticas, elastómeros y solventes. Es una de las empresas más importantes en América Latina dentro del ramo. Inició operaciones en julio de 1988. Actualmente está conformada por nueve plantas de proceso, así como diversas instalaciones de integración, servicios auxiliares, apoyo y protección ambiental las cuales ocupan un total de 475 hectáreas (ver figura 3.10).

Morelos es el último de los grandes Complejos construidos en la región del sureste, en donde se producen cerca de 2 millones de toneladas de productos como el Oxido de Etileno, Glicoles Etilénicos, Acrilonitrilo, Propileno, Polietileno de alta densidad y Polietileno lineal de baja densidad.

Ampliaciones:

- La Planta de Oxido de Etileno de 200 a 300 MTA.
- La Planta de Polietileno Swing: 300 MTA (Ver figura 3.11).



Figura 3.10. Complejo Petroquímico Morelos. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

Planta swing

- Tecnología: “UNIPOL PE Process” de Univation Technologies (USA), Joint Venture de Exxon Mobil Chemical y Dow Chemical
- Constructor: MITSUBISHI-DIAMOND
- 300,000 toneladas/año
- Rango de densidad: 910 a 970 Kg/m³
- Catalizadores convencionales titanio-cromo
- Catalizadores base Metaloceno
- 5 grados de polietileno inicialmente
- Tipo de proyecto: “Turn Key” (Llave en Mano)

Tipos de polietileno:

- Polietileno de alta densidad.
- Polietileno de media densidad.
- Polietileno lineal de baja densidad.
- Polietileno lineal de baja densidad base Metaloceno.



Figura 3.11. Planta Swing del Complejo Petroquímico Morelos.

Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

3.8.3. Ubicación y productos de los centros petroquímicos

Las ubicaciones de los Centros Petroquímicos que se encuentran en operación se muestran en la figura 3.12.



Figura 3.12. Ubicación de centros petroquímicos. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

La tabla 3.1 nos muestra un resumen de los productos que se producen en Pemex Petroquímica.

Tabla 3.1. Productos por cada complejo petroquímico. Fuente: Pemex Petroquímica, 2007.

Complejo petroquímico	Productos
Cangrejera	Etileno, Polietileno de Baja Densidad, Estireno, Oxido de Etileno, Tolueno, Xilenos, Benceno, Butadieno, Propileno, Estireno.
Morelos	Etileno, Oxido de Etileno, Mono Etilen Glicol grado fibra, Butadieno, Acrilonitrilo, Propileno, Polietileno Alta Densidad, Polietileno Baja Densidad Lineal.
Pajaritos	Etileno, Dicloroetano, Cloruro de Vinilo, Acido muriático.
Cosoleacaque	Amoniaco y Bióxido de Carbono.
Independencia	Metanol, Anhídrido Carbónico, Especialidad Químicas
Tula	Acrilonitrilo
Escolín	Polietileno de Baja Densidad

La tabla 3.2 nos muestra una descripción de los principales productos de la cadena de aromáticos, usuarios y uso final teniendo como materia prima a las naftas o gasolina.

Tabla 3.2. Principales productos de la cadena de aromáticos. Principal materia prima: naftas (gasolina). Fuente: Pemex Petroquímica, 2009.

Productos	Usuarios	Uso final
Paraxileno Benceno Tolueno Ortoxileno	Fabricantes de: • Pinturas y solventes • Farmacéutica • Extracción de aceites. • Plásticos PET (Tereftalato de polietileno) • Resinas poliéster • Adhesivos.	• Insecticidas, pinturas, cosméticos, detergentes. • Automotriz, serigrafía, solventes, explosivos. • Envases de plásticos PET • Fibras poliéster para telas • Plásticos reforzados, revestimientos.
Estireno	• Poliestireno cristal • Poliestireno expandible • Poliestireno alto impacto • ABS (Acrilonitrilo, Butadieno, Estireno), SAN (Copolímero de Estireno y Acrilonitrilo)	• Empaques • Unicel • Juguetes • Tableros para automóviles • Llantas

La tabla 3.3 nos muestra una descripción de los principales productos del Etileno, usuarios y uso final teniendo como materia prima al etano.

Tabla 3.3. Principales productos del Etileno. Principal materia prima: etano.

Fuente: Pemex Petroquímica, 2009.

Productos	Usuarios	Uso final
Polietileno • Baja Densidad • Alta Densidad • Lineal de Baja Densidad	Procesadores industriales mediante los procesos de: • Inyección • Soplado • Extrusión	• Envases, juguetes, artículos del hogar, componentes automotrices, laminación plástica • Bolsas, envases, recubrimientos. • Cables
Óxido de Etileno Monoetilenglicol	Procesadores industriales: • Etoxilados • Glicoles • Surfactantes • Poliéster	• Detergentes, shampoo, cosméticos. • Envases de plásticos PET • Fibras poliéster para telas • Anticongelantes.
Monocloruro de Vinilo (VCM)	• Fabricantes de Plásticos	• Cables, perfiles, tubería, pisos, juguetes.

La tabla 3.4 nos muestra una descripción de los principales productos de la cadena del Metano, usuarios y uso final teniendo como principal materia prima el Gas natural.

Tabla 3.4. Principales productos de la cadena del Metano. Principal materia prima: Gas natural.

Fuente: Pemex Petroquímica, 2009.

Productos	Usuarios	Uso final
Metanol	Procesadores industriales: • Gasolinas automotrices • Fabricantes de pinturas y recubrimientos • Fabricantes de resinas	• Gasolinas oxigenadas para automóviles. • Pinturas automotrices • Pinturas y barnices en general • Solventes y adhesivos • Tableros de madera aglomerada
Amoniaco	• Fabricantes de fertilizantes • Agricultores para la fertilización directa • Fabricantes de insumos intermedios para fibras textiles y plásticos.	• Fertilizantes • Refrigerantes • Fibras acrílicas • Plásticos

3.9. El proceso de logística

El proceso de logística de Pemex Petroquímica, está alineado al proceso de: logística, transporte y distribución. Todos los procesos están documentados en el sistema de Administración por Calidad, que incluye políticas, lineamientos, manuales, criterios, procedimientos e instructivos, entre otros documentos. Los procesos están documentados en el sistema llamado ARIS. La operación se realiza a través del ERP Oracle PPQ11i,

desde la elaboración de contratos, la colocación de pedidos en línea, el seguimiento del programa de embarques, la documentación de los embarques y la emisión de las facturas. El manejo de productos es multientrega. Se tienen 12 CEA's ó Centros Embarcadores Autorizados, 2 terminales externas, 7 centros embarcadores y 4 Terminales de otras subsidiarias de Pemex. Cuenta con infraestructura para la entrega de producto en diferentes modalidades: Autotanques, Autotolvas, Ferrotanques, Ferrotolvas, Ductos y Buquetanques.

3.9.1. Gerencia de logística

Asegura la entrega oportuna de productos petroquímicos a los clientes, al supervisar e integrar el programa operativo de distribución y suministro.

3.9.2. Objetivo

Coordinar el cumplimiento de requisitos del cliente, asegurando la entrega oportuna de productos petroquímicos, al supervisar e integrar el programa operativo de distribución y suministro.

3.9.3. Funciones principales de la gerencia de logística

- Integrar el programa operativo de distribución y suministro de productos petroquímicos y coordinar y supervisar la entrega a clientes.
- Administrar los contratos de guarda y manejo con organismos y terceros.
- Coordinar los envíos de productos finales entre los centros petroquímicos de negocios y los prestadores de servicio de guarda y manejo para su comercialización.
- Asegurar el cumplimiento de las especificaciones pactadas con el cliente, a través de certificado de calidad.
- Coordinar la realización de los programas de importación y exportación de productos petroquímicos.
- Coordinar la contratación de servicios autotanques y carrotanques para transportar materias primas e insumos de los organismos y terceros a los centros de producción.

- Planear y coordinar la contratación de servicios autotanques, carrotranques y buquetanques para transportar los productos a comercializar a centros de distribución y clientes.
- Coordinar la promoción y participación en proyectos de ampliación y optimización de la infraestructura para almacenamiento, manejo y transporte por ducto de productos.
- Coordinar la atención de reclamos por calidad y cantidad.

La figura 3.13 nos muestra un esquema de la comercialización de los productos que se realiza en Pemex Petroquímica.

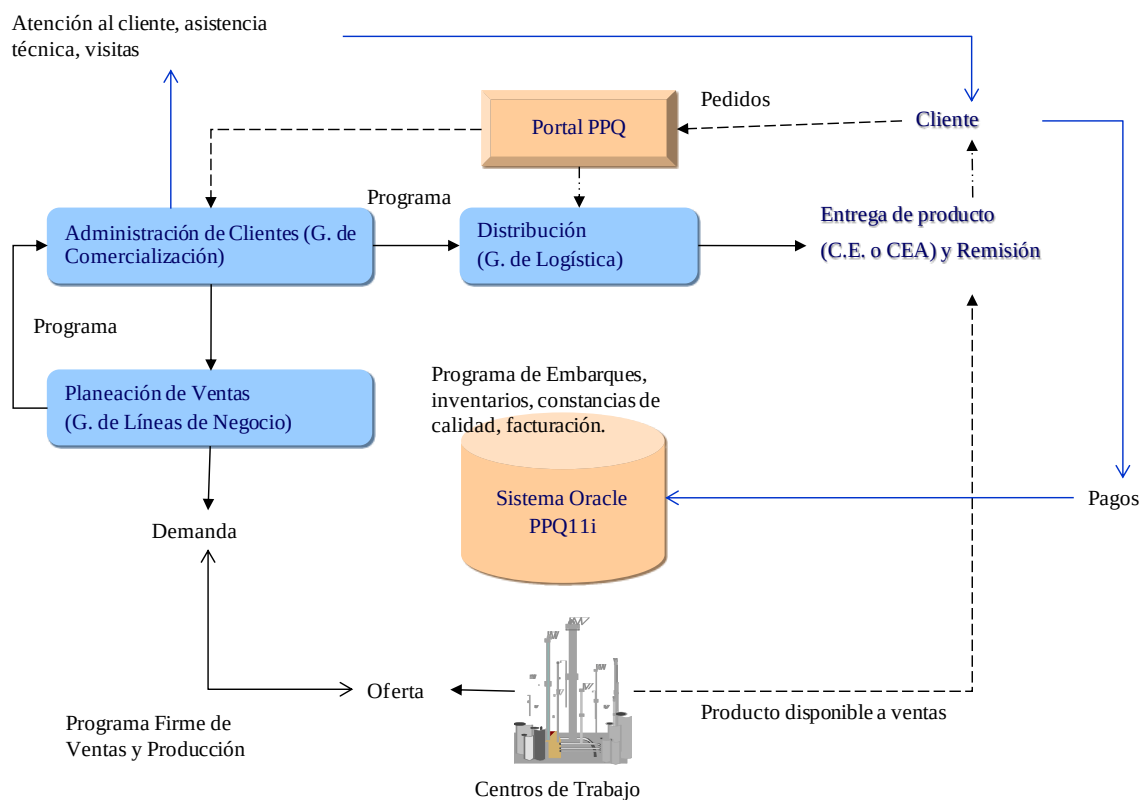


Figura 3.13. Esquema de comercialización de los productos. Fuente: Pemex Petroquímica, 2009.

3.9.4. Principales clientes

- Agrogen, S.A. de C.V.
- Celulosa y Derivados, S.A. de C.V.
- Cryoinfra, S.A. de C.V.
- Distribuidora Don Ramis, S.A. de C.V.
- Dow Internacional Mexicana, S.A. de C.V.
- Fertirey, S.A. de C.V.
- Grupo Celanese, S.A.
- Grupo Primex, S.A. de C.V.
- Industrias Derivadas del Etileno, S.A.
- Integradora Aprodifer, S.A. de C.V.
- Industrial Mafra, S.A. de C.V.
- Masagro S.A. de C.V.
- Negociación Alvi, S.A. de C.V.
- Policyd, S.A. de C.V.
- Polímero y Materias Primas Internacionales, S.A. de C.V.
- Polímeros Nacionales, S.A. de C.V.
- Polioles, S.A. de C.V.
- Polyresinas, S.A. de C.V.
- Praxair México S.A. de C.V.
- Resirene, S.A. de C.V.
- Solquim, S.A. de C.V.
- Tereftalatos Mexicanos, S.A. de C.V.
- Univex, S.A.

3.9.5. Principales proveedores

- Agrogen, S.A. de C.V.
- Arkema Iniciadores S.A. de C.V.
- Cloro de Tehuantepec, S.A. de C.V.

- Compañía Mexicana de Aviación, S.A. de C.V.
- Cryoinfra, S. A. de C. V.
- Ferrosur, S.A. de C.V.
- Industria Química del Istmo, S.A. de C.V.
- Pemex Refinación.
- PMI Comercio Internacional, S.A. de C.V.
- Quimae, S.A. de C.V.
- Tecnología de Envasado Industrial, S.A. de C.V.

3.9.6. Infraestructura logística

- 11 puntos de venta, con 7 empresas de Distribución:
- Zona Metropolitana: (4 CEA).
 - ✓ Distrito Federal.
 - ✓ Estado de México.
 - ✓ Tizayuca, Hidalgo.
- Guadalajara (3 CEA).
- Monterrey (1 CEA).
- Coatzacoalcos (2 CEA).
- San Luis Potosí (1 CEA).
- Veracruz (Internacional).
- Mérida en evaluación.

La figura 3.14 nos muestra la ubicación de algunos Centros Embarcadores Autorizados.



Figura 3.14. Ubicación de algunos Centros Embarcadores Autorizados. Fuente: Pemex Petroquímica, 2009.

3.9.6.1. Centros embarcadores

1. Bulkmatic Tlalnepantla.
2. Bulkmatic Monterrey.
3. Bulkmatic Guadalajara.
4. Distribuidora de servicios logísticos, Tizayuca de Hidalgo.
5. Horco Guadalajara.
6. Horco Huehuetoca.
7. Q. logistics Guadalajara.
8. Q. logistics Coatzacoalcos.
9. Q. logistics Pantaco.
10. Kato en Natie Cd. de México.
11. Transpolimer, San Luis Potosí.
12. Transilmex, Coatzacoalcos.
13. Centro embarcador CPQ. Cangrejera.

14. Centro embarcador CPQ. Morelos.
15. Centro embarcador CPQ. Pajaritos.
16. Centro embarcador CPQ. Cosoleacaque.
17. Centro embarcador CPQ. Independencia.
18. Centro embarcador Tula.
19. Centro embarcador Escolín (actualmente fuera de Operación).

3.9.6.2. Terminales

1. TAD Pajaritos.
2. Terminal marítima Pajaritos.
3. Terminal refrigerada Pajaritos.
4. TAD Topolobampo.
5. TAD Guaymas.
6. TAD Salina Cruz.
7. Terminal vopak Altamira.
8. Terminal otm, Altamira.

3.9.6.3. Capacidad de vías en la zona

- Patio vías Complejo Morelos capacidad 120 ferrotolvas.
- Patio vías Complejo Cangrejera capacidad 16 ferrotolvas.
- Patio vías Ladero bajo puente capacidad 85 carrotanques o 70 ferrotolvas vacías.
- Patio vías Estación Coatzacoalcos capacidad 800 equipos vacíos y cargados para toda la zona.
- Patio vías Estación Medias Aguas 200 equipos vacios y cargados para toda la zona.

3.9.6.4. Vías de exportaciones

- Ferro buque, API (Administración Portuaria Integral) Coatzacoalcos Ver.
- Por contenedores, API (Veracruz, Salina Cruz Oaxaca., Lázaro Cárdenas Michoacán, Manzanillo Colima).

3.9.6.5. Infraestructura para materias primas

- Terminal Refrigerada Pajaritos, con tanques de almacenamiento de Etileno de 10,000 toneladas.
- Terminal Marítima Pajaritos, donde se reciben por buquetanques importaciones de 1-hexeno, 1 buteno (muelle 9), y para importar o exportar Etileno a través del muelle No. 1.
- Complejo Morelos, 1 tanque para 1 hexeno de 1800 toneladas, 1 tanque para 1 buteno de 2700 toneladas.

3.9.6.6. Ductos

- Anillo de etileno, comunica a los centros productores de Cangrejera, Morelos y Pajaritos y la Terminal Refrigerada Pajaritos.

3.9.6.7. Transporte

- Vía ferrocarril (ferrotolvas).
- Vía carretera (autotolvas, cajas y contenedores).

3.9.6.8. Riesgos de infraestructura con Ferrosur

- Puente Coatzacoalcos 1, cuando realizan mantenimiento se condiciona el transito, única vía de conexión al Centro- Norte del país.
- Baja Capacidad de vías para almacenamiento de ferrotolvas en la zona.
- Temporada de lluvias, ocasiona deslaves y continuas interrupciones del paso por inundaciones hacia el centro-norte del país.

3.10. Servicios al cliente

Servicios al cliente a través del Portal de Internet de Pemex Petroquímica.

- Elaboración de pedidos en línea.
- Visualización del programa de embarques por cliente.
- Monitoreo en tiempo real de sus equipos en el proceso de carga.
- Visualización de embarques, facturas y constancias de calidad.

- Seguimiento de compras realizadas, facturas pendientes de pago, facturas por vencer, facturas vencidas.
- Situación crediticia. Monto de línea de crédito autorizada, crédito disponible.
- Histórico de compras realizadas.
- En su caso, presentación de quejas a través del portal.

Información disponible en el Portal de Internet.

- Productos, características, especificaciones, aplicaciones más comunes.
- Como hacer negocios, contactos para hacer negocios.
- Información sobre los Centros Embarcadores Autorizados.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

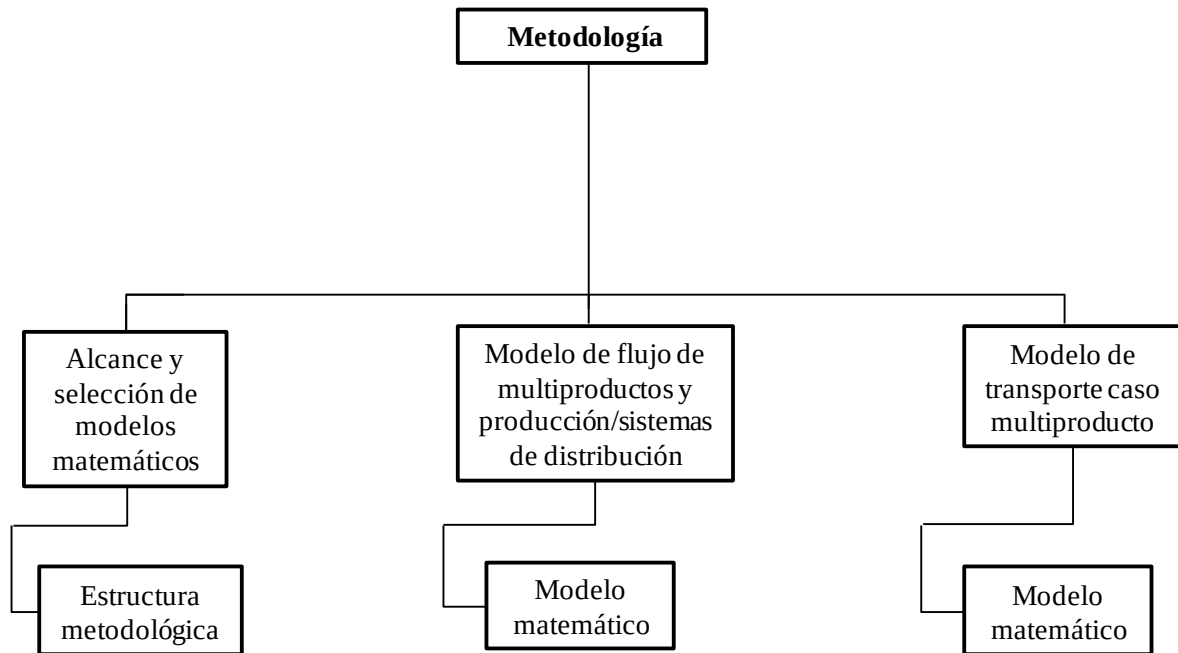


Figura 4.1. Contenido del capítulo 4. Fuente: Elaboración propia.

4.1. Alcance y selección de modelos matemáticos

Con la intención de realizar el análisis de la red de distribución de polietilenos, se consideraron dos diferentes modelos matemáticos de programación lineal. Con ello, se busca asegurar que la cantidad de producto sea enviado desde las plantas de operación, hacia sus destinos programados. En base a los datos y las necesidades que requiera Pemex Petroquímica, se seleccionó el modelo de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución y el modelo de transporte caso multiproducto.

4.1.1. Estructura metodológica

A continuación se mencionan los pasos que se realizaron en la ejecución de esta investigación.

1. *Estudio, documentación y análisis de la estructura de la red de distribución existente para los procesos y la cadena de suministro, incluyendo los datos y flujos de información.* Como primera etapa, se requiere establecer un conocimiento exacto del sistema que se está analizando. Así también conocer los objetivos de Pemex

Petroquímica, los componentes y estructura de la red de distribución de polietilenos, con el fin de conceptualizar el problema que se está tratando de resolver.

2. *Revisión bibliográfica y análisis de diferentes modelos de redes de distribución.* Esto es con el objetivo de establecer una idea clara de las técnicas empleadas y opciones de modelación para dar solución al problema en estudio.
3. *Proponer un modelo matemático que se adecue en base a las necesidades particulares que requiera la empresa.* Aunque existen numerosos modelos individuales que pueden ser utilizados para el análisis como las técnicas de gráfica, compás y regla; modelos de simulación, modelos heurísticos, modelos de sistemas expertos, se proponen los modelos de optimización. Ya que se fundamentan en procedimientos matemáticos precisos para evaluar alternativas y garantizan que será encontrada la solución óptima o la mejor alternativa al problema. Con la intención de realizar el análisis de la red de distribución de polietilenos, se consideraron dos diferentes modelos matemáticos de programación lineal: el modelo de flujo de multiproductos y producción / sistemas de distribución y el modelo de transporte multiproducto.
4. *Desarrollar métodos de solución Exacto o Heurísticos adecuados para el modelo propuesto.* Para llevar a cabo y dar solución al problema planteado, existen dos alternativas básicas para enfrentar la solución de problemas de optimización: herramientas basadas en los principios de la programación matemática y herramientas heurísticas y metaheurísticas; fundamentadas principalmente en la lógica y la imitación de sistemas. Para la realización de esta investigación se optó por la programación matemática.
5. *Implementar el método de solución en software comercial y/o en un lenguaje de programación.* Para una solución computacional deben de implementarse las metodologías en tecnologías basadas en software. El diseño de la solución computacional incluye el diseño de los algoritmos matemáticos que se requieran, para resolver exitosamente el problema. En esta etapa se procede al montaje de los modelos matemáticos planteados según las herramientas seleccionadas para tal fin. El

modelo matemático será formulado y programado en un software ya existente, lingo 9 especializado para la modelación matemática y optimización.

6. *Realizar un conjunto de pruebas con instancias reales.* En este procedimiento se ejecutarán las pruebas que nos ayudaran a identificar los problemas de la red de distribución de polietilenos. Debemos recordar que la cantidad de información proporcionada por la empresa, determinará la base de información del modelo matemático, o en otras palabras la información encontrada influye en la definición del modelo propuesto.
7. *Análisis de resultados obtenidos.* En esta etapa se muestran los resultados obtenidos de la investigación. El objetivo es de transformar y verificar que el conjunto de datos obtenidos tenga un análisis racional.
8. *Elaborar conclusiones y recomendaciones.* Es un resumen de las reflexiones más relevantes que resultaron del proceso investigativo, destacando los aspectos más importantes de los resultados obtenidos. Aquí también se hace mención de las recomendaciones y trabajos a futuros que requiere la investigación. La estructura metodológica es resumida en la figura 4.1.

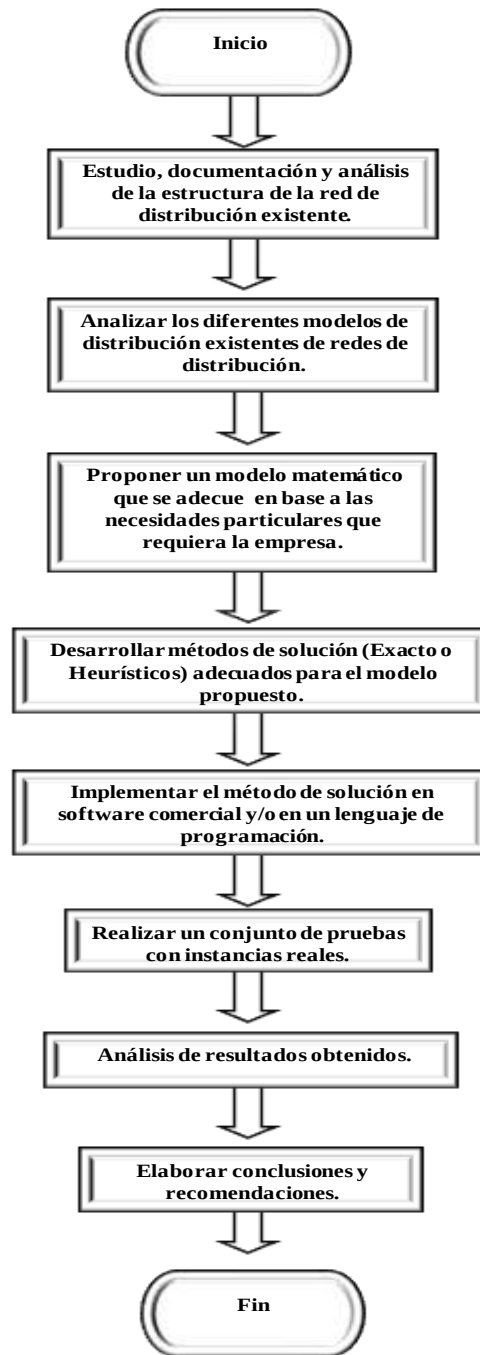


Figura 4.2. Estructura Metodológica. Fuente: Elaboración propia.

4.2. Modelo de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución

Basándose en el modelo de flujo de multiproductos y producción / sistemas de distribución Daskin (1995), se identifica que se requieren de los siguientes datos:

1. El programa de entregas mensuales de los productos por cada centro embarcador.
2. La demanda mensual del cliente por producto.
3. Costos a la venta del producto por tonelada.
4. Capacidades de las plantas de producción.

Cabe referir que por políticas internas de la empresa no son mostrados estos datos.

4.2.1. Modelo matemático

Conjuntos: Sea I el conjunto de clientes i ; K el conjunto de productos k , M el conjunto de plantas productoras m ; J el conjunto de centros embarcadores j .

Parámetros: Sea h_i^k la cantidad de producto k demandada por el mercado i , c_{ijm}^k el costo del producto k en la planta m y envió al mercado i por el centro embarcador j , S_m^k la capacidad de la planta m para producir el producto k .

Variables: Sea Y_{ijm}^k el flujo del producto k por la planta m hacia el mercado i por el centro embarcador j .

Minimizar

$$\sum_i \sum_j \sum_m \sum_k c_{ijm}^k Y_{ijm}^k \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_j \sum_m Y_{ijm}^k \geq h_i^k \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_m Y_{ijm}^k \leq S_m^k \quad \forall m, k \quad (3)$$

$$Y_{ijm}^k \geq 0 \quad \forall i, j, m, k \quad (4)$$

Donde la función (1) busca minimizar los costos de producto y envío de productos a través de la red de distribución. Ecuación (2) busca satisfacer la demanda de todos los tipos de producto requeridos en el mercado. Ecuación (3) busca que el flujo de producto de la red

sea menor o igual a la cantidad producida. La ecuación (4) restringe a que el flujo de producto a través de la red de distribución sea mayor o igual que 0.

4.3. Modelo de transporte caso multiproducto

Basándose en el modelo de transporte Taha (1995), el análisis del modelo de transporte multiproducto, requiere de los siguientes datos:

1. Programa de entregas mensuales por cada centro embarcador.
2. Capacidades de producción por cada producto.
3. Demanda mensual de cada centro embarcador por producto.
4. Costos de distancias recorridas de la mercancía de cada fuente a cada destino.

De la misma manera, los datos no son mostrados por políticas internas de la empresa.

4.3.1. Modelo matemático

El objetivo del modelo es determinar la cantidad que se enviará de cada fuente a cada destino, tal que se minimice el costo de transporte total (Taha, 1995). El problema descrito fue modelado mediante la siguiente formulación:

Conjuntos: Sea I el conjunto de plantas productoras i (fuentes); J el conjunto de clientes j (destino), y K el conjunto de productos k .

Parámetros: S_i^k la capacidad de la planta i , para producir el producto k ; h_j^k la demanda del mercado del producto k , demandada por el mercado j ; c_{ij}^k el costo de transporte del producto k , en la planta i y envió al mercado j .

Variables: Sea X_{ij}^k la cantidad transportada del producto k , desde la planta i , hacia el mercado j . Sea Y_{ij}^k la capacidad transportada del producto k desde la planta (fuente) i hacia el mercado (destino) j .

Minimizar

$$\sum_i \sum_j \sum_k c_{ij}^k Y_{ij}^k \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_j^n X_{ij}^k \leq S_i^k \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$\sum_i^m X_{ij}^k \geq h_j^k \quad \forall j, k \quad (3)$$

$$X_{ij}^k - 82 * Y_{ij}^k = 0 \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

Donde la función (1) minimiza los costos de transporte totales a través de la red de distribución. La ecuación (2) Estipula que la suma de los envíos desde una fuente no puede ser mayor que su oferta. Ecuación (3) Requiere que la suma de los envíos satisfagan la demanda de todos los tipos de producto requeridos en el mercado. La ecuación (4) restringe a que el flujo de producto a través de la red de distribución sea igual a 82 toneladas.

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN

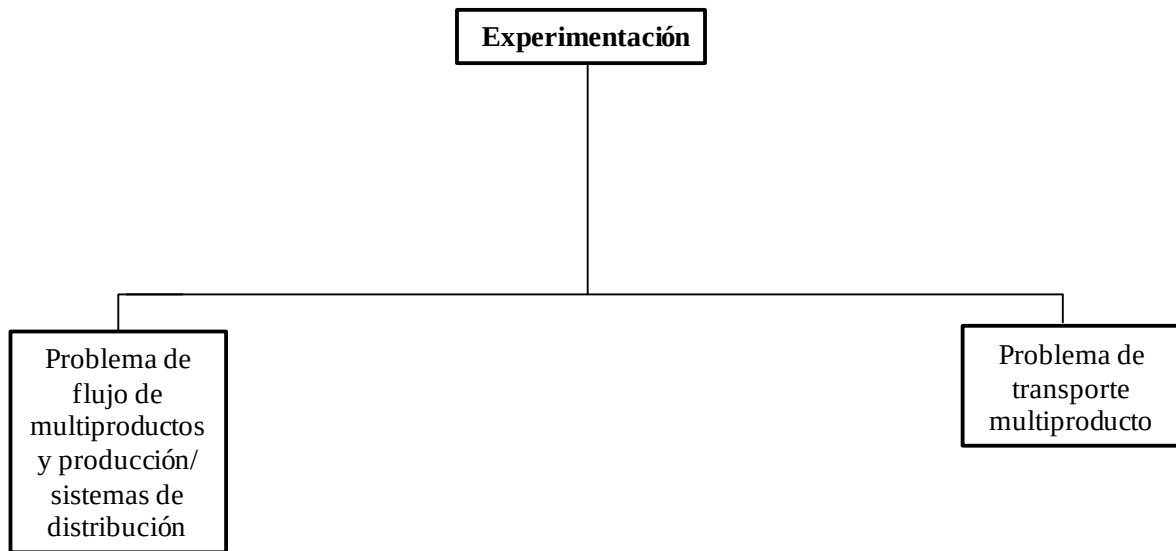


Figura 5.1. Contenido del capítulo 5. Fuente: Elaboración propia.

5.1. Problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución

Los cálculos computacionales para este problema fueron resueltos en una computadora HP Pavilion w 4-2013 con procesador AMD Athlon II Dual Core, 3 GB de RAM. Las instancias de prueba están basadas en la red de distribución actual. La red de distribución de la empresa tiene 8 plantas productoras, pero se han contemplado 9 en la experimentación, con el objetivo de detectar el desabasto actual por tipo de producto a través de la planta ficticia. La red cuenta además con centros embarcadores y clientes. Para simplificar el problema se realizaron 11 ensayos en los que renovó el número de clientes. En cada instancia el número de clientes utilizado es de 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, y 65 utilizando el software Lingo versión 9 (Lingo, 2009). Como resultado de la experimentación del modelo se obtuvieron los costos mínimos de distribución mensuales en miles de pesos. (Ver tabla 5. 1).

Tabla 5.1. Número de clientes y costos mínimos de distribución mensual en pesos. Fuente:
Elaboración propia.

Número de clientes	Costo mínimo de distribución mensual en \$
15	85,860,660
20	131,082,300
25	170,429,800
30	204,270,700
35	246,864,500
40	267,593,900
45	288,282,000
50	346,532,200
55	383,993,900
60	444,456,400
65	456,162,100

Los tiempos de respuesta oscilaron entre 2 a 5 segundos para todas las instancias. En la tabla 5.2 se muestran los productos, la planta que lo elaborará y la asignación hasta 65 clientes, cubriendo la demanda requerida por mes.

Tabla 5.2. Asignación de productos, plantas, clientes y demanda esperada en toneladas. Fuente:
Elaboración propia.

CEA (Producto/ Planta / Cliente)					
Toneladas					
Producto 1					
(1, 9, 1) 135	(1, 9, 2) 25	(1, 9, 3) 54	(1, 9, 5) 297	(1, 9, 6) 162	(1, 9, 7) 27
(1, 9, 8) 81	(1, 9, 9) 81	(1, 9, 11) 243	(1, 9, 12) 54	(1, 9, 13) 50	(1, 9, 16) 54
(1, 9, 17) 243	(1, 9, 19) 100	(1, 9, 23) 108	(1, 9, 25) 100	(1, 9, 26) 108	(1, 9, 30) 108
(1, 9, 31) 162	(1, 9, 32) 243	(1, 9, 35) 54	(1, 9, 38) 108	(1, 9, 42) 54	(1, 9, 44) 54
(1, 9, 45) 27	(1, 9, 46) 54	(1, 9, 47) 687	(1, 9, 48) 54	(1, 9, 49) 164	(1, 9, 50) 243
(1, 9, 51) 81	(1, 9, 52) 81	(1, 9, 54) 459	(1, 9, 55) 111	(1, 9, 57) 780	(1, 9, 58) 589
(1, 9, 60) 165	(1, 9, 61) 54	(1, 9, 62) 138	(1, 9, 63) 100	(1, 9, 64) 28	(1, 9, 65) 28
(2, 9, 1) 27					
Producto 2					
(2, 9, 2) 25	(2, 9, 5) 135	(2, 9, 6) 81	(2, 9, 7) 27	(2, 9, 8) 594	(2, 9, 9) 54.00000
(2, 9, 12) 81	(2, 9, 16) 54	(2, 9, 17) 216	(2, 9, 19) 100	(2, 9, 20) 405	(2, 9, 23) 189.0000
(2, 9, 25) 100	(2, 9, 26) 108	(2, 9, 30) 108	(2, 9, 32) 216	(2, 9, 33) 81	(2, 9, 38) 189.0000
(2, 9, 42) 54	(2, 9, 44) 54	(2, 9, 45) 135	(2, 9, 46) 351	(2, 9, 47) 688	(2, 9, 48) 54.00000

(2, 9, 49) 56	(2, 9, 50) 162	(2, 9, 51) 216	(2, 9, 52) 54	(2, 9, 54) 459	(2, 9, 55) 139
(2, 9, 56) 378	(2, 9, 57) 308	(2, 9, 58) 135	(2, 9, 59) 486	(2, 9, 60) 162	(2, 9, 61) 54
(2, 9, 62) 138	(2, 9, 63) 75				
Producto 3					
(3, 9, 7) 27	(3, 9, 8) 27	(3, 9, 11) 54	(3, 9, 12) 27	(3, 9, 17) 162	(3, 9, 19) 25
(3, 9, 21) 54	(3, 9, 22) 108	(3, 9, 23) 54	(3, 9, 25) 25	(3, 9, 26) 27	(3, 9, 29) 54
(3, 9, 30) 27	(3, 9, 32) 162	(3, 9, 35) 189	(3, 9, 38) 54	(3, 9, 44) 301	(3, 9, 45) 136
(3, 9, 46) 164	(3, 9, 47) 110	(3, 9, 48) 164	(3, 9, 49) 110	(3, 9, 50) 108	(3, 9, 51) 165
(3, 9, 52) 54	(3, 9, 53) 55	(3, 9, 54) 135	(3, 9, 55) 28	(3, 9, 56) 140	(3, 9, 57) 168
(3, 9, 62) 28					
Producto 4					
(4, 9, 5) 203	(4, 9, 8) 232	(4, 9, 12) 29	(4, 9, 13) 25	(4, 9, 16) 116	(4, 9, 23) 58
(4, 9, 24) 58	(4, 9, 26) 58	(4, 9, 30) 58	(4, 9, 38) 58	(4, 9, 39) 58	(4, 9, 40) 29
(4, 9, 41) 203	(4, 9, 42) 116	(4, 9, 43) 29			
Producto 5					
(5, 9, 9) 87	(5, 9, 17) 261	(5, 9, 26) 87	(5, 9, 30) 87	(5, 9, 32) 261	(5, 9, 40) 29
(5, 9, 43)					

29					
Producto 6					
(6, 9, 2)	(6, 9, 5)	(6, 9, 8)	(6, 9, 9)	(6, 9, 10)	(6, 9, 13)
25	58	87	87	58	50
(6, 9, 15)	(6, 9, 19)	(6, 9, 21)	(6, 9, 22)	(6, 9, 23)	(6, 9, 25)
435	150	29	87	29	150
(6, 9, 26)	(6, 9, 29)	(6, 9, 30)	(6, 9, 34)	(6, 9, 35)	(6, 9, 38)
116	29	116	580	228	29
Producto 7					
(7, 9, 1)	(7, 9, 4)	(7, 9, 8)	(7, 9, 10)	(7, 9, 18)	(7, 9, 19)
29	58	58	58	87	50
(7, 9, 23)	(7, 9, 24)	(7, 9, 25)	(7, 9, 26)	(7, 9, 27)	(7, 9, 30)
116	29	50	29	87	29
(7, 9, 36)	(7, 9, 37)	(7, 9, 38)	(7, 9, 39)		
29	87	116	29		
Producto 8					
(8, 8, 8)	(8, 8, 10)	(8, 8, 11)	(8, 8, 12)	(8, 8, 17)	(8, 8, 19)
54	54	54	81	54	25
(8, 8, 21)	(8, 8, 22)	(8, 8, 23)	(8, 8, 25)	(8, 8, 32)	(8, 8, 38)
27	81	81	25	54	81
Producto 9					
(9, 8, 7)	(9, 8, 8)	(9, 8, 9)	(9, 8, 19)	(9, 8, 20)	(9, 8, 25)
27	81	54	25	54	25
Producto 10					
(10, 9, 3)	(10, 9, 8)	(10, 9, 12)	(10, 9, 17)	(10, 9, 21)	(10, 9, 23)
54	54	81	81	432.0000	81
(10, 9, 26)	(10, 9, 28)	(10, 9, 29)	(10, 9, 30)	(10, 9, 31)	(10, 9, 32)
27	54	486	27	81	81
(10, 9, 33)	(10, 9, 38)				

27	81				
Producto 11					
(11, 9, 1) 81	(11, 9, 2) 27	(11, 9, 3) 27	(11, 9, 5) 216	(11, 9, 8) 54	(11, 9, 9) 81
(11, 9, 10) 54	(11, 9, 12) 54	(11, 9, 13) 54	(11, 9, 14) 27	(11, 9, 18) 54	(11, 9, 19) 135
(11, 9, 23) 135	(11, 9, 24) 54	(11, 9, 25) 135	(11, 9, 26) 81	(11, 9, 27) 54	(11, 9, 30) 81
(11, 9, 37) 54	(11, 9, 38) 135	(11, 9, 39) 54			
Producto 12					
(12, 8, 17) 189	(12, 8, 18) 81	(12, 8, 27) 81	(12, 8, 32) 189	(12, 8, 37) 81	

5.2. Problema de transporte multiproducto

El problema fue resuelto en una computadora COMPAQ presario CQ41-226LA AMD Athlon II Dual Core, 2 GB de RAM. El software con el cual se resolvió el problema fue Lingo versión 9 (Lingo, 2009). Las instancias de prueba están basadas en la red de distribución actual. El tiempo de respuesta computacional oscila entre los 2 y 5 segundos. De la tabla 5.3 hasta la tabla 5.14, se muestran los resultados de la investigación: el número de producto, el Centro Embarcador Autorizado, la planta de producción, las toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda de cada mes.

Tabla 5.3. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Enero. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/738/9	1/656/8	1/902/11	1/1312/16	1/1394/17	1/82/1	1/82/1	0	1/492/6	1/820/10	0	1/984/12
2	2/328/4	2/820/10	2/1230/15	2/1312/16	2/246/3	2/82/1	0	0	2/164/2	2/820/10	0	2/328/4
3	0	3/164/2	3/738/9	3/656/8	3/164/2	0	3/82/1	0	3/164/2	3/246/3	0	3/246/3
4	4/246/3	4/410/5	4/574/7	4/738/9	0	4/410/5	0	0	4/164/2	4/246/3	0	4/246/3
5	0	5/164/2	5/410/5	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	6/164/2	7/738/9	6/1312/16	6/738/8	6/164/2	6/82/1	0	0	6/164/2	7/410/5	0	7/328/4
7	8/410/5	8/164/2	8/410/5	8/738/9	8/246/3	8/164/2	0	8/82/1	8/164/2	8/328/4	8/164/2	8/164/2
8	0	8/246/3	8/328/4	8/410/5	8/164/2	8/82/1	8/164/2	0	8/82/1	8/82/1	8/82/1	8/82/1
9	0	8/164/2	8/82/1	8/164/2	8/164/2	0	8/82/1	8/82/1	8/246/3	8/82/1	8/328/4	8/246/3
10	8/82/1	8/164/2	8/1312/16	8/1148/14	8/164/2	8/656/8	0	8/82/1	8/82/1	8/328/4	8/164/2	8/82/1
11	8/410/5	8/328/4	8/492/6	8/492/6	8/410/5	8/328/4	8/164/2	8/410/5	8/246/3	8/328/4	8/246/3	8/656/8
12	0	0	8/328/4	8/574/7	0	0	0	0	0	8/1066/13	0	8/574/7

Tabla 5.4. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Febrero. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/738/9	1/656/8	1/1230/15	1/1230/15	1/1066/13	1/164//2	1/82/1	0	1/492/6	1/574/7	0	1/902/11
2	2/410/5	2/656/8	2/1312/16	2/1394/17	2/164/2	2/82/1	0	0	2/246/3	2/656/8	0	2/328/4
3	3/82/1	3/164/2	3/902/11	1/656/8	3/164/2	0	0	0		3/82/1	0	3/246/3
4	4/164/2	4/410/5	4/574/7	4/656/8	0	4/410/5	0	0	4/164/2	4/328/4	0	4/328/4
5	0	0	5/328/4	0	0		0	0			0	5/246/3
6	6/246/3	7/738/9	6/1312/16	6/820/10	0	6/82/1	0	0	6/164/2	7/410/5	0	7/410/5
7	8/164/2	8/164/2	8/328/4	8/656/8	8/82/1	8/164/2	8/328/4	8/164/2	8/164/2	8/492/6	8/164/2	8/328/4
8	0	8/328/4	8/492/6	8/410/5	8/164/2	8/82/1	0	8/82/1	8/164/2	0	8/82/1	8/164/2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10	8/82/1	8/164/2	8/1148/14	8/1394/17	8/328/4	8/410/5	8/246/3	8/82/1	8/82/1	8/164/2	8/82/1	8/164/2
11	8/410/5	8/328/4	8/410/5	8/492/6	8/820/10	8/82/1	0	8/492/6	8/82/1	8/492/6	8/246/3	8/492/6
12	0	0	8/328/4	8/574/7	0	0	0	0	0	8/1066/13	0	8/574/7
13	8/82/1	0	8/82/1	8/820/10	0	0	0	0	0	0	8/82/1	0

Tabla 5.5. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Marzo. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/492/6	1/574/7	1/1148/14	1/902/11	1/902/11	1/82/1	1/82/1	0	1/410/5	1/574/7	0	1/738/9
2	2/328/4	2/492/6	2/1148/14	2/984/12	2/164/2	0	0	0	2/164/2	2/328/4	0	2/328/4
3	0	3/82/1	3/738/9	3/492/6	3/82/1	0	3/82/1	0	3/82/1	3/82/1	0	3/82/1
4	4/328/4	4/574/7	4/492/6	4/738/9	0	4/492/9	0	0	4/164/2	4/328/4	0	4/328/4
5	0	0	5/410/5	0	0	0	0	0	0	0	0	5/328/4
6	6/246/3	6/820/10	6/1394/17	6/656/8	6/164/2	0	0	0	6/164/2	7/328/4	0	7/410/5
7	0	8/82/1	8/574/7	8/410/6	8/82/1	8/246/3	8/246/3	0	0	0	8/328/4	8/82/1
8	8/82/1	8/246/3	8/410/5	8/492/6	8/164/2	0	8/164/2	8/82/1	0	8/82/1	0	8/82/1
9	8/164/2	8/82/1	8/82/1	8/328/4	8/574/7	0	8/82/1	8/164/2	8/82/1	8/82/1	8/164/2	0
10	0	8/246/3	8/984/12	8/1558/19	8/410/5	8/410/5	0	8/82/1	8/82/1	8/328/4	8/164/2	8/246/3
11	8/410/5	8/328/4	8/492/6	8/574/7	8/410/5	0	8/164/2	8/492/6	8/328/4	8/328/4	8/246/3	8/656/8
12	0	0	8/410/5	8/1804/22	0	0	0	0	0	0	0	8/738/9
13	8/82/1	8/82/1	8/164/2	8/902/11	8/82/1	0	0	0	8/82/1	8/328/4	8/82/1	0

Tabla 5.6. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Abril. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/820/10	9/984/12	1/1722/21	1/1312/16	1/1476/1 8	1/410/5	1/164/2	0	1/902/11	1/984/12 9/82/1	0	1/1148/1 4

2	0	2/164/2	2/738/9	2/328/4	0	0	0	0	0	2/164/2	0	2/82/1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4/328/4	4/410/5	4/574/7	4/656/8	0	4/410/5	0	0	4/164/2	4/328/4	0	4/328/4
5	0	0	5/492/6	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	6/164/2	6/820/10	6/1148/14	7/820/10	6/164/2	6/164/2	0	0	6/246/3	6/328/4 7/82/1	0	6/492/6
7	8/246/3	8/246/3	8/410/5	8/574/7	8/164/2	8/164/2	0	8/164/2	8/164/2	8/410/5	8/164/2	8/410/5
8	8/82/1	8/410/5	8/246/3	8/656/8	8/164/2	8/82/1	8/164/2	8/82/1		8/82/1		8/164/2
9	8/246/3	8/82/1		8/410/5	8/410/5	0	8/82/1	8/82/1	8/164/2	8/246/3	8/246/3	8/82/1
10	0	8/328/4	8/984/12	8/984/12	8/164/2	8/328/4	8/164/2	8/410/5	8/984/12	8/164/2	8/410/5	8/246/3
11	8/574/7	8/410/5	8/574/7	8/820/10	8/328/4	0	8/164/2	8/574/7	8/984/12	8/246/3	8/328/4	8/738/9
12	0	0	8/246/3	8/1312/16	0	0	0	0	0	8/492/6	0	8/902/11
13	0	8/82/1	8/164/2	8/492/6	8/82/1	8/164/2	0	0	0	8/492/6	8/82/1	8/82/1

Tabla 5.7. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Mayo. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/410/5	1/574/7	1/1148/14	1/984/12	1/984/12	0	1/246/3	0	1/410/5	1/492/6	0	1/738/9
2	2/328/4	2/574/7	2/1886/23	2/1230/15	2/164/2	0	2/164/2	0	2/164/2	2/492/6	0	2/246/3
3	3/82/1	3/164/2	3/738/9	3/656/8	3/164/2	0	3/246/3	0	3/82/1	3/164/2	0	3/164/2
4	4/328/4	4/820/10	4/656/8	4/574/7	0	4/492/6	4/164/2	0	4/164/2	4/410/5	0	4/328/4
5	0	0	5/492/6	0	0	0		0	0		0	5/164/2
6	7/246/3	6/410/5 7/656/8	6/1558/19	6/820/10	6/246/3	0	6/328/4	0	6/164/2	7/328/4	0	7/492/6
7	0	8/328/4	8/328/4	8/656/8	8/246/3	8/164/2	0	8/246/3	8/164/2	8/410/5	8/82/1	8/328/4
8	8/82/1	8/410/5	8/574/7	0	8/164/2	0	8/328/4	0	8/82/1	8/82/1	0	8/82/1
9	8/82/1	8/164/2	8/164/2	8/164/2	8/328/4	0	8/164/2	8/164/2	8/246/3	8/164/2	8/164/2	8/164/2
10	0	8/574/7	8/328/4	8/246/3	8/246/3	8/738/9	8/164/2	8/656/8	8/410/5	8/246/3	8/410/5	8/492/6
11	8/410/5	8/410/5	8/492/6	8/492/6	8/492/6	0	8/492/6	8/492/6	8/164/2	8/246/3	8/164/2	8/656/8

12	0	0	8/328/4	8/2624/32	0	0	0	0	0	0	0	8/1066/13
13	0	8/82/1	0	8/164/2	8/82/1	0	0	0	8/82/1	8/410/5	8/164/2	8/164/2

Tabla 5.8. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Junio. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/656/8	1/656/8	1/1230/15	1/1148/14	1/1066/13	1/164/2	1/82/1	0	1/574/7	1/984/12	0	1/902/11
2	2/410/5	2/656/8	2/1968/24	2/1476/18	2/164/2	0	0	0	2/164/2	2/656/8	0	2/328/4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	4/902/11	4/738/9	4/656/8	0	4/492/6	0	0	4/410/5	4/246/3	0	4/328/4
5	0	0	5/574/7		0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	7/164/2	6/820/10 7/82/1	6/1558/19	6/820/10	6/164/2	0	0	0	6/164/2	7/328/4	0	7/574/7
7	8/246/3	8/328/4	8/328/4	8/820/10	8/246/3	8/164/2	0	8/246/3	8/164/2	8/410/5	8/164/2	8/410/5
8	8/328/4	8/410/5	8/328/4	8/492/6	8/82/1	0	8/164/2		8/82/1	8/246/3	8/164/2	8/82/1
9	8/164/2	8/164/2	0	8/492/6	8/574/7	0	8/82/1	8/164/2	0	8/246/3	8/164/2	8/164/2
10	0	8/246/3	8/820/10	8/1722/21	0	8/1066/13	8/164/2		8/164/2	8/328/4	8/164/2	8/164/2
11	8/656/8	8/492/6	8/656/8	8/820/10	8/410/5	0	8/164/2	8/574/7	8/246/3	8/328/4	8/328/4	8/656/8
12	0	0	8/328/4	8/2788/34	0	0	0	0	0	0	0	8/984/12
13	0	8/82/1	0	8/82/1	0	0	0	8/82/1	8/82/1	8/246/3	0	8/82/1

Tabla 5.9. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Julio. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/492/6	1/656/8	1/1148/14	1/1148/14	1/1148/14	1/82/1	1/164/2	0	1/492/6	1/574/7	0	1/656/8
2	2/410/5	2/738/9	2/1640/20	2/1312/16	2/164/2	0	0	0	2/164/2	2/656/8	0	2/328/4
3	3/164/2	3/164/2	3/902/11	3/574/7	3/164/2	3/164/2	3/82/1	0	0	3/82/1	0	3/246/3
4	4/246/3	4/738/9	4/820/10	4/738/9	0	4/574/7	0	0	4/164/2	4/246/3	0	4/328/4

5	0	0	5/492/6	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	7/246/3	6/902/11 7/164/2	6/1148/14	6/1066/13	6/328/4	0	0	0	6/82/1	7/328/4	0	7/410/5
7	8/164/2	8/246/3	8/246/3	8/820/10	8/164/2	8/164/2	8/164/2	8/246/3	8/164/2	8/328/4	8/164/2	8/328/4
8	8/82/1	8/328/4	8/410/5	8/492/6	8/82/1	0	8/164/2	0	8/82/1	8/82/1	8/164/2	8/82/1
9	8/82/1	8/82/1		8/410/5	8/656/8	0	8/82/1	0	0	8/246/3	8/164/2	8/164/2
10	8/82/1	8/164/2	8/410/5	8/1640/20	0	8/1558/19	8/164/2	0	8/164/2	8/246/3	8/246/3	8/164/2
11	8/410/5	8/328/4	8/738/9	8/656/8	8/492/6	0	0	8/410/5	8/164/2	8/492/6	8/328/4	8/738/9
12	0	0	8/410/5	8/2788/34	0	0	0	0	0	0	0	8/1312/16
13	0	0	8/246/3	8/656/8	8/164/2	0	0	0	0	8/82/1	0	8/82/1

Tabla 5.10. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Agosto. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/492/6	1/984/12	1/984/12	1/1230/15	1/902/11	1/164/2	1/164/2	0	1/492/6	1/574/7	0	1/656/8
2	2/410/5	2/738/9	2/1722/21	2/1312/16	2/164/2	0	0	0	2/246/3	2/410/5	0	2/492/6
3	3/82/1	3/164/2	3/1066/13	3/656/8	0	0	0	0	3/164/2	3/164/2	0	3/82/1
4	4/328/4	4/902/11	4/492/6	4/656/8	0	4/574/7	0	0	4/164/2	4/246/3	0	4/328/4
5	0	0	5/328/4	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	7/246/3	6/820/10	6/1312/16	6/1066/13	6/164/2	6/82/1	0	0	6/82/1	7/410/5	0	7/328/4
7	8/164/2	8/328/4	8/246/3	8/574/7	8/246/3	8/164/2	8/164/2	8/164/2	8/164/2	8/410/5	8/164/2	8/410/5
8	8/82/1	8/246/3	8/410/5	8/492/6	8/82/1	0	8/82/1	8/82/1	0	8/82/1	0	8/82/1
9	8/82/1	8/82/1	0	8/328/4	8/574/7	0		8/82/1	0	8/246/3	8/82/1	8/164/2
10	0	8/328/4	8/410/5	8/1640/20	8/82/1	8/1558/19	8/82/1	0	0	8/246/3	8/164/2	8/164/2
11	8/410/5	8/410/5	8/656/8	8/902/11	8/328/4	0	8/82/1	8/656/8	8/164/2	8/492/6	8/328/4	8/738/9
12	0	0	8/492/6	8/2624/32	0	0	0	0	0	0	0	8/1558/19
13	0	0	8/82/1	8/492/6	8/164/2	8/328/4	0	0	0	0	0	8/82/1

Tabla 5.11. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Septiembre. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/492/6	1/574/7	1/1148/14	1/1148/14	1/1230/15	0	1/82/1	0	1/328/4	1/656/8	0	1/656/8
2	2/410/5	2/656/8	2/1230/15	2/1230/15	2/246/3	0	0	0	2/164/2	2/902/11	0	2/574/7
3	3/164/2	3/246/3	3/984/12	3/738/9	3/246/3	0	3/82/1	0	3/82/1	3/82/1	0	3/164/2
4	4/246/3	4/656/8	4/1394/17	4/656/8	0	0	0	0	4/164/2	4/328/4	0	4/246/3
5	0	0	5/574/7	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	6/164/2	7/820/10	6/1148/14	6/656/8	6/164/2	0	0	0	6/164/2	7/246/3	0	7/328/4
7	8/246/3	8/328/4	8/492/6	8/82/1	8/164/2	0	8/164/2	8/164/2	8/164/2	8/328/4	8/246/3	8/328/4
8	8/82/1	8/246/3	8/246/3	8/410/5	8/164/2	0	8/82/1	0	8/82/1	8/82/1	8/164/2	8/82/1
9	8/82/1	8/82/1	0	8/246/3	8/492/6	0	8/82/1	8/82/1	0	8/164/2	8/82/1	8/164/2
10	0	8/246/3	8/1066/13	8/1312/16	8/656/8	0	8/82/1	0	8/82/1	8/246/3	8/164/2	8/164/2
11	8/328/4	8/410/5	8/492/6	8/574/7	8/492/6	0	0	8/410/5	8/246/3	8/492/6	8/246/3	8/574/7
12	0	0	8/328/4	8/2296/28	0	0	0	0	0	0	0	8/1148/14
13	0	8/82/1	8/82/1	8/410/5	8/164/2	0	0	0	0	8/164/2	8/164/2	8/82/1

Tabla 5.12. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Octubre. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/492/6	1/492/6	1/1066/13	1/984/12	1/1066/13	0	1/82/1	0	1/410/5	1/574/7	0	1/738/9
2	2/328/4	2/574/7	2/1230/15	2/1148/14	2/246/3	0	0	0	2/246/3	2/820/10	0	2/328/4
3	3/82/1	3/164/2	3/902/11	3/492/6	3/164/2	0	0	0	3/82/1	3/82/1	0	3/82/1
4	4/164/2	4/656/8	4/1230/15	4/492/6	4/82/1	0	0	0	4/164/2	4/164/2	0	4/164/2
5	0	0	5/410/5	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	6/164/2	7/656/8	6/984/12	6/574/7	6/164/2	0	0	0	6/164/2	7/246/3	0	7/246/3
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8/82/1	8/246/3	8/328/4	8/492/6	8/164/2	0	8/82/1	8/82/1	0	8/82/1	8/82/1	8/82/1

9	8/82/1	8/164/2	8/82/1	8/328/4	8/492/6	0	0	8/164/2	8/82/1	8/164/2	8/82/1	8/164/2
10	0	8/164/2	8/1312/16	8/1640/20	8/574/7	0	8/82/1	0	8/82/1	8/328/4	8/164/2	8/164/2
11	8/410/5	8/492/6	8/574/7	8/738/9	8/656/8	0	0	8/574/7	8/246/3	8/574/7	8/246/3	8/738/9
12	0	0	8/574/7	8/902/11	0	0	0	0	0	0	0	8/246/3
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.13. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Noviembre. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/574/7	1/738/9	1/1230/15	1/1476/18	1/1066/13	0	1/82/1	0	1/656/8	1/410/5	0	1/820/10
2	2/328/4	2/738/9	2/1312/16	2/1312/16	2/328/4	0	0	0	2/246/3	2/984/12	0	2/410/5
3	3/82/1	3/164/2	3/902/11	3/574/7	3/82/1	0	0	0	3/82/1	3/82/1	0	3/246/3
4	4/164/2	4/656/8	4/902/11	4/492/6	0	0	0	0	4/164/2	4/246/3	0	4/246/3
5	0	0	5/492/6	0	0	0	0	0	0	0	0	5/246/3
6	6/246/3	7/902/11	6/1230/15	6/738/7	6/164/2	0	0	0	6/164/2	7/328/4	0	7/410/5
7	8/164/2	8/328/4	8/328/4	8/656/8	8/164/2	0	0	0	8/246/3	8/656/8	8/164/2	8/328/4
8	8/82/1	8/328/4	8/328/4	8/410/5	8/164/2	0	8/82/1	8/82/1	8/82/1	8/82/1	8/82/1	0
9	8/164/2	8/82/1	8/82/1	8/246/3	8/410/5	0	8/82/1	8/164/2	8/82/1	8/164/2	8/82/1	0
10	8/82/1	8/246/3	8/1640/20	8/1558/19	8/410/5	0	8/82/1	0	8/82/1	8/246/3	8/164/2	8/164/2
11	8/246/3	8/328/4	8/574/7	8/820/10	8/656/8	0	0	8/738/9	8/328/4	8/656/8	8/246/3	8/574/7
12	0	0	8/492/6	8/2460/30	0	0	0	0	0	0	0	8/1558/19
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 5.14. Asignación de CEA, plantas, toneladas de producto y el número de ferrotolvas que serán enviadas para cubrir la demanda del mes de Diciembre. Fuente: Elaboración propia.

Prod.	CEA (Planta / Toneladas / Ferrotolvas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1/902/11	1/820/10	1/1148/14	1/1476/18	1/1558/19	0	1/82/1	0	0	1/492/6	0	1/820/10

2	2/492/6	2/820/10	2/1312/16	2/1394/17	2/410/5	0	0	0	0	2/738/9	0	2/492/6
3	3/82/1	3/164/2	3/656/8	3/574/7	3/82/1	0	0	0	0	3/164/2	0	3/164/2
4	0	4/464/2	4/410/5	4/328/4	4/164/2	0	0	0	0	4/164/2	0	4/164/2
5	0	0	5/82/1	0	0	0	0	0	0	0	0	5/164/2
6	6/246/3	7/984/12	6/1066/13	6/984/12	6/246/3	0	0	0	0	6/328/4	0	6/246/3
7	8/246/3	8/246/3	8/410/5	8/656/8	8/164/2	0	0	0	0	8/410/5	8/164/2	8/328/4
8	8/82/1	8/164/2	8/328/4	8/410/5	8/82/1	0	0	8/82/1	0	8/82/1	8/82/1	8/82/1
9	8/82/1	8/82/1	8/82/1	8/328/4	8/492/6	0	0	8/164/2	0	8/164/2	8/82/1	8/164/2
10	8/82/1	8/164/2	8/1640/20	8/1476/18	8/328/4	0	8/164/2	8/82/1	0	8/246/3	8/164/2	6/246/3
11	8/410/5	8/410/5	8/492/6	8/820/10	8/492/6	0	0	8/410/5	0	8/574/7	8/410/5	8/738/9
12	0	0	8/410/5	8/1968/24	0	0	0	0	0	0	0	8/1312/16
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La tabla 5.15 muestra el resultado de la ejecución del modelo de transporte multiproducto en lingo 9, obteniendo soluciones globales como son: las toneladas propuestas, los costos mínimos de transporte total, así como las toneladas de producto excedente de los meses de Enero hasta Diciembre.

Tabla 5.15. Resultados del modelo de transporte multiproducto. Fuente: Elaboración propia.

Mes	Toneladas propuesta en lingo	Costos mínimos de transporte	Toneladas de producto excedente
Enero	40836	\$14,557,990.00	3816
Febrero	39934	\$14,124,220.00	3161
Marzo	39032	\$13,758,020.00	3010
Abril	42148	\$15,112,310.00	3534
Mayo	44444	\$16,011,580.00	3652
Junio	45592	\$16,289,780.00	3322

Julio	46166	\$16,425,320.00	3455
Agosto	45674	\$16,500,470.00	3290
Septiembre	41738	\$15,164,040.00	3683
Octubre	34850	\$12,496,630.00	2786
Noviembre	43460	\$15,760,490.00	3135
Diciembre	39278	\$14,275,810.00	6073

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

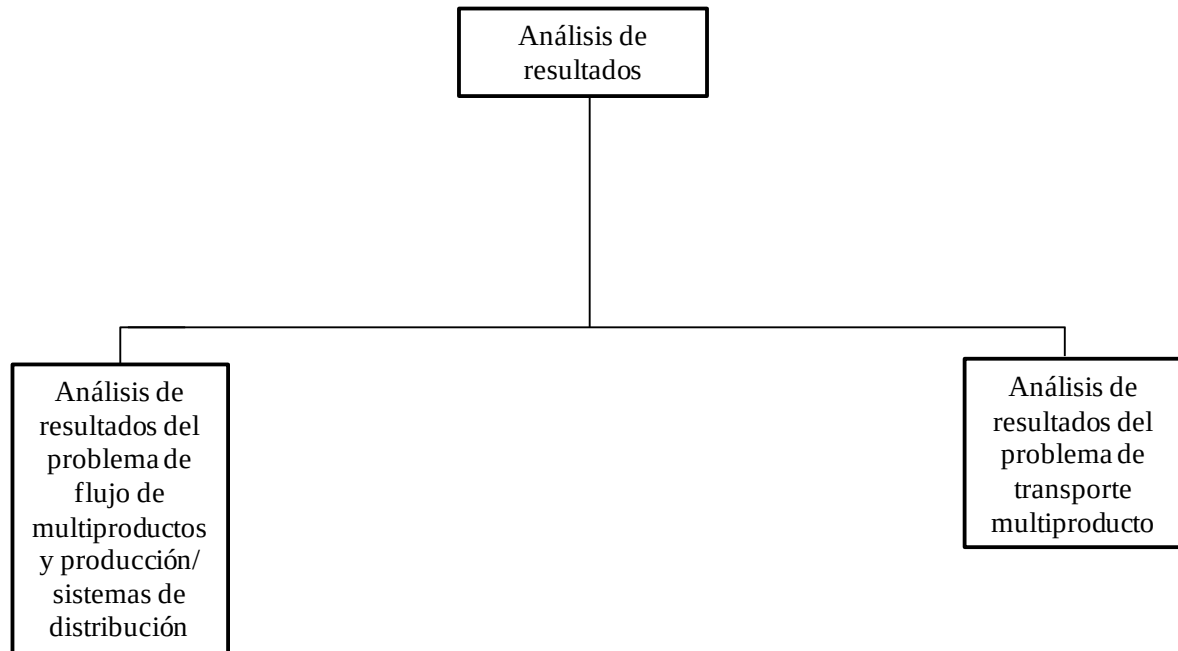


Figura 6.1. Contenido del capítulo 6. Fuente: Elaboración propia.

6.1. Análisis de resultados del problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución

Después de haber revelado la información requerida para generar un modelo que represente la realidad que se estudia, el paso siguiente es verificar si dicha información y modelo efectivamente cumplen su propósito. Como primer paso se realiza la validación de la información y modelo utilizando el problema de flujo multiproductos y producción sistemas de distribución.

En esta primera etapa de la investigación, se detecta que la principal razón del desabasto es que la demanda de productos supera la oferta. Ya que son consideradas tanto la demanda local de los Complejos Petroquímicos Morelos y Cangrejera, y la enviada a los Centros Embarcadores Autorizados. Por ello, y con la intención de detectar el desabasto por tipo de producto, se incluye una planta más para el aumento de la capacidad de producción. La principal desventaja, por la cual se descarta la utilización de este modelo, es que a medida que se incrementa la complejidad del problema, es decir que el número de clientes fuera

mayor a 65, no se podría obtener una solución óptima, debido a la capacidad de memoria computacional.

En la realidad de la investigación, se considera un balance contra el tiempo de solución. Y basándose a las características del problema, se debería utilizar el modelo de optimización involucrando programación matemática dentro de un modelo heurístico, donde la optimización resuelva parte del problema, si la empresa requiere conocer la entrega a todos sus clientes.

Otra determinación por lo cual descartamos este modelo, es debido a que los Centros Embarcadores Autorizados, son independientes de Pemex Petroquímica, y el envío de productos si el consumidor cuenta con infraestructura ferroviaria, se puede realizar la entrega directa. Debido a estas características, los datos ya no son proporcionados por la empresa ya que la entrega directa al cliente sólo le corresponde a los Centros Embarcadores Autorizados.

En lo particular, la empresa sólo está interesada en conocer la entrega total de sus productos hasta los Centros Embarcadores Autorizados. Es por ello, que las particularidades del problema de investigación y los datos que nos son proporcionados, se tendrían que considerar también las distancias de transporte, desde las plantas de producción hacia los Centros Embarcadores Autorizados.

6.2. Análisis de resultados del problema de transporte multiproducto

En esta segunda etapa del trabajo de investigación, el modelo considera las distancias de transporte de cada destino. Se observa que en la utilización del modelo de transporte multiproducto, la demanda de productos de cada Centro Embarcador es totalmente cubierta con el envío de ferrotolvas (ver tabla 5.3 hasta 5.14).

En la tabla 5.6 del mes de abril, debido a que la demanda del producto 1 es mayor que la oferta, agregamos una planta ficticia con una capacidad de 1066 toneladas, ésta envía la producción hacia el Centro Embarcador número 2 con una cantidad de 984 toneladas y al Centro Embarcador número 10 con 82 toneladas, pero físicamente nos representa la cantidad faltante de esos destinos. En la tabla 5.11 hasta la tabla 5.14, el Centro

Embarcador número 6 no presenta demanda alguna, debido a que concluyó su contrato con la empresa.

Para el proceso de validación del modelo propuesto y los resultados obtenidos en lingo (ver tabla 5.15), son comparados con los datos proporcionados por la empresa (ver tabla 6.1).

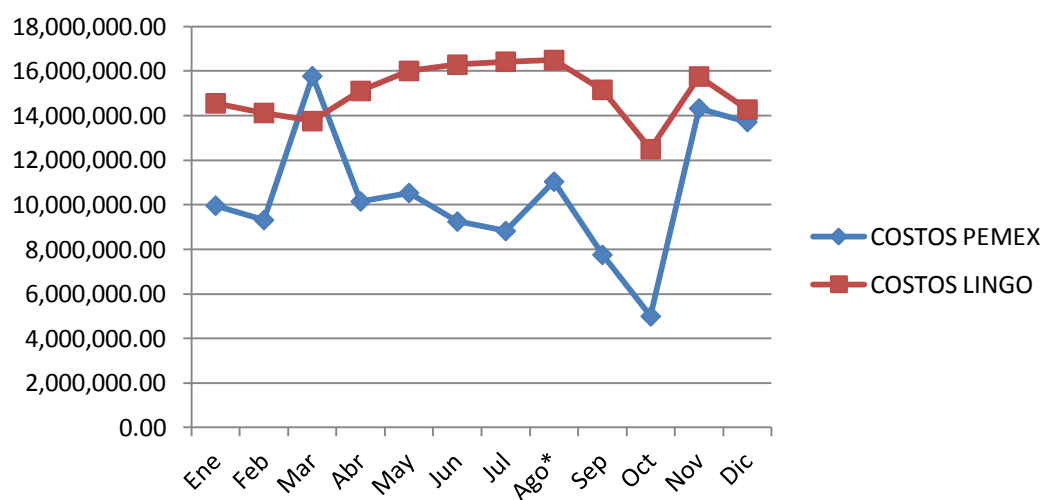
La Tabla 6.1 nos muestra el total de las cantidades mensuales de volumen programado y volumen entregado en toneladas, que la empresa realizó a través del modelo de gradiente.

Tabla 6.1. Distribución mensual de Pemex Petroquímica. Fuente: Elaboración propia.

MES	VOLUMEN PROGRAMADO PEMEX (TON)	VOLUMEN ENTREGADO (TON)
Enero	37,020	31,104.12
Febrero	36,773	26,404.78
Marzo	36,022	45,311.46
Abril	38,614	30,487.06
Mayo	40,792	31,665.30
Junio	42,270	30,073.90
Julio	42,711	28,618.56
Agosto	42384	35,860.90
Septiembre	38,055	25,362.56
Octubre	32,064	16,444.44
Noviembre	40,161	43,123.72
Diciembre	36,157	41,196.88

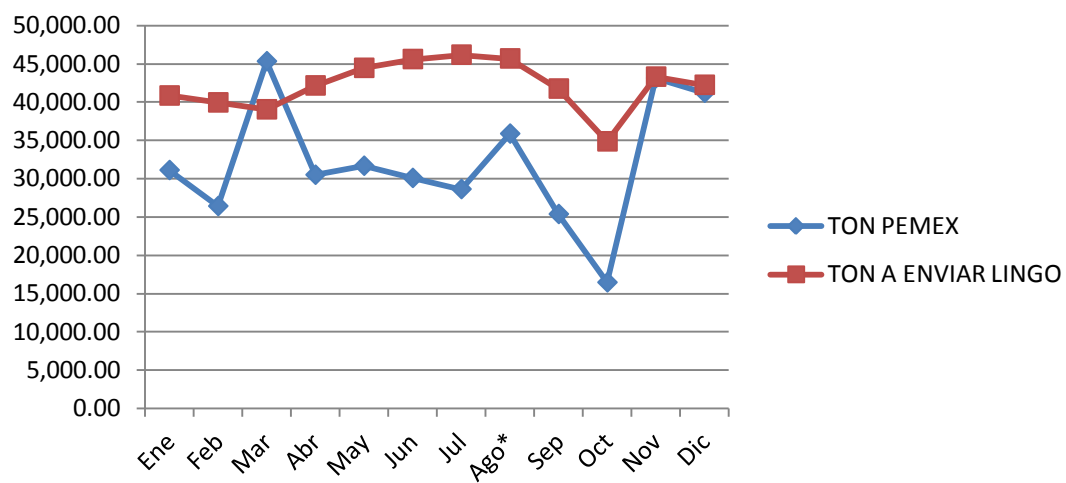
El resultado de esta validación es mostrado en las figuras 6.1 y 6.2. La figura 6.1 nos muestra la comparación de los costos obtenidos en lingo contra los costos proporcionados

por Pemex Petroquímica. Se observa que aparentemente los costos obtenidos en lingo son relativamente altos. Pero esto se debe a que la demanda es cubierta en su totalidad en todos los meses, incluso existe excedentes en la producción. Por políticas internas de la empresa, los costos mensuales no son mostrados. El envío de demanda del producto fue de 82 Toneladas, siendo esta la capacidad de carga de cada ferrotolva. Si se diera el caso de que un Centro Embarcador Autorizado requiera menos producto, el excedente queda almacenado en dicho Centro Embarcador hasta un nuevo pedido.



Grafica 6.1. Validación de resultados de los costos de la empresa, contra los costos de la propuesta en Lingo. Fuente: Elaboración propia.

La figura 6.2 nos muestra la validación de las toneladas enviadas por la empresa, contra las toneladas resultantes del modelo de transporte multiproducto en lingo. Obsérvese que en el mes de marzo los costos y demanda de productos de Pemex Petroquímica son más altos, esto es debido, a que la empresa en ese mes determinó enviar más producto de lo programado. En lo que refiere al mes de octubre, se entregó menos producto, pero esto es debido a que en ese mes existieron problemas meteorológicos.



Grafica 6.2. Validación de resultados de toneladas enviadas de producto por la empresa, contra las toneladas propuestas en Lingo a enviar. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

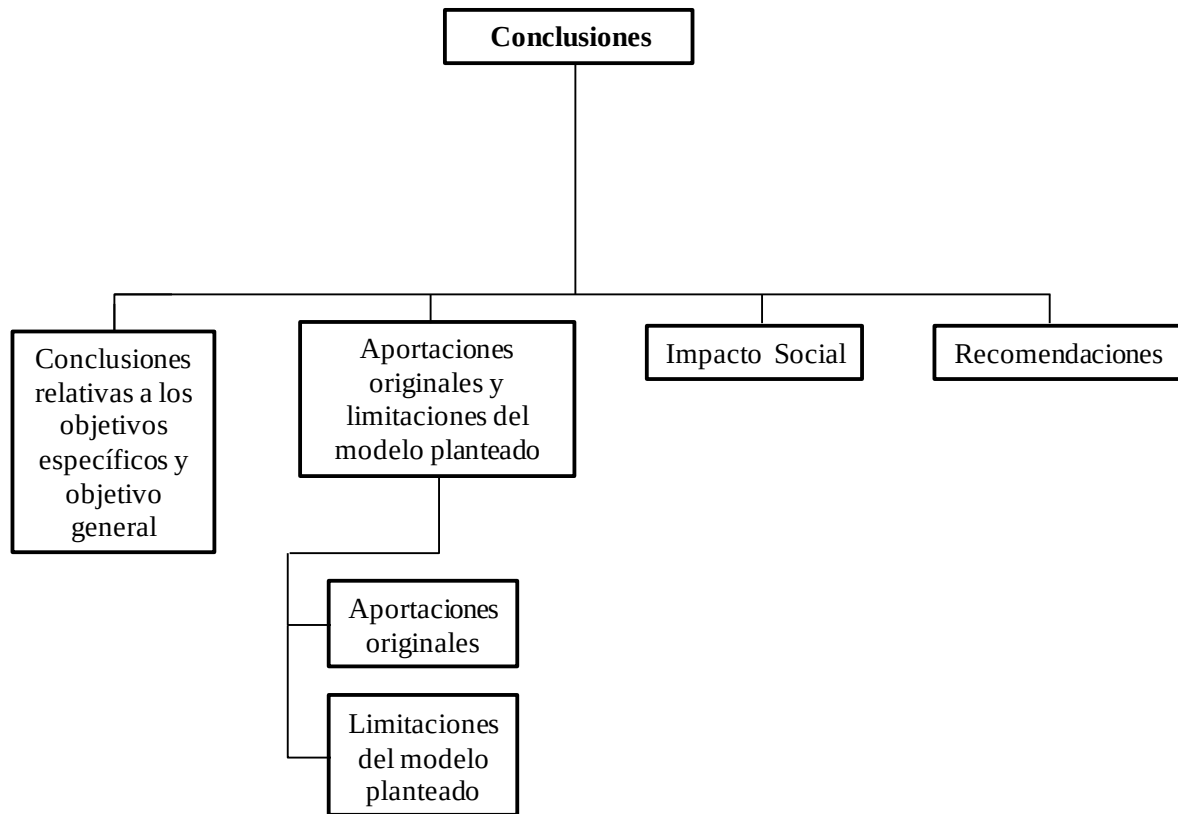


Figura 7.1. Contenido del capítulo 7. Fuente: Elaboración propia.

7.1. Conclusiones relativas a los objetivos específicos y objetivo general

En los últimos tiempos, una de las grandes preocupaciones de las empresas, es determinar una red adecuada de distribución para sus productos. Las complejidades del contexto y la gran competencia, obliga a las compañías a tomar la decisión de armar una adecuada estructura logística de distribución que nos permita disminuir los costos, y mejorar el exigente y creciente nivel de servicio al cliente.

En este trabajo de investigación, se llevó a cabo el análisis de la red de distribución de una empresa dedicada a la producción y venta de polietilenos en México, proponiendo dos modelos de optimización los cuales fueron adaptados a las necesidades que requiere la empresa. Toda la información de datos fueron proporcionados por Pemex Petroquímica basados en la problemática actual. Vale la pena mencionar que los modelos propuestos

tienen la finalidad de proporcionar una alternativa local de corto y mediano plazo, que asegure que la cantidad de polietilenos en México responda a la demanda del mercado nacional, para la distribución de entrega de producto a tiempo a sus consumidores.

En la primera etapa de investigación, durante la validación del modelo de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución, se detectó que la principal razón del desabasto es que la demanda de productos es mayor que la oferta. Por ello, y con la intención de detectar el desabasto por tipo de producto, se incluyó una planta más para el aumento de la capacidad de producción. A medida la cual se incrementó el número de clientes, no se podría obtener una solución óptima debido a las capacidades de memoria computacional.

Por lo consiguiente, la empresa solo estaba interesada en conocer la entrega total de sus productos hasta los Centros Embarcadores Autorizados y debido a las características del problema de investigación y los datos proporcionados, se consideró la utilización del modelo de transporte multiproducto.

En la segunda etapa del trabajo de investigación, el modelo que se formuló está basado en la utilización del modelo de transporte, de acuerdo a las características que presenta este problema de investigación. Para la validación del modelo matemático fueron comparados los costos y la distribución resultante de productos, contra la situación actual que tiene la empresa.

Se observa que en la utilización de este modelo propuesto la demanda de productos programada de cada centro embarcador es cubierta en su totalidad, con el envío de ferrotolvas de 82 toneladas de capacidad. Los costos de envíos resultantes de cada mes son aparentemente altos en comparación con los proporcionados por la empresa, pero esto es debido a que existen excedentes en la producción. Con la utilización y adaptación de acuerdo a las características que presenta este problema de investigación, el modelo de transporte multiproducto revisa el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Es importante señalar que Pemex Petroquímica, para realizar el envío de productos a los Centros Embarcadores Autorizados, lleva a cabo la utilización del modelo de minimización

de gradiente. Este modelo se encuentra dentro de la clasificación general de los métodos de optimización para los problemas multivariantes y sin restricciones en la que la solución analítica no es fácil de encontrar. Como método iterativo presenta una estructura donde se inicia el problema, se evalúa la respuesta obtenida y dependiendo de si se cumple un cierto criterio o no, o bien se pasa a la siguiente iteración o bien llega al final del proceso (Hernández, 2006). Este modelo se basa en una aproximación lineal de la función a minimizar, actualizando la variable a modificar en dirección contraria al gradiente.

Como función objetivo minimiza la suma del cuadrado de las diferencias entre inventario real contra el objetivo, en cada uno de los Centros Embarcadores Autorizados elegidos. El volumen disponible para asignar es registrado en el sistema para considerarlo como input en el proceso de asignación. Los inventarios objetivos son establecidos bajo una fórmula, y son registrados en el sistema por el área de Servicio a Clientes. El programa corre en un solo juego todos los productos. El tiempo de ejecución es aproximadamente de 2 a 5 minutos y el proceso puede calendarizarse para que corra todos los días a cierta hora, incluyendo fines de semana y días inhábiles. Es un modelo adaptativo, que mantiene una bitácora de corridas, la cual permite hacer ajustes modelo y determinar el cumplimiento de su ejecución.

En cambio el modelo de transporte multiproducto nos establece un plan de costo mínimo para transportar una mercancía desde las plantas de producción hacia los Centros Embarcadores Autorizados. Como función objetivo determina la cantidad que se enviará de cada planta de producción hacia cada destino, tal que se minimice el costo de transporte total, satisfaciendo tanto los límites de la oferta como los requerimientos de la demanda. Sus restricciones consideran el nivel de oferta o capacidad de cada planta de producción, la cantidad de demanda por cada Centro Embarcador Autorizado, el costo de transporte unitario del producto para cada destino, y los envíos de cada producto con capacidades de 82 toneladas por cada ferrotolva.

Con observación a los tiempos computacionales requeridos para cada mes fueron relativamente pequeños, con un tiempo de cómputo máximo de 5 segundos. Incluso el

software comercial llevo hacer lo suficiente para llegar a la solución deseada, debido a que no se requirió de alguna otra técnica empleada como la utilización de métodos heurísticos.

7.2. Aportaciones originales y limitaciones del modelo planteado

7.2.1. Aportaciones originales

- Modelo de transporte multiproducto, que responde a la demanda del mercado nacional de polietilenos, para la distribución de entrega de producto a tiempo a sus consumidores.
- Restricción matemática de envíos por cada producto, con 82 toneladas de capacidad por cada ferrotolva.
- Propuesta de una alternativa de suministro, la cual simplifica y flexibiliza los retiros de los clientes a través de los Centros Embarcadores Autorizados.
- Cumplimiento de la demanda total programada hasta los Centros Embarcadores Autorizados.
- Aseguramiento de la continuidad operativa de las plantas de producción de polietileno existentes.

7.2.2. Limitaciones del modelo planteado

- Únicamente el problema está enfocado a la problemática actual y a los datos proporcionados por la empresa.

7.3. Impacto Social

El análisis de la red de distribución de polietilenos, a través del modelo de transporte multiproducto, nos conlleva a la distribución de entrega de producto a tiempo a sus consumidores. En otras palabras, la demanda del mercado nacional de cada Centro Embarcador Autorizado, es cubierta en su totalidad simplificando el acceso y retiro de productos de los clientes a través de cada centro embarcador.

Con la realización de este trabajo se buscan alternativas para que los industriales productores de plástico en México, no padezcan de lo que viven hoy las industrias, por la falta de suministro de este importante producto petroquímico. Las empresas de fabricación

de bolsas para el supermercado, juguetes, envases, embalajes de manufacturas industriales entre otros, no tendrán la necesidad de importar fuentes de suministro de materias primas de otros países, como USA, Canadá, Brasil, Venezuela, Bolivia, Asia y Medio Oriente.

Pemex petroquímica como productora de bienes y servicios, tiene la responsabilidad de administrar los recursos escasos que requiere la sociedad, beneficiándola en la amplia gama de productos que son fabricados a partir del polietileno.

7.4. Recomendaciones

En recomendación para el modelo del problema de flujo de multiproductos y producción/sistemas de distribución, si se desea conocer la entrega total de producto hasta los clientes, se recomienda la utilización del modelo de optimización involucrando programación matemática y la modelación heurística. Ya que son una alternativa utilizada para problemas de optimización y se caracterizan porque son fáciles de entender y de implementar, es decir incluyen una auto adaptación de sus parámetros del contexto, ahorran tiempo de formulación y de computación produciendo soluciones aceptables, pero tienen la limitante que no garantiza una solución óptima.

Como recomendación para futuros estudios en el modelo de transporte multiproducto, debido al excedente de producto que queda almacenado en los Centros Embarcadores Autorizados hasta un nuevo pedido, se debe considerar la utilización de un modelo de inventarios que garantice una operación fluida del sistema de producción. Otra consideración es que la empresa actualmente, tiene en evaluación la apertura de un nuevo Centro Embarcador Autorizado en la ciudad de Mérida Yucatán.

Como un apoyo fundamental para la verificación y la validación del modelo de transporte multiproducto, se recomienda la utilización de otras herramientas de simulación, que nos permitan analizar y comparar los resultados de la salida del modelo, contra los datos del sistema real.

Por último la elaboración y las modificaciones realizadas de esta investigación, quedarán a criterio de la empresa, en seleccionar el modelo matemático propuesto, como plataforma para una futura implementación dentro de sus operaciones.

REFERENCIAS

- Alarcón F., Cruz F, Boza A., y Pérez D. (2007). Propuesta de Marco Conceptual para el Modelado del Proceso de Planificación Colaborativa de Operaciones en contextos de Redes de Suministro/Distribución (Rds/D). International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management CIO 2007. Recuperado de http://www.adingor.es/Documentacion/CIO/cio2007/Papers/0873_0882.pdf
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro*. México: Editorial Prentice Hall.
- Canca D., Palma E., Zapata N., y Campos G. (Septiembre, 2007). *Una metodología basada en la construcción y resolución de modelos matemáticos para la evaluación del transporte intermodal de mercancías en redes logísticas*. Trabajo presentado en el primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro, Zaragoza, España. Recuperado de <http://www.cnc-logistica.org/congreso-cnc/documentos/120.pdf>
- Centeno A. y Mendoza A. (2003). *Modelo de asignación intermodal multiproducto para las operaciones de carga por autotransporte y ferrocarril*. Informe No. 222. Sanfandila, Querétaro: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt222.pdf>
- Cheong, M., Bhatnagar, R., y Graves S. (2004). *Logistic Network Design with Differentiated Delivery Lead- Time: Benefits and Insights*. Recuperado de <http://web.mit.edu/sgraves/www/papers/Cheong1119.pdf>
- Cobo A., y Gómez P. (2004). Modelización automática de problemas de redes de distribución mediante tecnología JAVA. *Facultad Económicas y Empresariales- Universidad de Cantabria*. Recuperado de <http://www.uv.es/asepuma/X/B35C.pdf>
- Cruz, S. N. (12 de junio de 2006). Preocupa a los industriales el desabasto de polietileno. *El universal*. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas/52405.html>
- Cuatrecasas, L. (2010). *Lean Management: La gestión Competitiva por Excelencia*. Barcelona España: Profit Editorial.

- Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Drezner, Z. (1995). *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. New York: Springer Series in Operations Research.
- Estrada, R. M. (2007). *Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería* (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya). Recuperada de <http://varaix.mit.tur.cu/tcsc/LibroWeb/Webturismo/tesisdoctor/logisticapaqueteria.pdf>
- Eskigun E., Uzsoy R., Preckel P., Beaujon G., Krishnan S., y Tew J. (2005). Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 165 (2005) 182–206.
- Gamboa C., y Aguilar J. A. (2011). Análisis de la red de distribución nacional de polietilenos. *Segundo Congreso Internacional "La Investigación en el Posgrado"*. Unidad de Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Gamboa C., Aguilar J. A., Osorio M. A., y Nuño J. P. (2011a). Mathematical Model for the Analysis of Polyethylene Distribution Network. *2nd International Congress on Instrumentation and Applied Sciences ICIAS 2011*. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM. 978-607-02-2298-6.
- Gamboa C., Aguilar J. A., Osorio M. A., y Nuño J. P. (2011b). Análisis de la red de distribución de polietilenos aplicando el modelo de transporte. *IV Taller Latino Iberoamericano de Investigación de Operaciones*. Acapulco, Gro. México.
- Gamboa, C. y Bandala, M. (2009). Análisis de la red de distribución de amoníaco en el norte y noroeste de México. *Coloquio Interdisciplinario UPAEP 2009*. 978-607-95186-8-4. Recuperado de <http://cecip.upaep.mx/coloquio2009/papers/logistica/02.pdf>
- Gómez, O. y López, N. (2011). *Métodos numéricos para modelos de optimización sin restricciones*. Scribd. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/48848294/No-Lineal-Metodos-Numericos>

- Ghiani, G., Laporte, G., y Musmanno R. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. New York: John Wiley and Sons.
- Gudehus T., y Kotzab H., (2009). *Comprehensive Logistics*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- Guelat, J., Florian, M., y Crainic, T. (1990). *A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows*. Ebscohost. Recuperado de <http://web.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&hid=14&sid=f73aca74-1f47-4332-aa70-9c26372c80ba%40sessionmgr11>
- Hernández, L. (2006). *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante redes neuronales en motores diesel*. Barcelona España: Editorial Reverte.
- Herrera O., y Oscar j. (Septiembre 2009). Modelo de distribución multiproducto y multiobjetivo mixto con ubicación de almacenes. *Vector Universidad de Caldas*, volumen 4, 67-71.
- Klose A., y Drexel A. (2004). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*.
- Langevin A., y Riopel D. (2005). *System Design and Optimization*. The United States of America: Springer Science + Business Media, Inc.
- Lingo (2009). *Optimization modeling tool for linear, non-linear, and integer programming*. Chicago USA, Lingo System Inc, Pearson/Prentice Hall. Recuperado de <http://www.lingo.com/>
- Manimaran P., Selladurai V., y Parthiban V. (2004). A Simulated Annealing Methodology for Multi – Stage Logistics in Supply Chain Network. *GCMM 2004 1st International Conference on Manufacturing and Management ISBN 81-7319-677-X*, pp 351–355.
- Manzini R., y Gebennini E. (2008). Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem. *International Journal of Production Research*, 46 (8), 2061-2086.

- Medina J. F. (2005). *Un enfoque robusto a un problema de diseño de red multiproductos con incertidumbre en parámetros de entrada*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León). Recuperada de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150623.pdf>
- Mejía, G., y Castro E., (2007). Optimización del proceso logístico en una empresa de colombiana de alimentos congelados y refrigerados. *Rev.ing. no.26 Bogotá*, 0121-4993.
- Nagurney, A., Yu M., y Qiang Q. (Febrero, 2010). *Multiproduct Supply Chain Network Design with Applications to Healthcare*. Recuperado de <http://supernet.som.umass.edu/articles/MultiproductSupplyChainNetworkDesignNagurneyYuQiang.pdf>
- Pacherres, G., Villalva, M., Paredes A., y Martínez W. (2009). Red de Distribución de medicamentos en la ciudad de Guayaquil. *Facultad de Economía y Negocios*.
- Parra, E. (1999). *Optimización del Transporte: Modelos resueltos con SOT II*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Paternina, C. D. (2009). *Modelación de redes logísticas en Sinmaf APS*. Slide share. Recuperada de <http://www.slideshare.net/limp1016/redes-de-distribucion>
- Pemex Petroquímica. (Marzo, 2007). *Manual de Inducción* (Versión 01). Coatzacoalcos Veracruz México.
- Pemex Petroquímica. (Mayo, 2009). *Manual de Organización del Centro Administrativo* Clave: MO-400-10000-09, Revisión: 09. Coatzacoalcos Veracruz México.
- Robusté, F. (2005). *Logística del Transporte*. España: Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, SL.
- Serra de la Figuera, D. (2005). *La Logística Empresarial en el Nuevo Milenio*. Barcelona: Ediciones 2000.
- Soret Los Santos, I. (2004). *Logística comercial y empresarial*. Madrid España: ESCI Editorial.

- Soret Los Santos, I. (2006). *Logística y Marketing para la Distribución Comercial*. Madrid España: ESCI Editorial.
- Simchi-Levi D., Kaminsky P., y Simchi-Levi E. (2003). *Designing & Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. New York: Mc Graw Hill Higher Education.
- Taha, H. A. (1995). *Investigación de operaciones*, Quinta Edición, Alfa omega Grupo Editor.
- Veloza, R. (mayo, 2006). Tendencias en el diseño de redes de distribución inspirado en el servicio al cliente. *Actualidad logística*. Recuperado de http://www.komintl.com/pub/eng/wpapers/reprints/atualidad_200506.pdf
- Villegas, K. (2006). *Curso de logística: Red logística*. Recuperado de <http://www.mailxmail.com/curso-concepto-logistica/red-logistica>
- Viveros R., y Salazar E. (junio 2010). Modelo de planificación de producción para un sistema multiproducto con múltiples líneas de producción. *Revista ingeniería de sistemas, Volumen XXIV*. Recuperado de <http://www.dii.uchile.cl/~ris/RISXXIV/Viveros89.pdf>