



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“LOGÍSTICA INVERSA: RED PARA LA RECUPERACIÓN DE
POLIETILENTEREFTALATO, EN TIENDAS DE
AUTOSERVICIO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA
CIUDAD DE MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)**

P R E S E N T A :

HÉCTOR MÁRTINEZ MÁRTINEZ



TUTOR:
M. I. RUBÉN TÉLLEZ SÁNCHEZ

Ciudad Universitaria

OCTUBRE 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Acosta Flores José De Jesús

Secretario: Dr. Fuentes Maya Sergio

Vocal: M.I. Téllez Sánchez Rubén

1er. Suplente: Dr. Aceves García Ricardo

2do. Suplente: Dr. Sánchez Guerrero Gabriel De Las Nieves

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:
M.I. RUBÉN TELLEZ SÁNCHEZ

FIRMA

Dedicatoria

A mis padres:

Por apoyarme en todo momento, quienes desde el alba hasta al atardecer viven la vida intensamente, eso es un agente que me motiva a ser mejor cada día.

A mis hermanos y sobrinos:

Por ser parte esencial en mi formación como ser humano.

A mis compañeros en CASH – DESC Corporativo

Por compartir su visión de la vida y sus conocimientos conmigo.

A la vida misma:

Por ponerme en el tiempo-espacio correcto y dotarme de conciencia para lograr un objetivo más en este transitar por la vida.

Agradecimientos

A la UNAM por hacer de mi un hombre universal, por abrir mi visión del mundo y darme los espacios para ejercitar cuerpo, mente y alma.

A CONACYT por brindarme el apoyo económico para concluir la maestría encumbrada por la presente tesis.

Al M.I. Rubén Téllez por su apoyo incondicional y por ser mi guía en el desarrollo del presente trabajo, sus consejos y enseñanzas están plasmadas en este documento.

A los miembros del jurado, por el valioso tiempo invertido en la revisión del presente documento.

CONTENIDO

RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	ix
Antecedentes	ix
<i>Tendencias mundiales: Oportunidades emergentes</i>	ix
<i>Recuperación de materiales</i>	x
Estado del arte	xi
Justificación de la tesis	Xv
Objetivo	xv
<i>Objetivo general</i>	Xv
<i>Objetivos específicos</i>	xvi
Hipótesis	xvi
Metodología	xvi
Organización de la tesis	xvii
CAPÍTULO I. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	2
1.1. Introducción	2
1.2. Recuperación de residuos sólidos	2
1.3. Generación de los residuos sólidos en México	3
1.4. Reciclaje de residuos sólidos	5
1.5. Ciclo de recuperación de los residuos	6

1.6.	Plásticos y su reciclaje	8
	1.6.1. <i>Recuperación de plásticos vía el reciclaje</i>	8
	1.6.2. <i>Clasificación de los plásticos para su reciclaje</i>	9
1.7.	Polietilén Tereftalato (PET) y su reciclaje	10
	1.7.1. <i>Consumo de PET en envases y embalajes</i>	11
	1.7.2. <i>Generación y recuperación de residuos de PET</i>	12
	CAPÍTULO II. LA LOGÍSTICA INVERSA	15
2.1.	Definición de logística inversa	15
2.2.	Alcance y Clasificación de la logística inversa	15
	2.2.1. <i>Logística inversa de recuperación</i>	16
	2.2.2. <i>Logística inversa de devolución</i>	17
	2.2.3. <i>Logística de recuperación vs logística de devolución</i>	19
2.3.	Contexto de la logística inversa	20
2.4.	La logística inversa como sistema y como red	22
	2.4.1. <i>Logística inversa como sistema</i>	22
	2.4.2. <i>Logística inversa como red</i>	22
2.5.	Administración de la logística inversa	23
2.6.	Retos de la administración de logística inversa	23
2.7.	Implicaciones estratégicas, tácticas y operativas de la logística inversa	26
	CAPÍTULO III. LOGÍSTICA INVERSA Y DESARROLLO SUSTENTABLE	28
3.1.	Introducción	28
3.2.	Desarrollo sustentable en la cadena de suministro: enfoque estratégico	29
3.3.	La sustentabilidad en la gestión de la logística inversa	31
3.4.	Vectores que impulsan la logística inversa	33

3.4.1.	<i>Vector ambiental</i>	34
3.4.2.	<i>Vector económico</i>	39
3.4.3.	<i>Vector Social</i>	40
3.5.	Vinculo de la logística inversa y desarrollo sustentable	41
CAPITULO IV. MODELO PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES		44
4.1.	Introducción	44
4.2.	Modelo	44
4.2.1.	<i>Características del modelo</i>	44
4.2.2.	<i>Descripción del problema</i>	46
4.3.	Modelo matemático	48
4.3.1.	<i>Formulación general</i>	48
4.3.2.	<i>Conjunto de índices</i>	49
4.3.3.	<i>Variables</i>	49
4.3.4.	<i>Costos</i>	49
4.3.5.	<i>Parámetros</i>	50
4.3.6.	<i>Función objetivo y restricciones</i>	50
4.3.7.	<i>Limitaciones del modelo</i>	51
4.3.8.	<i>Simplificación del Modelo</i>	52
CAPÍTULO V. APLICACIÓN DEL MODELO AL ESTUDIO DE CASO		55
5.1.	Introducción	55
5.2.	Redes de recuperación actuales	55
5.3.	Alternativa de red de recuperación	58
5.4.	Aplicación del modelo	58
5.4.1.	<i>Consideración</i>	58

5.4.2. Estructura de la red	60
5.4.3. Estimación de costos	62
5.4.4. Estimación de parámetros	69
5.5. Resolución del modelo en Hoja de cálculo de Excel	70
5.5.1. Uso del solver	71
5.5.2. Resultados	71
5.6. Análisis e interpretación de resultados	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
Conclusiones	79
Recomendaciones	80
ANEXO I. PLANTILLA DE HOJA EN EXCEL	83
ANEXO II. FÓRMULAS DE LA PLANTILLA DE HOJA EN EXCEL	86
BIBLIOGRAFÍA	91

Resumen

“...El conocimiento es en todos los países la base más segura de la felicidad pública.”

*George Washington, [1732-1799]
discurso al congreso, 8 enero 1790.*

RESUMEN

Durante millones de años la vida en el planeta ha evolucionado, cambiado y adaptado a las condiciones imperantes, aun cuando éstas sean muy drásticas. Parte de este éxito radica en el hecho de que en los sistemas naturales existen flujos hacia adelante y hacia atrás que permiten mantener un equilibrio, donde los materiales usados son asimilados por el sistema a una razón proporcional a la que son generados nuevos recursos, esto implica, un continuo reciclaje de los materiales, evitando con ello el agotamiento de los recursos.

A pesar de que estos mismos principios de equilibrio presentes en la naturaleza pueden ser adaptados a los sistemas de producción industriales, la industria no ha implementado estrategias que permitan mantener un equilibrio, que además de mantenerlo, permita ahorrar recursos, con impacto directo en el cuidado del medio ambiente.

Dentro de las estrategias que las industrias pueden poner en práctica alineado a este principio de equilibrio están:

- Incrementar la productividad de los recursos naturales, significa obtener más producto por insumo, pero no sólo en un eslabón de la cadena, sino en toda la cadena de valor, desde la extracción de la materia prima hasta que el producto llega al cliente, una manera de hacerlo es eliminando o reduciendo los flujos residuales que aparentemente no tienen valor.
- Imitar los procesos de la naturaleza, que los residuos de un sistema sean el alimento de otro sistema, que no se considere a los residuos como el último eslabón de la cadena, sino que sean reintroducidos en las cadenas de producción, ya sea en la que le dio origen o en otra, esto es impulsar el flujo en sentido inverso.
- Cambiar a esquemas que hacen énfasis en promover la recuperación del valor de los bienes en todo el ciclo económico, donde la responsabilidad del productor no termina en poner en manos de los clientes los bienes producidos, sino en asegurar que exista una disposición adecuada de los mismos una vez que han finalizado su tiempo de vida útil.
- Asegurar que habrá recursos en el futuro, mejorar la responsabilidad ambiental, la imagen de la empresa y promover un mayor conocimiento del cliente por el medio ambiente.

Así como, en los sistemas naturales existe una constante evolución de los seres vivos, para su existencia, las empresas deben estar en constante evolución, adaptándose e innovando para poder ser competitivas, al no hacerlo se corre el riesgo de perecer.

Ahora bien, la incorporación de las estrategias anteriores dentro de las empresas para mantenerse competitivas y a la vanguardia implica adoptar mecanismos que permitan implementarlas. La implementación puede apoyarse de la **logística inversa**, un concepto que hace énfasis en el flujo inverso y de recuperación de materiales.

Desde un enfoque empresarial, la logística inversa incluye todas las actividades que definen a la logística, pero a diferencia de la logística que se ocupa del flujo de materiales de proveedores-productores-clientes, la logística inversa se ocupa del flujo que se da de cliente-productor-proveedor.

La logística inversa es un tema multienfoque donde confluyen diversas disciplinas, dejando de ser un tema emergente para convertirse en una realidad, que abre la posibilidad de nuevos negocios a través de las oportunidades que se presentan en la recuperación y reutilización de productos, subproductos y residuos, así como en evitar pérdidas por la devolución de materiales que por diversas causas no llegan al cliente final.

La logística inversa se está abriendo paso de manera importante por las oportunidades antes mencionadas, no sólo para una empresa, sino para todo el conjunto de integrantes de una cadena productiva, puesto que por un lado se desarrollan mecanismos en pro del medioambiente, y por otro, se captura valor de los considerados productos de uso final, comúnmente llamados desechos, en toda la cadena de valor.

En un principio promovida por aspectos regulatorios, sobre todo de corte ambiental, la logística inversa también ha sido impulsada por cuestiones económicas, e inclusive sociales, en el cuál se pretende ligar la preferencia de los clientes con los retos de las empresas por el reciclaje y el uso de productos amigables con el ambiente. Así, la logística inversa adquiere una connotación de estrategia de negocio económico-ambiental-social. Las partes económica, ambiental y social son los tres elementos del desarrollo sustentable, de forma que, la instrumentación del Desarrollo Sustentable puede tomar como punto de apoyo a la logística inversa, con lo que la logística inversa puede catalogarse dentro de los puntos estratégicos de las empresas.

Pero al igual que el desarrollo sustentable puede apoyarse de la logística inversa para ser instrumentada, la logística inversa requiere de herramientas que permitan identificar, de manera cualitativa y cuantitativa, las oportunidades de minimización de costos o maximización de beneficios dentro de una determinada cadena de valor.

De aquí que las técnicas de investigación de operaciones jueguen un papel fundamental como herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la instrumentación de procesos de logística inversa. Las técnicas de investigación de operaciones pueden contribuir a una mejor formulación y resolución de la problemática asociada a la logística inversa, específicamente en la recuperación de productos en la cadena de suministro, como lo es el reciclo de materiales.

Una de estas técnicas es la Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), recalcando que es una herramienta de soporte para la toma de decisiones en la gestión de recuperación de materiales. La modelación usando PLEM para la solución de problemas de logística inversa no es fácil; no obstante, un modelo de una red de logística inversa en principio toma muchos de los elementos que definen a un modelo de red logística con flujo hacia adelante, pero incorpora nuevos elementos que definirán la estructura característica de este tipo de redes.

En principio, en el diseño de una red de logística inversa de recuperación se busca como objetivo la optimización de la recuperación de los productos fuera de uso, al tiempo que se generan oportunidades competitivas para la empresa, por lo que el uso de PLEM donde la función objetivo del modelo matemático es minimizar los costos de inversión, transportación y operación, cubre de manera aceptable el objetivo primario de la red.

A pesar de que la modelación no es fácil, existen modelos genéricos que describen de manera significativa una red de logística inversa. Uno de estos modelos es tomado para la solución del problema asociado a la generación de residuos de Polietilén Tereftalato (PET) provenientes principalmente de envases que contiene productos como refrescos, agua, entre otros.

Introducción

*“---Tener una opinión verdadera sin poder dar razón de ella.
¿No sabes que esto ni es ser sabio, por que la ciencia debe
fundarse en razones; ni ser ignorante, puesto que lo que
participa de la verdad no puede llamarse ignorancia? La
verdadera opinión ocupa un lugar intermedio entre la ciencia y
la ignorancia.”*

*Platón, [428-347 a.c.]
Diálogos*

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Tendencias mundiales: Oportunidades emergentes

La década de 1970 fue la década de la calidad, durante la cual las compañías invirtieron en la mejora de la calidad de los productos que ofrecían, la calidad total era el concepto emergente.

En la década de 1980, una vez que el concepto de la calidad estaba instalado en muchas empresas y otras tantas se sumaban a esta corriente, el panorama competitivo cambió, enfocándose a aspectos relacionados con la producción como Justo a tiempo (*just in time* o JIT, en inglés), manufactura flexible, cero inventarios, etc., a fin de tener una excelencia en la producción.

En la década de 1990, la globalización de los mercados y ciclos de vida del producto más cortos dieron lugar al concepto de cadena de suministro, término acuñado a mediados de la década de 1980's como una aplicación particular del concepto "cadena de valor", introducido originalmente por *Michel Porter* en "*Competitive Advantage*"¹.

Para la década de 1990, en muchos sectores como la industria de alimentos, farmacéutica, semiconductores, electrónica, telecomunicaciones, automotriz, entre otros, se invirtió de manera importante a fin de mejorar en aspectos como inventario, servicio al cliente, tiempo de respuesta, y desde luego en mejorar la eficiencia operacional.

Paralelamente, las nuevas tecnologías (de comunicación, Internet, etc.) permitieron una mejor integración de la cadena de suministro, tanto al interior de la empresa, mejorando los sistemas logísticos, como al exterior con los proveedores y clientes. Las tecnologías de información hicieron más fácil, rápido y barato el manejo de la información, al tiempo que permitieron mejorar la interacción con el cliente desde que se hacen los pedidos hasta que estos son surtidos.

El inicio del siglo XXI, está caracterizado por nuevos derroteros; el surgimiento de nuevos enfoques, un mercado globalizado, la gestión basada en la demanda² y desarrollo sustentable, son elementos clave que implica trabajar de manera muy cercana con los clientes, así como con los proveedores, para ser más competitivo y maximizar el valor de la cadena del sector en el cual se compete.

¹ Porter, Michael E., "***Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors***", Free Press, 1980.

² Lee, Hau L. "***Ultimate Enterprise Value Creation Using Demand-Based Management***", Stanford University, Stanford Global Supply Chain Management Forum. September, 2001. p. 1

Recuperación de materiales

La recuperación de materiales tiene sus antecedentes en los albores de la civilización, e inclusive tiempo atrás donde el hombre de la edad de piedra ya utilizaba las esquirlas obtenidas de la fabricación de sus utensilios para la fabricación de puntas de flechas.

Aún se puede ir más atrás, si se considera que en los sistemas naturales dentro de las cadenas alimenticias el proceso de recuperación de materiales es parte fundamental para la existencia de la vida, sin la reutilización y recuperación de la materia y la energía no habría equilibrio de los ecosistemas, y peor aun, los sistemas estarían estancados sin posibilidad de evolución.

Durante miles de años, los seres humanos y sus civilizaciones no significaron una fuente importante de destrucción del medio ambiente, dado que los procesos de explotación de los recursos naturales eran muy rudimentarios lo que permitía la renovación y la recuperación de los mismos.

Con la revolución industrial se aceleró el crecimiento de la economía mundial al pasar de una economía basada en actividades agrarias y artesanas a una economía basada en actividades industriales, pero también se aceleró el uso intensivo, extensivo e irracional de los recursos naturales promovidos por los avances científicos y técnicos que sustentaban el crecimiento económico de esa época.

No fue sino hasta mediados del siglo XX, cuando los procesos de destrucción del medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales se hacen evidentes, ante estos hechos se hace presente de manera más acentuada la conciencia medio ambiental de los diferentes sectores de la sociedad. Es a partir de la década de los 70's cuando comienzan a plantearse formas alternas de desarrollo económico para evitar continuar con los procesos de deterioro ambiental, así como mecanismos de apoyo a la conservación de los recursos naturales, y la recuperación y saneamiento del medio ambiente.

En 1980's se intensificó la preocupación por el medio ambiente, la sociedad intentó cambiar de manera progresiva actitudes y patrones de conducta, incluyendo los de consumo, que le permitieran reducir los impactos negativos al medio ambiente y eventualmente mejorarlo. A esto se sumó el ámbito industrial y empresarial donde las variables ambientales comenzaron a formar parte en la formulación de las estrategias de negocio, de hecho para muchas de las empresas multinacionales la presentación de reportes medioambientales a los accionistas comenzó a gestarse.

Si bien es cierto que, la preocupación de la sociedad es un elemento catalizador para la preservación y cuidado del medio ambiente, un gran imperativo es el aspecto legal, acentuado sobre todo en la década de los 90's, especialmente en Europa donde se establecieron las bases para el cumplimiento legal de la recuperación, reciclaje y/o disposición adecuada de materiales, y en Estados Unidos donde las cuotas de disposición y transportación de residuos se incrementaron³.

³ Brito, Marisa P. / Dekker, Rommert, "[Reverse Logistics – a framework](#)", Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute Report EI 2002-38, 2002.

Es en la década de los 90's cuando las empresas comienzan a trasladar el concepto de desarrollo sustentable a las estrategias de negocio, pasando de un modelo meramente económico a un modelo económico-ambiental-social, reconociendo que, para ser competitiva, la empresa debe conseguir entrelazar la calidad, la innovación y el medio ambiente.⁴

Esto marcó el preámbulo de recuperación de materiales dentro del terreno estratégico de las empresas, específicamente como gestión de residuos incluida muchas veces dentro de otros elementos de gestión como: sistemas de gestión de ambiental (ejemplo ISO 14000), producción más limpia, diseño para el ambiente, evaluación del ciclo de vida, etc.

El inicio del siglo XXI deja la gestión de materiales de recuperación como un área muy amplia en la que se mezclan distintas áreas del conocimiento, por lo que el tema puede abordarse desde diversos enfoques, como lo es la arista ambiental o bien desde la óptica de logística inversa.

Las actividades de recuperación que subyacen en la logística inversa no son nuevas, ni son inventadas. Sin embargo, desde la perspectiva de negocios, el término logística es un concepto novedoso, que hace referencia tanto a la recuperación como a la devolución de los productos, subproductos y todo tipo de materiales susceptibles de ser introducidos en los procesos productivos, a través de acciones como la reducción en el origen, reuso, reciclaje, disposición de residuos, reparación, remanufactura, entre otras actividades.

En la última década (finales de los 90's a la actualidad) el tema de logística inversa ha sido citado con mayor frecuencia en libros, artículos, tesis, ponencias, conferencias, seminarios y talleres, demostrando su aplicación e interés por diversos sectores de la sociedad (industria, gobierno, academia, et.). Debido en gran parte a que a traspasado fronteras, al convertirse de un tema ambiental a un tema multienfoque, brindando nuevas oportunidades en la cadena de suministro y creando una nueva área en la logística empresarial.

Estado del arte

Los trabajos relacionados con logística inversa se han incrementado en los últimos años, tanto en la práctica como en la parte académica. Los primeros trabajos académicos datan de la década los 70's en los que se analiza el problema de la estructura de los canales de distribución en la industria del reciclaje, el motivo principal de estos estudios era eminentemente de carácter ambiental^{5,6}.

Es a partir de la década de los 90's cuando se comienzan a abordar nuevos temas y se hacen estudios con mayor profundidad, se analiza la problemática de escasez de recursos naturales, pero también se abre la posibilidad de nuevos negocios a través de las oportunidades que se presentan en la recuperación y reutilización de productos, subproductos y residuos.

⁴ Ottman, Jacquelyn, "[Green Marketing: Opportunity for Innovation](#)", J. Ottman Consulting. 290 pp.

⁵ Guiltinan, J. and Nwokoye, N. "**Reverse channels for recycling: an analysis for alternatives and public policy implications**"., New marketing for social and economic progress, Combined Proceedings. American Marketing Association, 1974.

⁶ Ginter, P. M. and Starling, J. M. "**Reverse distribution channels for recycling**". California Management Review 20, 73-82. 1978.

Es en esta década donde el concepto de logística inversa comienza usarse, a raíz de un documento publicado por el *Council of Logistics Management (CLM)* de Estados Unidos, dónde se define la lo logística inversa como:

*"Logística inversa: en una perspectiva de logística de negocios, el término se refiere al papel de la logística en el retorno de productos, reducción en la fuente, reciclado, sustitución de materiales, disposición de residuos, reparación y remanufactura..."*⁷

Los primeros libros publicados en la materia datan de 1992, donde *Stock*⁸, introduce el término de logística inversa, abordando el tema desde la reducción de residuos. Basado en entrevistas con instituciones del gobierno y la industria, el autor concluye que la logística inversa aún estaba en la etapa de gestación.

Las conclusiones de este estudio llevaron al *CML* en 1993 a patrocinar un segundo estudio con el objetivo de detectar las oportunidades que ofrecía la logística inversa en el contexto del reuso y reciclaje de materiales, el estudio detectó un rápido involucramiento de las empresas pioneras en programas de reducción de residuos⁹.

En el tercer estudio del *CML*¹⁰, dedicado a implementar y desarrollar la logística inversa, se analizaron los roles de la logística inversa en diversos temas tales como: devolución de productos, reducción en la generación de residuos, reciclaje, reparación y refabricación; desarrollando para ello modelos de gestión que combinan las técnicas de ingeniería logística y los modelos de gestión empresarial a fin de hacer rentable el flujo de retorno de los productos fuera de uso en toda la cadena de suministro.

En 1998, *Kostecki*¹¹, agrega un nuevo enfoque a la logística inversa al introducir un acercamiento de comercialización, que pretende ligar las preferencias de los clientes con los retos de las empresas por el reciclaje y uso de productos de consumo.

En ese mismo año, *Rogers y Tibben-Lembke*¹², condujeron una serie de entrevistas dentro de 150 empresas de Estados Unidos, a fin de establecer el estado del arte desde el ámbito empresarial, y determinar las mejores prácticas y tendencias de la logística inversa.

Bloemhof-Ruwaard y otros(1995)¹³, son los pioneros en establecer los vínculos entre la investigación de operaciones y la gestión del medio ambiente desde dos perspectivas:

⁷Stock, James R. "[Reverse Logistics in the Supply Chain](#)", Business Briefing: Global purchasing and supply chain strategies, October 2001, p 44.

⁸Stock, James. R., "**Reverse Logistics**", Council of Logistics Management, Oak Brook, IL. 1992

⁹Kopicky R. J. / et al., "**Reuse and recycling: reverse logistics opportunities**". Council of Logistics Management, Oak Brook, IL., 1993.

¹⁰Stock, James.,R. . "**Development and implementation of reverse logistics programs**". Council of Logistics Management. Oak Brooks. Illinois. 1998.

¹¹ Kostecki Michel., "**The durable use of consumer products: new options for business and consumption**", Kluwer Academic Publishers. 1998.

¹²Rogers, D. S. and Tibben-Lembke, R. S. "[Going Backwards: reverse logistics trends and practices](#)". Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA. 1998.

¹³Bloemhof-Ruwaard, J. M, Van Beek, P., Hordijk, L. y Van Vassenhove, L. "**Interactions between operational research and environmental management**". European Journal of Operational Research 85, 229-243. 1995.

- i. El impacto en la cadena de suministro, analizando cómo los aspectos ambientales afectan el suministro, la planificación de la producción, distribución, almacenamiento, y en general todas las actividades logísticas.
- ii. Cómo las técnicas de investigación de operaciones pueden contribuir a una mejor formulación y resolución de la problemática ambiental, específicamente en la recuperación de productos en la cadena de suministro.

Fleischmann y otros (1997)¹⁴, hacen una compilación de más de 30 modelos de investigación de operaciones aplicadas a la logística inversa. Los modelos se agruparon en tres categorías: sistemas de distribución, control de inventarios y planeación de la producción. Los autores concluyen que las aportaciones son parciales, y que el campo en la materia presentaba muchos retos y oportunidades, sobre todo en el desarrollo de modelos teóricos que soportaran el gran número de trabajos empíricos desarrollados.

Otro trabajo de recopilación es el publicado por *Carter y Ellram* en 1998¹⁵, en este estudio se analizan las principales contribuciones en temas como: aspectos generales y desarrollos teóricos, transporte y embalaje, y mercados finales. Los autores hacen énfasis en que los trabajos desarrollados carecen de un fundamento teórico y son más bien de tipo descriptivos y anecdóticos.

Gugor y Gupta (1999)¹⁶, presentan una revisión exhaustiva de la literatura de más de 300 artículos y libros de manufactura y recuperación de productos desde el punto de vista ambiental, haciendo un énfasis en la “manufactura ambientalmente conciente” (*ECM*, por sus siglas en inglés), promovida principalmente por aspectos regulatorios y presiones de los consumidores.

Más recientemente *Fleischmann* (2000)¹⁷, estudia entre otras cuestiones, cómo pueden describirse las características de los sistemas de logística inversa a través de modelos cuantitativos y de esta forma, mejorar los procesos de toma de decisiones.

Por su parte *Dowlatshahi, Shad* (2000)¹⁸, describe una visión holística de la logística inversa y propone 11 puntos para la implementación exitosa de los casos de estudio publicados, estos puntos los agrupa en:

- i. *Estratégicos*. Estrategia de costos, calidad total, servicio al cliente, conciencia ambiental y aspectos regulatorios; y
- ii. *Operacionales*. Análisis de costo beneficio, transportación, distribución, manejo del suministro, remanufactura y reciclaje, y empaques.

¹⁴ Fleischmann, Moritz, et. al., “**Quantitative models for reverse logistics: A review**”, European Journal of Operational Research, Volume 103, Issue 1, 16 November 1997, Pages 1-17

¹⁵ Carter, C. y Ellram, L. M.. (). “**Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation**”. Journal of Business Logistics 19 (1), 85-104. 1998.

¹⁶ **Gungor, Askiner a and Gupta, Surendra M.** “**Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey**”. Computers & Industrial Engineering, Volume 36, pp. 811–853. 1999

¹⁷ Fleischmann, M. “**Quantitative models for reverse logistics**”. ERIM Ph.D. Series Research in Management, Oct. 2000.

¹⁸ Dowlatshahi, Shad. (2000). “**Developing a reverse logistics theory**”. Interfaces 30 (3), pp. 143-155.

De Brito y otros (2003)¹⁹, realizaron una revisión de más de 60 estudios de logística inversa, cubriendo aspectos como: diseño de la red, control de inventarios y tecnología de información.

La mayoría de los estudios analizados son de casos de situaciones reales, encontrándose que en Norteamérica el principal motivo son los aspectos económicos, en tanto que en Europa el principal vector que ha impulsado estos estudios son cuestiones regulatorias.

Uno de los estudios más recientes es publicado por Brito (2004)²⁰, en cuya tesis doctoral hace una exhaustiva revisión de los casos publicados en logística inversa, clasificando dichos casos en los rubros siguientes:

- I. **Diseño de redes logísticas inversas.** Redes para la redistribución, reventa, remanufactura y reciclaje (públicas y privadas).
- II. **Relaciones entre los involucrados.** Herramientas para estimular o forzar cambios en el comportamiento de otros participantes de la cadena de suministro.
- III. **Gestión de inventario.** Devoluciones por aspectos funcionales, comerciales, de servicio, fin de uso y fin de tiempo de vida.
- IV. **Planeación y control.** Recuperación de materiales combinada con distribución y recuperación combinada con producción.
- V. **Tecnología de información para la logística inversa.** Sistemas de soporte en las etapas de manufactura, distribución y servicio al cliente.

El estudio indica que 60% de los casos corresponde a la industria de la manufactura, 20% al sector de distribución y comercio minorista y un 10% en el sector de la construcción, el resto a otras categorías. De estos, alrededor del 30 % corresponde a productos como papel y plásticos, 20% involucra bebida, tabacos y textiles, y un 10 % a minerales y metales. En todas las categorías, se encontró que la mayoría de los casos corresponde a la recuperación de productos con alto valor económico.

A la serie de libros y artículos publicados a la fecha, se suma los trabajos desarrollados por grupos multidisciplinares, donde confluyen diferentes disciplinas y sectores, dentro de los que se pueden citar:

- REVLOG European Working Group. Revlog, es un grupo internacional cuya línea principal de investigación es el análisis de los temas de logística inversa y el impacto que estos tienen en la industria y la sociedad.
- RELOOP. (*Reverse logistic chain optimisation in a multi-user trading environment*): El objetivo de RELOOP es desarrollar herramientas para la planeación y control de cadenas de suministro para los procesos de reciclaje y el apoyo a las actividades operacionales. El proyecto contempla una optimización multicriterio que contempla: i) enfoque en costos, ii) temas ambientales, iii) restricciones gubernamentales, iv) estrategias de reciclaje, v) diseño de productos.

¹⁹ Brito, M. P., Dekker, R., and Flapper, S. D. P. "[Reverse logistics: a review of case studies](#)". Report Series Research in Management ERS-2003-012-LIS, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands. 2003

²⁰ Brito Pereira Maduro, Marisa P. "[Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?](#)", Erasmus Research Institute of Management (ERIM), Erasmus University Rotterdam, 2004.

- *Reverse Logistics Executive Council*. Agrupación conformada por varias empresas, con apoyo de universidades, busca acoplar el desarrollo de trabajos académicos con los casos que se presentan en la vida real en la industrial

En el ámbito doméstico, los trabajos desarrollados en logística inversa son escasos, destaca el análisis desde la óptica empresarial realizado por *Antun* (2004)²¹, el autor plantea la reducción de insumos vírgenes, reciclado, sustitución de materiales y la gestión de residuos como los objetivos clave en los procesos de logística inversa.

El camino de la logística inversa es aún verde, con muchos retos y oportunidades, sobre todo a nivel nacional, donde el desarrollo de trabajos académicos aplicados a la industria prácticamente es inexistente, muchos de los trabajos desarrollados a la fecha son de carácter empírico y carecen del fundamento estructurado y metódico que permita potencializar la logística inversa.

Justificación de la tesis

El desarrollo sustentable y la logística inversas son conceptos que han surgido ante la necesidad de las empresas de mantener un equilibrio entre lo ambiental, lo económico y lo social, y que este equilibrio se vea reflejado en generación de valor para mantenerse competitivas.

La puesta en marcha de estos conceptos requiere del uso de herramientas que permitan a las empresas visualizar los beneficios potenciales que representa trabajar bajo ambos conceptos. Una de estas herramientas son las técnicas de investigación de operaciones, que permiten cuantificar de manera directa o indirecta los beneficios asociados a la implementación de procesos de logística inversa.

De aquí que surja la necesidad de aplicar las técnicas de investigación de operaciones, concretamente Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), a la recuperación de envases de Polietileno Tereftalato (PET), y con ello obtener resultados que permitan la toma de decisiones a las empresas para capturar valor de los residuos, al tiempo que se minimizan los efectos negativos al medio ambiente.

Objetivo

Vistos los antecedentes de la recuperación de los materiales a través de la logística inversa y los trabajos realizados a la fecha en la materia, los objetivos planteados para el presente trabajo son los siguientes:

Objetivo general

Aplicar una herramienta de análisis para el diseño de una red de logística inversa de recuperación, que sirva de soporte en la toma de decisiones a las empresas que trabajan en procesos de logística inversa.

²¹Antún, Juan P., "*Logística verde: Estrategias para implantarla y casos de éxito en Latinoamérica*", Encuentro Mundial de Logística 2004, Monterrey, Febrero 2004.

Objetivos específicos

- Analizar las tendencias y oportunidades asociadas a la recuperación de valor de residuos, como una aplicación de la logística inversa de recuperación.
- Analizar los vectores que han impulsado a la logística inversa. Vinculando los elementos que soportan el desarrollo sustentable como los vectores que han impulsado el desarrollo de la logística inversa.
- Analizar un modelo genérico de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM) para aplicarlo a una red de logística inversa de recuperación.
- Diseñar una red alterna para la recuperación de los residuos de envases de Polietileno Tereftalato (PET).
- Aplicar el modelo genérico de PLEM a la red alterna de recuperación planteada.

Hipótesis

- Los pilares del desarrollo sustentable: cuidado del medio ambiente, crecimiento económico y responsabilidad social; a través de la productividad de recursos, la innovación, la participación y el involucramiento aplicados a la logística inversa generarán ventajas competitivas a las empresas que implementen iniciativas en esta área.
- Las técnicas de investigación de operaciones pueden contribuir a una mejor formulación y resolución de la problemática asociada a la logística inversa, específicamente en la recuperación de productos en la cadena de suministro, vía el reciclaje de materiales.
- Un modelo genérico puede representar de manera significativa una red de recuperación, existente o nueva, obteniendo resultados que apoyen en la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo.

Metodología

Dado los elementos de una red de recuperación inversa el modelo que se plantea cumple las características de Programación Matemática Lineal del tipo Entera-Mixta. Esto es, dentro de la tesis se aplicará un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM).

Este modelo resuelve de manera aceptable el problema asociado a una red para la recuperación de materiales que han concluido su vida útil. Para validar la utilidad del modelo en redes de logística inversa se desarrollará un estudio de caso aplicado a una red de recuperación de Polietileno tereftalato, en tiendas de autoservicio de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

El modelo de PLEM contiene parámetros y variables que serán calculados de forma directa mediante los datos proporcionados por diversas instituciones del sector privado y público. En otros casos, no es posible obtenerlos de manera directa, por lo que serán estimados a partir de la información disponible en la región de análisis.

La resolución del modelo de PLEM aplicado a una red de logística inversa se realizará en un paquete computacional de uso convencional, que servirá, por un lado, para verificar la validez del modelo y por otro, ver si el paquete tiene los elementos suficientes para resolver este tipo de modelos.

Organización de la tesis

La presente tesis inicia con una parte introductoria donde se presentan los elementos que llevan a desarrollar esta tesis. En este apartado se indica que la logística inversa es una área relativamente nueva dentro de la cadena de suministro, con muchas oportunidades, especialmente en la recuperación de materiales, donde no sólo intervienen cuestiones de carácter ambiental, sino también económicas, por lo que abre un nuevo campo de negocios dentro de la logística empresarial.

Así mismo, se presenta un bosquejo de los principales trabajos desarrollados a la fecha en el tema de la logística inversa, indicando que en el desarrollo de estos trabajos las técnicas de investigación de operaciones han apoyado en encontrar soluciones en casos que se presentan en la práctica.

El capítulo I comprende el marco de referencia, hace alusión al estudio de caso en el cuál se aplicará el modelo propuesto en el capítulo IV. Se describe de manera breve, pero de forma concisa, el problema de la generación de residuos sólidos en México, que en la mayoría de los casos, son dispuestos de manera inadecuada, por lo que, las oportunidades de optimización de operaciones de manera sustentable, bajo criterios ambientales, sociales y económicos en un marco integral y de responsabilidad compartida en la gestión de residuos son muchas, si se considera que sólo un pequeño porcentaje de los desechos sólidos es recuperado.

Los capítulos II, III y IV comprenden el marco teórico. En el capítulo II se aborda el contexto de la logística inversa, iniciando con la definición, el alcance de la logística inversa y la clasificación de la misma. Considerando que presenta las mismas áreas que lo logística hacia delante, la logística inversa puede considerarse como la gestión de productos y recursos en el flujo inverso, con punto de origen en los clientes.

Se analiza a la logística inversa en dos grandes vertientes, la logística inversa de recuperación y la logística inversa de devoluciones. Es en este capítulo donde se analizan las características y las opciones de gestión para cada una de estas vertientes.

Por otro lado, se presenta el contexto de la logística inversa dentro de la cadena de suministro, señalando a la logística inversa como una función fundamental en la gestión de la cadena de suministro por los enormes beneficios a nivel táctico y estratégico que representa.

También se señala que, la logística inversa puede ser considerada como un sistema y representada como una red, con lo que se refuerza la idea de que la logística inversa presenta las mismas características de su contraparte de flujo hacia delante. Dado que, la logística inversa puede ser considerada como sistema, puede administrarse como tal, de manera que la gestión del sistema implica determinados retos, al igual que la gestión de la cadena de suministro.

Por último, dentro de este capítulo se señalan las implicaciones estratégicas, tácticas y operativas de la gestión de la logística inversa dentro de la empresa.

En el capítulo III se hace un análisis de la importancia que tiene la logística inversa dentro del desarrollo sustentable y el desarrollo sustentable dentro de la logística.

Se señala que la logística inversa puede ser un instrumento de apoyo a la implantación del concepto de desarrollo sustentable dentro de las empresas. Así como, lo fundamental que resulta involucrar los aspectos ambiental, económico y social, dentro de la logística inversa. Con esta visión, se considera que las empresas pueden amalgamar ambos conceptos brindando la posibilidad de generar nuevas oportunidades de negocio y la generación de ventajas competitivas, en otras palabras, la generación de valor de manera sustentable.

Es dentro de este capítulo donde se identifica que los vectores que han impulsado la logística inversa son los mismos elementos que conforman el desarrollo sustentable. El vector ambiental soportado por las acciones legislativas tanto a nivel internacional como a nivel doméstico han venido a dar un impulso al tema de la logística inversa dentro de las empresas.

De igual manera, el argumento económico a través de estrategias como el incremento de la productividad de los recursos, la imitación de los modelos de la naturaleza y la reinversión en capital natural han significado un catalizador para la logística inversa.

Para completar la tercera, se analiza el vector social como un elemento fundamental que ha impulsado las incitativas dentro de la logística inversa, sobre todo en la instrumentación de las mismas.

El capítulo IV está enfocado a analizar el modelo matemático utilizado como herramienta para la instrumentación del concepto de la logística inversa de recuperación.

Partiendo de la descripción del problema, cuyo planteamiento general hace uso de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), se prosigue en la formulación de la función objetivo, y las restricciones, así como de los índices, variables, costos, parámetros, que en su conjunto integran el modelo matemático. Modelo que tiene como objetivo minimizar los costos fijos (de apertura de instalaciones) y costos variables (operativos) sujeto a una serie de restricciones técnicas y económicas.

Al final de este capítulo se hace una simplificación del modelo general, en el que se elimina la penalización por insatisfacción de la demanda y la penalización por no recuperar el producto fuera de uso. Además de simplificar el modelo, se eliminan elementos que no están presentes en la realidad en el estudio de caso que se hace dentro del capítulo V .

Finalmente, el capítulo V está destinado a la estimación y cálculo de datos, parámetros y variables contemplados en el modelo general aplicándolo al caso de estudio.

Es aquí, donde se plantea una red alterna para la recuperación de envases de PET, utilizando como centro de acopio a las mismas tiendas de autoservicio, que para efectos del modelo cumplen una doble función, servir como centros de distribución, al igual que como centros de recuperación.

Conjuntamente a la estimación de valores necesarios para la aplicación del modelo, se presenta la estructura de la red alterna, aplicada para la recuperación de PET dentro de dos municipios de la zona conurbana de la ciudad de México.

La solución del problema numérico se hace utilizando hoja de cálculo de EXCEL, con la activación de la función solver. Los resultados obtenidos son analizados, considerando las limitaciones del modelo y las limitaciones dada la información disponible.

Capítulo I

Generación de residuos sólidos

“Puede ser que la argumentación no baste con el descubrimiento de un nuevo trabajo, por que la sutileza de la naturaleza es muchas veces mayor que la del argumento.”

*Francis Bacon, [1561-1625]
Novum Organon*

CAPÍTULO I. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

1.1. Introducción

Este apartado tiene por objetivo presentar un panorama general de la problemática de los residuos sólidos en México, partiendo de lo general, que es la generación de residuos sólidos a nivel nacional, y, haciendo un acercamiento a lo particular, que es la generación de residuos provenientes del *Polietilen Tereftalato* en la ciudad de México.

Las cifras de generación de residuos y de reciclaje dan una idea de la magnitud del problema, y las potenciales oportunidades de negocio en el área.

Aun cuando, los residuos provenientes de envases de Polietilen Tereftalato (PET) sólo representan el 1.5 % en peso (entre un 7 a 10 % en volumen) del total de los residuos sólidos de los rellenos sanitarios, la industria del sector reconoce que existen posibilidades de optimización de operaciones de manera sustentable, bajo criterios ambientales, sociales y económicos en un marco integral y de responsabilidad compartida, como se describe ampliamente en el capítulo III.

Esta es la visión del presente capítulo, mostrar la perspectiva del problema de generación de residuos y las oportunidades de optimización que pueden darse aplicando un modelo matemático como el descrito en el capítulo IV.

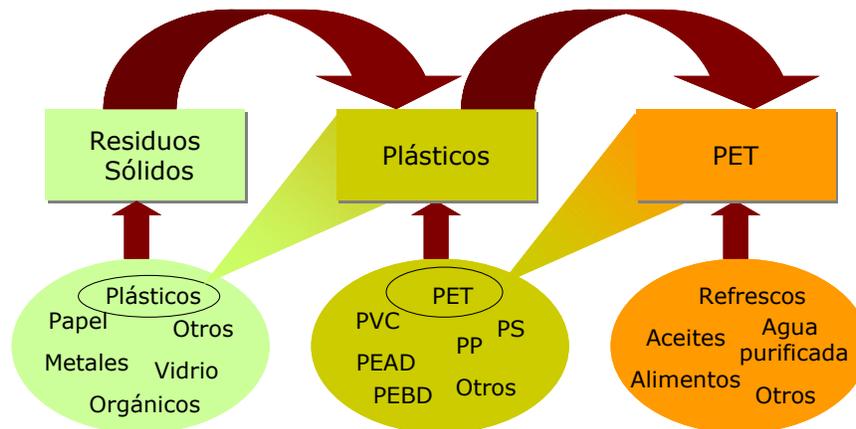
1.2. Recuperación de residuos sólidos

En principio todo material es susceptible de recuperación, eliminando con ello la posibilidad de enviarlos a sitios de disposición final. No obstante, dadas las condiciones regulatorias, ambientales y culturales del país esto no se da. De aquí que existan iniciativas encaminadas a abatir el problema de la generación de materiales que al final de su vida útil no tienen recuperación de valor, llamados también residuos. Al recuperar estos materiales se estaría logrando un doble objetivo, por una parte obtener valor económico de dichos materiales, por otro, abatir el problema ambiental que existe alrededor de la generación de los residuos.

Una opción de recuperación de los residuos es mediante el reciclaje de los mismos, existen muchas oportunidades de negocio en esta área. Sin embargo, el porcentaje de recuperación con esta opción es muy bajo, en el caso de los plásticos la cantidad recuperada es menor del 1 %, el reto es encontrar mecanismos a nivel estratégico, táctico y operativo a fin de disminuir la generación de estos residuos, en los que se incluya la participación de industria, gobierno y sociedad. Comprender el ciclo de los residuos para su reciclaje es una herramienta de suma importancia, en la generación de alternativas para la gestión integral de los residuos.

Partiendo de lo general, los residuos sólidos, en el presente capítulo se hace un acercamiento a los plásticos, y más específicamente al Polietileno Tereftalato (PET) (figura I-1) material que en los últimos años ha recibido una atención especial por su creciente uso en muchas aplicaciones y por las posibilidades de reciclaje que tiene.

Fig. I-1. El universo de los residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia

1.3. Generación de los residuos sólidos en México

En las últimas décadas, en México se han realizado estimaciones de la generación de residuos sólidos, a la fecha se han publicado diversos estudios^{1,2,3,4,5} con cifras diferentes en cuanto a la generación de los residuos sólidos en el país. ICA⁶ estimó que en el año 2000 la cantidad de residuos sólidos generados por habitante y por día era de 865 g, tomando este valor como referencia y considerando que en el 2004 la población estimada de México era de 105,349,837⁷, se tiene una cantidad estimada de 91,127.61 toneladas por día (33,261,577.29 toneladas por año), de la cual sólo se recolecta el 77 % aproximadamente y de éste sólo el 53% se dispone de manera adecuada. Esto indica que 42,830 toneladas por día se disponen de manera clandestina en tiraderos no autorizados, en barrancas, calles, carreteras, llegan a ríos y cuerpos de agua, etc.

De los residuos sólidos el 47% proviene de los hogares, 29% de los comercios, 15% de los servicios, el resto se distribuye en actividades diversas.

¹ González Gamio, Carlos, *“La basura, Transformar para preservar”*, CCE/CESPEDES, Volumen 1 Número 1, Jul-Ago 1999

² SEMARNAP / INE, *“Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos”*, Diciembre, 1999, México

³ Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *“Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos”*, México, diciembre de 2001.

⁴ SEDESOL, *“Indicadores básicos y manual de evaluación para relleno sanitario”*, México, 2001.

⁵ Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), *“La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos”*, México, 2003

⁶ FUNDACIÓN ICA, *“Algunas experiencias exitosas en el control de los residuos sólidos en México”*, 2001, pp.4.

⁷ CONAPO, *“Población total de los municipios a mitad de año, 2000-2030”*, 2004

Por otro lado, se tiene que en las zonas urbanas la generación de residuos se sitúa arriba de la media nacional. Por ejemplo, en la zona metropolitana de la ciudad de México la cantidad de residuos sólidos generados es mayor, se considera que en promedio se generan 1.4 kilogramo de residuos al día por habitante⁸, esto equivale a 21,000 toneladas diarias, de las cuales 12,000 corresponden al DF y el resto a los municipios de la Zona Conurbada.

Otros factores a considerar en la cantidad generada de residuos sólidos, son el nivel socioeconómico y los hábitos de consumo de la población que los genera. Por ejemplo, las zonas de mayor opulencia económica generan mayor cantidad de residuos sólidos que las zonas donde la población es de ingresos económicos bajos.

Es difícil precisar cuál es la composición de los residuos sólidos generados en el país, en las zonas rurales los residuos son mayoritariamente orgánicos, mientras que en las ciudades la composición es en su mayor parte de tipo inorgánico.

La tabla I-1 muestra la composición de los residuos sólidos en México en los últimos años, cómo puede apreciarse, más de dos terceras partes de los residuos sólidos generados corresponden a residuos orgánicos y el resto a residuos inorgánicos.

TABLA I-1. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES POR COMPOSICIÓN, 2000-2004				
(Miles de toneladas por año)				
Tipo de basura	2000	2001	2002	2004¹
Inorgánicos				
Plásticos	1 346.1	1 379.2	1 409.2	1 456.9
Vidrios	1 813.2	1 857.8	1 898.2	1 962.4
Metales	891.2	913.2	933.1	964.7
Otro tipo de basura (residuos finos, hule, pañal desechable, etc.)	5 796.2	5 938.7	6 067.9	6 273.1
Total inorgánicos	9 846.7	10 088.9	10 308.4	10 657.0
Orgánicos				
Papel, cartón, productos de papel	4 324.1	4 430.4	4 526.8	4 679.9
Textiles	457.9	469.2	479.4	495.6
Basura de comida, de jardines y materiales similares (orgánicos)	16 104.1	16 500.0	16 859.0	17 429.1
Total orgánicos	20 886.1	21 399.6	21 865.2	22 604.6
Total	30 732.8	31 488.5	32 173.6	33 261.6

¹ Estimados, considerando proyección de población de CONAPO para este año

Fuente: Elaboración propia con datos de:
 INEGI, "*Generación de residuos sólidos municipales por composición*", 1999-2002
 CONAPO, "*Población total de los municipios a mitad de año, 2000-2030*", 2004

⁸ Gobierno del Distrito Federal, "*Campaña de Separación de Residuos Sólidos*", <http://www.df.gob.mx/ciudad/residuos/>, consultada febrero de 2005

1.4. Reciclaje de residuos sólidos

El reciclaje de residuos sólidos es una oportunidad de negocio, para 1998 el valor agregado del comercio de materiales de desecho para reciclaje fue de 1,513,723 miles de pesos⁹. Las cifras para ese mismo año indican que sólo se recicla una mínima parte de materiales generados, por ejemplo, para los plásticos la cantidad estimada de residuos generados fue de 1,338.1 miles de toneladas y sólo se reportó una cantidad reciclada de 0.4 miles de toneladas, estos datos y los porcentajes para otros materiales reciclados se muestran en la tabla I-2.

Tipo de basura	Generada	Reciclada	% de reciclo
Inorgánicos			
Plásticos	1,338.10	0.4	0.03%
Vidrio	1,802.50	69.2	3.84%
Metales	886.00	27	
Otro tipo de basura (residuos finos, hule, pañales desechables, etc.)	5,761.80		
Total Inorgánicos	9,788.40		
Orgánicos			
Papel, cartón, productos de papel	4,298.50	88.2	2.05%
Textiles	455.20	0.2	0.04%
Basura de comida, de jardines, materiales similares (orgánicos)	16,008.50		
Total Orgánicos	20,762.20		
Total	30,550.60	185.00	

Fuente: Elaboración propia con datos de:
SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 1999

De aquí que los grandes retos sean:

- **A nivel estratégico.** Desarrollo de redes de recuperación con el propósito de incrementar el porcentaje de reciclo de productos, envases, empaques y embalajes. Desde luego que el diseño de la estructura de redes de logística inversa no es una tarea fácil ya que implica el desarrollo de iniciativas que puedan estimular un comportamiento de recuperación en todos los participantes de la cadena.
- **A nivel táctico.** Desarrollo de vías que permitan un involucramiento de todos los participantes de la logística de recuperación, desde los usuarios finales que generan los productos de recuperación hasta los productores que hacen la incorporación de los productos recuperados a la cadena o bien a otra cadena productiva.
- **A nivel operativo.** Implica la gestión de las actividades de recuperación como tal. Por ejemplo, control y manejo del inventario.

⁹ INEGI. "[Censos Económicos 1999. XII Censo Comercial 1999](#)". Aguascalientes. Ags., 2000

1.5. Ciclo de recuperación de los residuos

La recuperación de valor de residuos es factible, en muchos países industrializados se ha probado con éxito esta opción a través del diseño de programas concertados entre industria, gobierno y sociedad. En México este tipo de programas aún está en estado de gestación.

Sin embargo, se espera que las nuevas disposiciones legales, la participación de la iniciativa privada y la sociedad sean elementos que potencialicen la recuperación de materiales que serán utilizados posteriormente como insumos para la producción de bienes de consumo, envases, embalajes y empaques.

Lo cierto es que, en México, en los albores del nuevo milenio, la disposición de los residuos sólidos en rellenos sanitario sigue siendo la opción principal de eliminación de residuos sólidos, tanto industriales como domésticos, sin contar que muchos se disponen de manera clandestina.

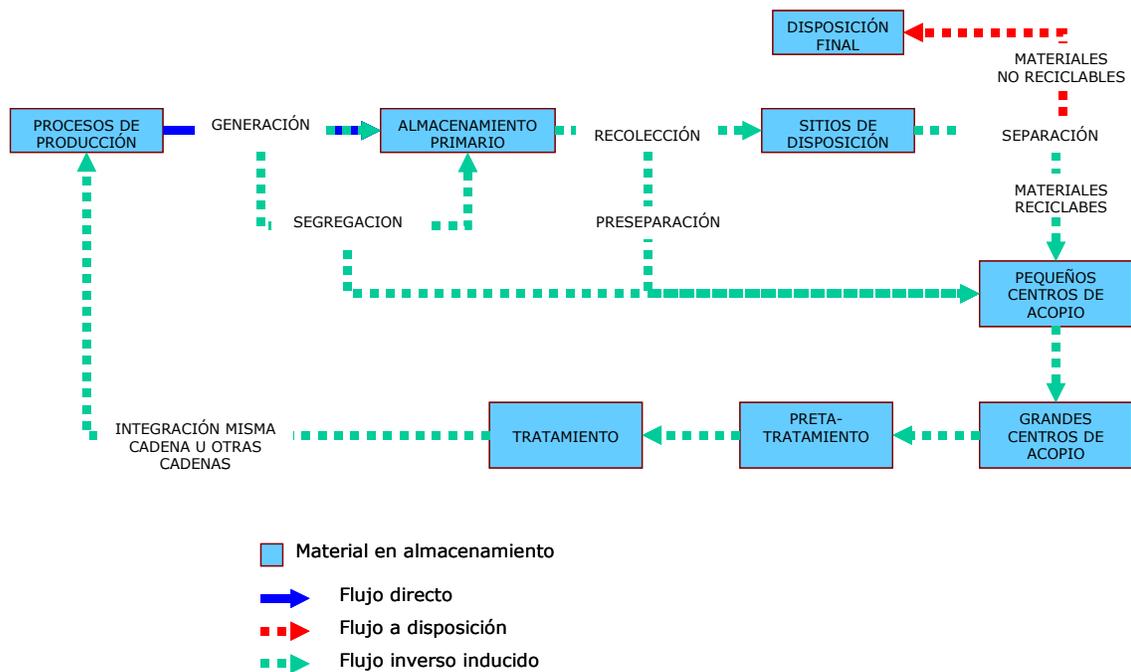
Aún no existe una gestión integral de los residuos, la gran mayoría de productos de uso final, incluyendo el envase, empaque y embalaje no regresan al productor, quedando en manos de las autoridades municipales la recolección de basura de los puntos de generación (hogares e industrias) quienes llevan los residuos a rellenos sanitarios, muchos de los cuales están en límite de su capacidad instalada.

Una gestión integral adecuada de los residuos sólidos implica un adecuado manejo de los mismos en todo el ciclo de los residuos, desde su generación hasta su reintroducción en la cadena productiva, en otra cadena o bien en su disposición final cuando la reducción en el origen y el reciclaje no son técnica ni económicamente factibles.

Desde la perspectiva de logística inversa, el reciclaje implica la separación y la extracción de materiales de los flujos considerados como de desecho, el acondicionamiento para la comercialización de los materiales recuperados, el procesamiento de los materiales recuperados y el uso de los materiales recuperados en la manufactura de productos similares u otros. Este proceso, también denominado ciclo de recuperación de los materiales de desecho se muestra en la figura I-2.

Como se señala en el capítulo III, el reciclaje de los materiales es limitado, ya que los materiales recuperados se degradan, lo que hace más costosa la recuperación, además de hay una pérdida de calidad de los materiales recuperados, de aquí que, el reciclaje de materiales tenga un determinado número de ciclos, que depende de muchos factores, siendo el tipo de material el más relevante.

Figura I-2. Ciclo de recuperación de materiales de desecho



Fuente: Elaboración propia.

En forma general las etapas que conforman el ciclo son las siguientes:

Generación. Es el punto de partida del ciclo de los materiales de recuperación, donde se producen los materiales de desechos provenientes de productos que han finalizado su período de vida útil, así como envases, embalajes y empaques cuyo uso para el cual fueron elaborados terminó.

Almacenamiento primario. Es en las mismas fuentes generadoras donde se da el almacenamiento, que puede ser segregado o sin separación, aun cuando las leyes en los diferentes niveles de gobierno promueven la segregación de los residuos desde la misma fuente generadora.

Recolección. Posterior al almacenamiento primario, viene la recolección de los materiales para ser llevados a los centros de disposición (rellenos sanitarios, tiraderos, etc.). La recolección puede darse de manera segregada, es decir dentro del mismo vehículo se hace una preseparación de los residuos, los cuales son enviados directamente a los centros de acopio y el resto de materiales no separados es enviado a los centros de disposición.

Separación. Una vez que los residuos llegan a los sitios de disposición, los residuos con potencial de aprovechamiento, como papel, cartón, vidrio, plásticos, metales, entre otros, son separados del resto de los residuos. En México, un alto porcentaje de los residuos separados se hace por medio de los “pepenadores”, quienes no reciben un salario y realizan la actividad de “pepena” (separación) por voluntad propia. Los materiales con potencial de recuperación son enviados a los centros de acopio, en cambio los residuos que no tienen hasta ahora dicha propiedad se quedan en los sitios de disposición, esperando que el tiempo (pueden ser incluso miles de años) los degrade y los integra nuevamente al ciclo.

Centros de acopio. Los centros de acopio son almacenes temporales, que pueden ser grandes o pequeños; que están bajo control de intermediarios entre pepenadores y recicladores o bien pertenecen directamente a los recicladores. La función de estos centros es consolidar los materiales recuperados para enviarlos a los centros de procesamiento de los materiales recuperados.

Pre-tratamiento. Consiste en acondicionar los residuos para su posterior tratamiento, implica básicamente en hacer inspecciones visuales para evitar que otros materiales estén presentes y contaminen los productos que se desean obtener o bien dañar los procesos de producción. Aunque también puede incluirse en esta etapa la compactación, la limpieza e inclusive la trituración.

Tratamiento. Implica el procesamiento de los residuos sólidos para hacerlos reutilizables. El tratamiento puede implicar una simple separación mecánica de los componentes recuperables, o bien, cambios en las propiedades físicas o química de los residuos. El tipo de tratamiento dependerá del material a reciclar, las condiciones previas de los materiales que serán sometidas a tratamiento, así como de las características de los productos que se desean obtener.

Una vez que los materiales se someten a tratamiento, se obtienen los productos de reciclaje, que serán introducidos nuevamente al ciclo para obtener productos de consumo similares o como materias primas para otras cadenas de suministro.

1.6. Plásticos y su reciclaje

Del total de residuos sólidos generados en el país un 4.38% corresponde a plásticos en sus diversas modalidades, provenientes tanto de productos fuera de uso, como de envases, embalajes y empaques, (en la zona metropolitana de la ciudad de México el porcentaje de plásticos presentes en los residuos sólidos es de alrededor de un 9%¹⁰). En el país, para el 2004 la cantidad generada estimada de este tipo de residuos ascendió a 1,456.9 miles de toneladas por año.

Esta cifra contrasta con la cantidad producida de plásticos a partir de material virgen, que para el año 2003 ascendía a 4,371 miles de toneladas¹¹, de aquí que exista un mercado potencial de 1,456.9 miles de toneladas que pueden ser reutilizadas como materia prima en la fabricación de bienes de consumo y unas 2,914.1 miles de toneladas que aún pueden ser recuperadas y reutilizadas.

1.6.1. Recuperación de plásticos vía el reciclaje

La opción de recuperación más extendida para los plásticos es el reciclaje, que va desde el reciclaje primario donde se conservan prácticamente todas las propiedades físicas y mecánicas de los productos originales, pasando por el secundario donde las propiedades de los productos finales son inferiores a las del producto original, hasta el terciario que implica cambios en las propiedades físicas o químicas del producto original o el cuaternario en el que más que reciclaje lo que se busca es aprovechar el contenido calórico de los plásticos como fuente de energía.

¹⁰ Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Servicios Urbanos., 1998

¹¹ Instituto Mexicano del Plástico Industrial, <http://www.plastico.com.mx/>, consultada febrero 2004

Las oportunidades de recuperación de los plásticos son muchas, si se considera que la cantidad potencial de plásticos a recuperar es la misma cantidad de plásticos consumidos. Principalmente en productos de uso final que no requieren ser desensamblados, como es el caso de los envases, que en 2003 ocuparon un 43% (1,763 miles de toneladas) del total de plásticos consumidos en el país, utilizados para producir 3,672.3 millones de unidades de envases de plástico.

Otro problema del reciclaje de plásticos, es sin duda alguna, la enorme variedad de plásticos que existen en el mercado, el Instituto Mexicano del Plástico Industrial lista 25 tipos de plásticos que se producen en gran volumen, esto sin contar la gran variedad de otros tipos de plásticos que se producen en cantidades pequeñas. Adicionalmente, se tiene que de los tipos de plásticos existentes hay una amplia gama de variantes, lo cual hace de la separación de los plásticos una tarea complicada, más aún cuando no existe separación desde la fuente generadora.

1.6.2. Clasificación de los plásticos para su reciclaje

Una alternativa para lidiar con el problema de separación de los plásticos para su reciclaje ha sido clasificarlos asignándoles un número del “1” al “7”, ubicado generalmente en la parte inferior de los productos elaborados con estos materiales, aunque hay muchos productos que carecen del número de identificación.

Dado que la calidad de un plástico se deteriora rápidamente al combinarlo con plásticos diferentes, la utilidad de esta clasificación es ayudar en la separación de los diferentes tipos de plásticos y maximizar así el número de veces que pueden ser reciclados. Esta clasificación se muestra a continuación:

Figura I-3. Códigos para la identificación de plásticos

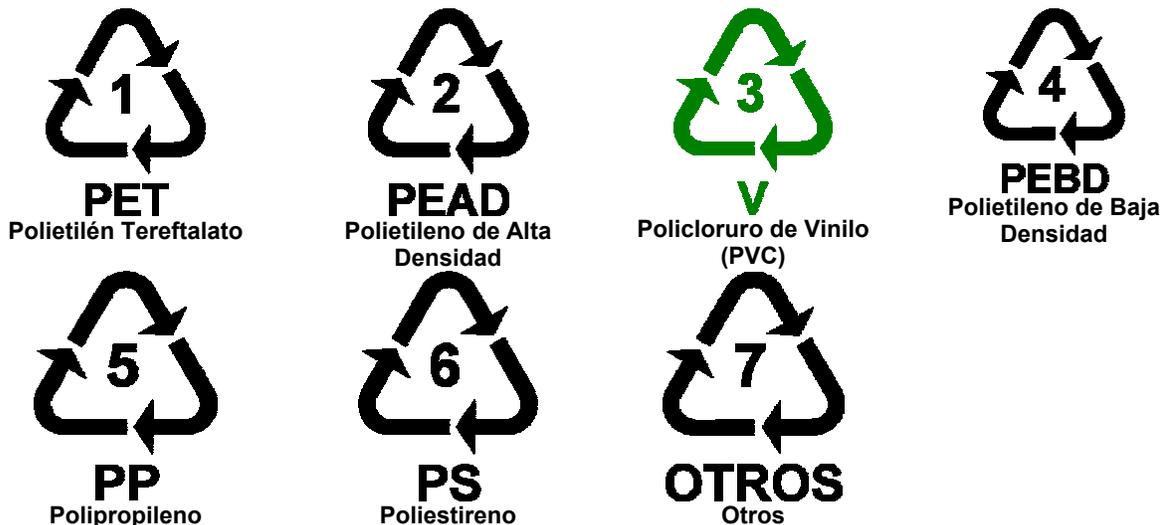


Tabla I-3. Códigos para la identificación de plásticos

Número	Abreviatura	Nombre completo	Características / usos	Consumo en México 2003 (miles de tons)
1	PET,PETE	Polietilén tereftalato	Envases muy transparentes, delgados, verdes o cristal, punto al centro del fondo del envase: de refresco, aceite comestible, agua purificada, alimentos y aderezos, medicinas, agroquímicos, etc.	485
2	HDPE, PEAD	Polietileno de alta densidad	Envases opacos, gruesos, de diversos colores, rígidos, con una línea a lo largo y fondo del cuerpo: de cloro, suavizantes, leche, cubetas, envases alimentos, etc.	639
3	V, PVC	Cloruro de polivinilo	Envases transparentes, semidelgados, con asa y una línea a lo largo y fondo del envase: de shampoo, agua purificada, etc. También usado para mangueras, juguetes, tapetes, etc.	392
4	LDPE, PEBD	Polietileno de baja densidad	PEBD Principalmente usado para película y bolsas, de tipo transparente, aunque se puede pigmentar, de diversos calibres y también se usa para tubería y otros.	553
5	PP	Polipropileno	PP Plástico opaco, traslúcido o pigmentado, empleado para hacer película o bolsas, envases, jeringas, cordeles, rafia para costales y sacos, etc.	690
6	PS	Poliestireno	Hay dos versiones, el expansible o espumado (unicel o nieve seca) y el Cristal, empleado para fabricar cajas, envases y vasos transparentes pero rígidos	295
7	Otros			1 317

Fuente: Elaboración propia con datos de:

- SPI - The **Society** of the **Plastics** Industry, www.plasticsindustry.org/
- Instituto Mexicano del Plástico Industrial, <http://www.plastico.com.mx/>,

Esta clasificación ha estado vigente por muchos años. Sin embargo, hoy en día, la diversidad de plásticos existentes es muy grande por lo que esta clasificación ha tenido que ser ampliada, en Europa la clasificación de los plásticos ha sido ampliada a 38 tipos básicos de plásticos, que en la clasificación anterior caen en la categoría de otros, los cuales presentaron un consumo nacional en el 2003 de un 30 % del total de plásticos consumidos en México.

La clasificación de los plásticos ha sido un elemento que ha venido a apoyar la gestión de recuperación de plásticos vía el recicló. No obstante, esto no es suficiente para que el recicló de los plásticos se realice de manera adecuada, desde su generación hasta la aplicación en nuevos productos.

1.7. Polietilén Tereftalato (PET) y su reciclaje

Para el presente trabajo, el plástico de estudio es el PET, acrónimo del Polietilén Tereftalato, el PET es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Terftálico y Etilenglicol.

Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra; los de peso molecular medio, grado película; los de mayor peso molecular, grado ingeniería. En esta sección se hace énfasis en la aplicación del PET en envases y embalajes y la recuperación de este material presente en ellos.

1.7.1. Consumo de PET en envases y embalajes

Por lo que respecta a cada una de las resinas utilizadas para la elaboración de envases de plástico, el Polietilén Tereftalato (PET) es el que se utiliza en mayor proporción para la elaboración de botellas en las que se envasan refrescos y aguas naturales principalmente, debido a sus propiedades de transparencia, barrera a gases, resistencia al impacto, no altera las propiedades del contenido; además que, presenta características que favorecen la distribución, el almacenamiento y la presentación de muchos productos de consumo final.

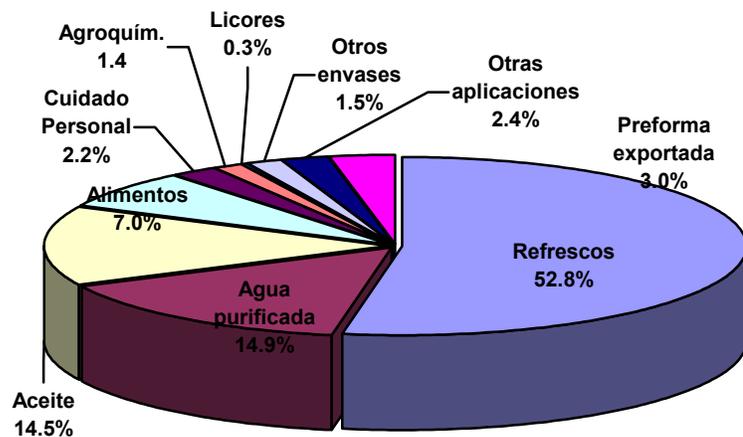
Las propiedades que presenta el PET han sido suficientes para que en poco más de 10 años, desde que salió al mercado la primera botella de PET, aumentara su participación como material de envase, además que ha propiciado el crecimiento de envases no retornables, en 1993 los envases no retornables de bebidas tenían una participación del 4.3%, en el 2003 esta cifra se elevó a 63.7%¹² y se estima que seguirá creciendo.

Datos del 2001, de la Asociación para Promover el Reciclaje del PET, A.C. (APREPET) indican que tan sólo en el Distrito Federal el consumo de PET para envases fue de alrededor de 55,800 toneladas/año, con una alto porcentaje de participación de envases para refresco como se muestra en la tabla I-4 y en el figura I-4.

Tabla I-4. Segmento de mercado de PET para la producción de envases

Segmento	Porcentaje de mercado (2000)
Refrescos	52.8%
Agua purificada	14.9%
Aceite	14.5%
Alimentos	7.0%
Cuidado Personal	2.2%
Agroquímicos	1.4%
Licores	0.3%
Otros envases	1.5%
Otras aplicaciones	2.4%
Preforma exportada	3.0%
TOTAL	100 %

Fig. I-4. Composición del mercado de PET para envases



Fuente: APREPET, AC. 2001

¹² Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas, A.C. (ANPRAC), "La industria de refrescos y aguas carbonatadas en 2003",

Este alto porcentaje en la participación de refrescos se debe a que México es un país con alto consumo de refrescos, tan sólo en 1999 se consumieron 2,581,768 litros de refrescos embotellados en envase no retornable y 5,589,059 litros de agua purificada en la misma presentación¹³.

1.7.2. Generación y recuperación de residuos de PET

La Dirección General de Servicios Urbanos del Gobierno del Distrito Federal reportó que la cantidad de plásticos enviada a los centros de disposición era alrededor de 761.9 ton/día, de las cuales 14.1 toneladas por día corresponden a desechos de PET, que equivalen a 587,500 botellas de envases de 600 ml.¹⁴

Las cifras de la iniciativa privada indican que el porcentaje de recuperación del PET es alto, comparado con otros plásticos, cómo se muestra en la tabla siguiente:

Tabla I-5. Porcentaje de recuperación del PET vía el reciclo

DISTRITO FEDERAL	
Demanda de PET	55,800 t/año
Envases de PET recuperados	20,500 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	36.7%
ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO	
Demanda de PET	124,000 t/año
Envases de PET recuperados	48,000 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	38.7%
A NIVEL NACIONAL	
Demanda de PET	413,000 t/año
Envases de PET recuperados	71,300 t/año
Porcentaje recuperado para reciclaje	17.3%

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, con datos de APREPET, A.C. 2000

Para el año 2005, Ecología y Compromiso Empresarial (**ECOCE**) estimó una recolección total de 76 mil toneladas¹⁵, equivalente a unos 5,600 millones de envases, cifra a un baja pues se considera que sólo 2 de cada 10 botellas son recicladas

Obviamente que debe existir un balance entre la cantidad de PET consumida y la cantidad de residuos generados, dado que sólo un porcentaje de PET se recupera, el resto del PET está en almacén para su venta o distribución, en los rellenos sanitarios o dispuesto de manera inadecuada en cauces y cuerpos de agua o en calles y tiraderos clandestinos.

¹³ INEGI, XV Censo Industrial, Censos Económicos 1999. Industrias Manufactureras, subsector 31. Producción de Alimentos, Bebidas y Tabaco, 1999

¹⁴ Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, "**El PET y su situación actual en el Distrito Federal**", México, 2001, pp. 1.

¹⁵ Pedrero, Fernando, "**Le sacan 'jugo' a los envases**", El Universal, Miércoles 04 de mayo de 2005.

Si sólo se recupera el 36.7 % del PET consumido en el Distrito Federal, el restante 63.3 % también puede ser recuperado vía el reciclaje u otra opción, esto equivale a 35,000 toneladas por año, esto representa una oportunidad de negocios y desde luego una oportunidad de aplicación de la logística inversa.

La formación de redes de logística inversa es una alternativa para la simplificación de recuperación de materiales, sobre todo si dentro de las redes se considera la recuperación en las etapas primarias de generación de los residuos, disminuyendo costos de gestión al eliminar etapas innecesarias como son la recuperación de materiales en los rellenos sanitarios y su posterior separación, etapas que están dentro de las más costosas en el ciclo de reciclaje de materiales.

La figura siguiente muestra de manera general el proceso de reciclaje del PET.

Figura I-5. Etapas del proceso de reciclaje del PET



Fuente: ECOCE, www.ecoce.org.mx, 2005

En los siguientes capítulos se abordará el marco teórico asociado a la logística inversa y desde luego a la recuperación de materiales fuera de uso, proponiendo al final de ello, la conformación de una red para la recuperación de polietilentereftalato en tiendas de autoservicio de la zona metropolitana de la ciudad de México, como una aplicación práctica de la logística inversa en el país, para apoyar a la solución de la problemática asociada a la generación de residuos, al tiempo que se recupera valor de estos materiales.

Capítulo II

La logística inversa

“Una empresa se diferencia de sus competidores cuando proporciona algo único que es valioso para los compradores, más allá de simplemente ofrecer un precio”

Peter F. Drucker, [1909-]

Su visión sobre: La administración de negocios, la organización basada en la información, la economía, la sociedad.

CAPÍTULO II. LA LOGÍSTICA INVERSA

2.1. Definición de logística inversa

El concepto de logística inversa ha evolucionado, transformándose de un concepto meramente de logística de reciclaje a uno más estructurado e integral. No obstante, el elemento que ha estado presente en esta evolución es el que hace referencia a un flujo inverso, existente en casi todo proceso industrial.

Recurriendo al glosario de términos del **CLM** (2003), se define logística inversa como: “*Un segmento especializado de la logística enfocado al movimiento y gestión de productos y recursos después de la venta y después de que han sido entregados al cliente*”¹.

La logística inversa incluye todas las actividades que definen a la logística, pero a diferencia de la logística que se ocupa del flujo de materiales de proveedores-productores-clientes, la logística inversa se ocupa del flujo que se da de cliente-productor-proveedor. De manera que la logística inversa puede definirse, en un contexto más general, como:

“El proceso de planear, implementar y controlar la eficiencia, a un costo efectivo el flujo de materias primas, en proceso y productos terminados y la información relacionada desde los puntos de manufactura, distribución y uso final al punto de recuperación o disposición final con el propósito de recuperar valor o disponer de manera adecuada los productos finales e intermedios de la cadena de suministro”.
2, 3

2.2. Alcance y Clasificación de la logística inversa

Logística inversa es más que el reuso de contadores o reciclaje de materiales de empaque. La logística inversa también incluye devolución de mercancía debido a daños, inventario estacional, reinventario, recuperaciones, reclamaciones, exceso de inventario, etc. Así como programas de reciclaje, programa de residuos peligrosos, disposición de equipo obsoleto y recuperación de bienes, términos frecuentemente asociados a cuestiones ambientales.

Es frecuente encontrar en la literatura y en internet términos como logística de retornos, logística de recuperación, entre otros, todos ellos alusivos a prácticas de recuperación de valor, por lo que caen dentro del contexto de logística inversa.

¹ CLM, “**Logistics Terms and Glossary**”, Definitions compiled by: Kate Vitasek, Supply Chain Visions, October 2003

² Rogers, Dale S. / Tibben-Lembke, Ronald S., “**Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**”; Reverse Logistics Executive Council, p. 2.

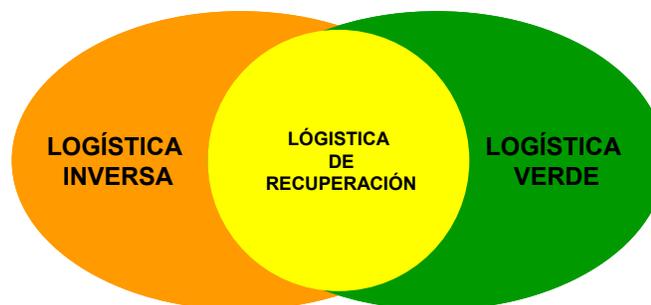
³ Brito, Marisa P. / Dekker, Rommert, “**A Framework for Reverse Logistics**”, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute Report ERS-2003-045-LIS, 2003.

Por otra parte, la logística inversa difiere de la gestión de residuos, ya que esta última tiene un enfoque de recuperación de residuos principalmente en los procesos de producción y puede ser tratado con apoyo de prácticas y metodologías bien establecidas como: producción más limpia, minimización de residuos, prevención de la contaminación u otro elemento de gestión de las empresas. En tanto que, la logística inversa incluye tanto a residuos, como subproductos o cualquier otro material susceptible a la recuperación de valor en toda la cadena de suministro.

Cabe señalar que, la logística inversa también difiere de la logística verde⁴, ya que la logística verde hace énfasis en una logística amigable con el ambiente en todas las actividades de la logística y no necesariamente de flujos inversos (por ejemplo, uso de parque vehicular más eficiente energéticamente o menos contaminante).

La logística inversa no necesariamente se da por cuestiones ambientales (por ejemplo, en la logística de devoluciones el motivo principal es por cuestiones económicas). Sin embargo, ambas ramas convergen en la logística inversa de recuperación (figura II-1), ya que inherentemente se busca menor explotación de los recursos materiales al tiempo que se incrementa la productividad de los recursos.

Fig. II-1. Logística inversa y logística verde



Fuente: Elaboración propia

Las actividades que caen dentro de la logística inversa han sido clasificadas desde diferentes perspectivas, atendiendo a si los bienes del flujo reverso vienen del usuario final o de otro participante del canal de distribución como son los mayoristas o minoristas o si el bien en el flujo reverso es un empaque o un producto. Para fines del presente trabajo, se considera que la logística inversa está formada por dos grupos de actividades, las de recuperación y de devolución.

2.2.1. Logística inversa de recuperación

Grupo de actividades que tienen por objeto recuperar los materiales desechados por los consumidores y reintroducirlos a la cadena de suministro, a otra cadena de suministro o bien para proceder a su adecuada eliminación.

⁴ Rodrigue, Jean-Paul, et. al. "[Green Logistics \(The Paradoxes of\)](#)". The Handbook of Logistics and Supply-Chain Management", Handbooks in Transport #2, London, 2001.

La logística inversa de recuperación, se entiende desde la perspectiva de la recuperación y aprovechamiento económico de productos, subproductos y residuos, sobre los que el fabricante tiene determinadas responsabilidades, bien por políticas de la empresa o por aspectos regulatorios⁵.

Con estos argumentos es posible identificar que los productos de recuperación deberían de seguir las premisas siguientes:

- Que se trate de productos fuera de uso, esto es, que el producto haya finalizado su vida útil o bien que ya no satisfaga las necesidades del consumidor.
- Que los productos recuperados fuera de uso produzcan un aprovechamiento económico de su valor añadido.
- Que se obtenga un nuevo ciclo de vida para el producto fuera de uso o para algunos de sus componentes o materiales.

Gestión de actividades de recuperación

Las opciones de gestión para los productos fuera de uso pueden clasificarse en los rubros siguientes:

- I. **Reutilización.** Existe un aprovechamiento integral del producto retornado o sus componentes una vez realizadas operaciones de limpieza y mantenimiento. La calidad de los productos reutilizados o sus componentes muchas veces es tan buena como la de los productos originales, aunque existe un límite en el número de reutilizaciones.
- II. **Refabricación.** Consiste en recuperar partes y componentes del producto fuera de uso para su utilización en la fabricación de nuevos productos.
- III. **Reciclaje.** Existe recuperación de los materiales con los que está fabricado el producto, la recuperación de estos materiales involucra un procesamiento, de manera que el producto original pierde su identidad. Los materiales recuperados se utilizan para elaborar el mismo producto (muchas veces con menor calidad) o bien otros productos.

2.2.2. Logística inversa de devolución

Básicamente integrada por devoluciones que se presentan a lo largo de la cadena de suministro y que por distintos motivos no satisfacen las necesidades o especificaciones de los clientes.

La logística de devoluciones tiene un mayor arraigo en productos de consumo final, donde con frecuencia se presenta que los clientes devuelvan los productos cuando éstos no satisfacen sus necesidades, las devoluciones suponen la pérdida de esa venta, de suerte que este tipo de logística tiene un carácter de “no deseada”. Este tipo de logística responde más a atender una necesidad del cliente que una responsabilidad del productor.

Tanto la logística de devoluciones como la logística para la recuperación, suponen un flujo de materiales y productos desde el consumidor al fabricante o al recuperador.

⁵ Toffel, Michael W., “*Strategic Management of Product Recovery*”, California Management Review, Vol. 46, No.2; Winter 2004.

Gestión de actividades de devolución

La gestión de las actividades de devolución se vuelve prioritaria para muchas empresas ya que, se estima que las devoluciones rondan entre el 5 y 12%⁶ del volumen total de ventas de una empresa, dependiendo del sector y del mercado. En estados Unidos se estima que el volumen de devoluciones en línea es de 5.6 % de las ventas, lo que representa \$4,857 millones de dólares, este valor será de \$ 7,582 millones para el 2006. Para toda la industria americana se estima que los costos de la logística inversa de devoluciones exceden \$35,000 millones de dólares por año.⁷

Del total de productos devueltos, aproximadamente la mitad son defectuosos, generalmente debido a fallos de fabricación (más de un 90%) o a desperfectos sufridos durante la distribución del producto (transporte, almacenaje, exposición, etc.). El otro 50% de los productos devueltos tiene como causa los errores de compra (talla, tamaño, especificaciones, etc.), motivos contractuales (“Si no queda satisfecho...”, “El cliente siempre tiene la razón...”, etc.) o por ajustes de inventario (insuficiencia de la demanda, obsolescencia del producto, rotación de existencias, etc.).

Esta diversidad de causas hace muy difícil establecer una relación a detalle de opciones que dispone la empresa para gestionar estos productos devueltos. No obstante estas opciones pueden agruparse en los rubros siguientes:

- I. **Reutilización de los productos en otros mercados.** Esta opción supone la venta del producto a igual o menor costo, dependiendo si el producto presenta fallas o no es su funcionamiento, ya que ello puede implicar etapas intermedias de mantenimiento, reparación o refabricación. Dentro de esta categoría se puede citar el caso de GENCO⁸, empresa con presencia mundial que ha desarrollado un sistema de recuperación de activos (Asset Recovery Services) que proporciona nuevos mercados a los productos devueltos alrededor del mundo. Este tipo de reutilización presenta distintas posibilidades que van desde el reciclaje de los materiales que constituyen el artículo devuelto, hasta su reparación, refabricación o directamente su utilización en mercados secundarios.
- II. **Donación de los productos devueltos.** Otra opción para los productos devueltos es la donación, que se realiza principalmente a instituciones de beneficencia, organizaciones no gubernamentales, fundaciones, entre otras. Esta opción presenta ventajas como son deducción de impuestos fiscales, además de que la empresa puede contribuir a su imagen de *empresa socialmente responsable*.
- III. **Eliminación.** La opción menos deseada, porque además de que no hay recuperación de los productos existe la posibilidad de hacer erogaciones monetarias para su disposición final. A pesar de las posibilidades de recuperar valor económico de los productos devueltos, esta opción sigue siendo una práctica común, sobre todo en sectores como el agroalimenticio y de alimentos donde la variable tiempo es un factor a considerar por la perecibilidad de los productos o caducidad como es el caso de los medicamentos.

⁶ Rogers, D. S., Larson, P. y Tibben-Lembke, R. S. . [“E-commerce reverse logistics”](#). RLEC Spring 2001 Meeting, Memphis, 2001.

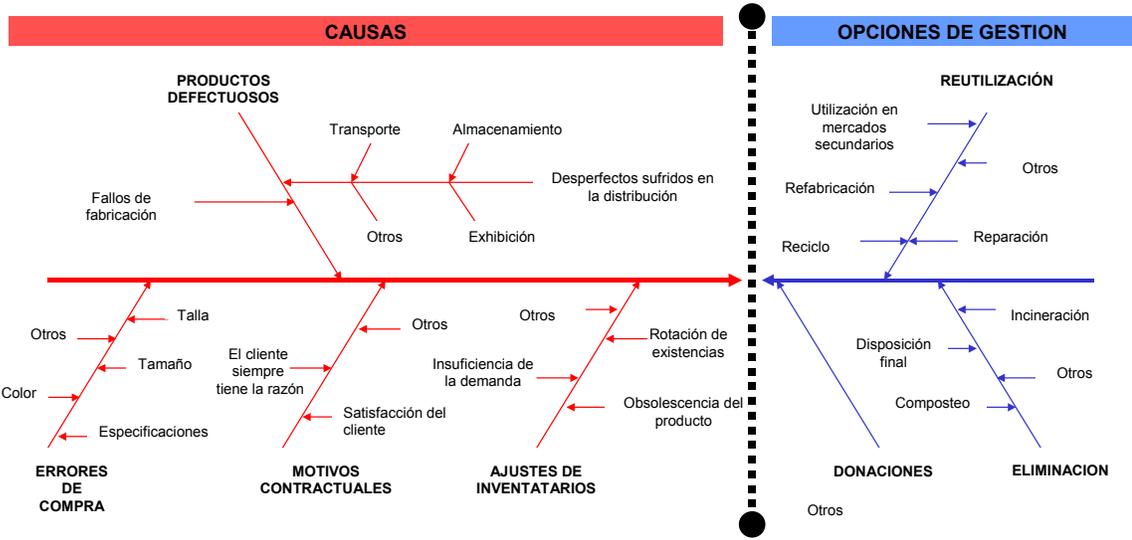
⁷ Caldwell, Bruce. [“Reverse Logistics”](#), InformationWeek.com, April 12, 1999.

⁸ <http://www.genco.com/>, 2004

Los estudios del *Reverse Logistics Executive Council* (www.rlec.org) indican que, dentro de la logística de devoluciones la opción de reutilización con prácticas de reparación, refabricación o reciclaje se aplica en un 70%, las donaciones entre un 5 y 10%, y la opción de eliminación supone entre un 20 a un 25% de los productos devueltos.

Las causas posibles asociadas a la logística de devoluciones y las opciones de gestión se muestran en la figura II-2.

Fig II-2. Causas de la devolución de productos y opciones de gestión de la logística de devoluciones



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Logística de recuperación vs logística de devolución

La característica distintiva de la logística de devoluciones, como se ha mencionado, es que presenta un carácter de “no deseada”, asociada la mayoría de las veces a la pérdida de la venta del producto devuelto. Las empresas realizan la gestión de la logística de devoluciones no sólo por motivos contractuales, sino también para no perder la venta y peor aun a los clientes. En cualquier caso, las empresas deberán buscar minimizar el número de devoluciones a lo largo de la cadena de suministro, poniendo todos los medios a su alcance para lograrlo. Por ejemplo, controles de calidad que eliminen la incorporación de los productos defectuosos a los mercados, sistemas de transporte y distribución que minimicen el daño a los productos, mejoras en empaques, envases y embalajes, políticas de devoluciones más rigurosas, entre otros.

En tanto, que la característica distintiva de la logística de recuperación es que aplica a productos fuera de uso que han finalizado su ciclo de vida, en este caso las empresas buscaran mecanismo para recuperar el valor económico de estos productos. La tabla II-1 muestra las características y las opciones de gestión tanto de la logística de devoluciones como de la logística de recuperación.

Tabla II-1. Logística de devoluciones vs. Logística de recuperación

		Características	Opciones de gestión
Logística	Logística de devoluciones	<ul style="list-style-type: none"> • No existe venta del producto • Minimizar pérdidas por devoluciones 	<ul style="list-style-type: none"> • mercados secundarios • Donaciones
	Logística para la	<ul style="list-style-type: none"> • Existe voluntad de recuperación • ad compartida • Maximizar recuperación del valor de los productos y sus componentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Refabricación • Reciclaje

Fuente: Elaboración propia

2.3. Contexto de la logística inversa

En un contexto general, es posible ubicar a la logística inversa dentro de la cadena de suministro de la empresa, entendiendo a la cadena de suministro como el conjunto de procesos para posicionar e intercambiar bienes, servicios e información, extendiéndose en el proceso logístico desde la adquisición de las materias primas hasta la entrega de los productos a los consumidores y usuarios finales. Hay que considerar que una cadena de suministro está caracterizada por los elementos siguientes:

- Inicia con materias primas sin procesar y finaliza con el cliente final que usa los bienes terminados
- La cadena de suministro enlaza a muchas compañías al mismo tiempo.
- Tiene un carácter integrador, tanto al interior de la empresa como fuera de ella

En la figura II-3 se esquematiza el concepto de cadena de suministro. La cadena inicia con la extracción de materias primas, las cuales a través de diferentes procesos de transformación se harán llegar como productos a los clientes finales.

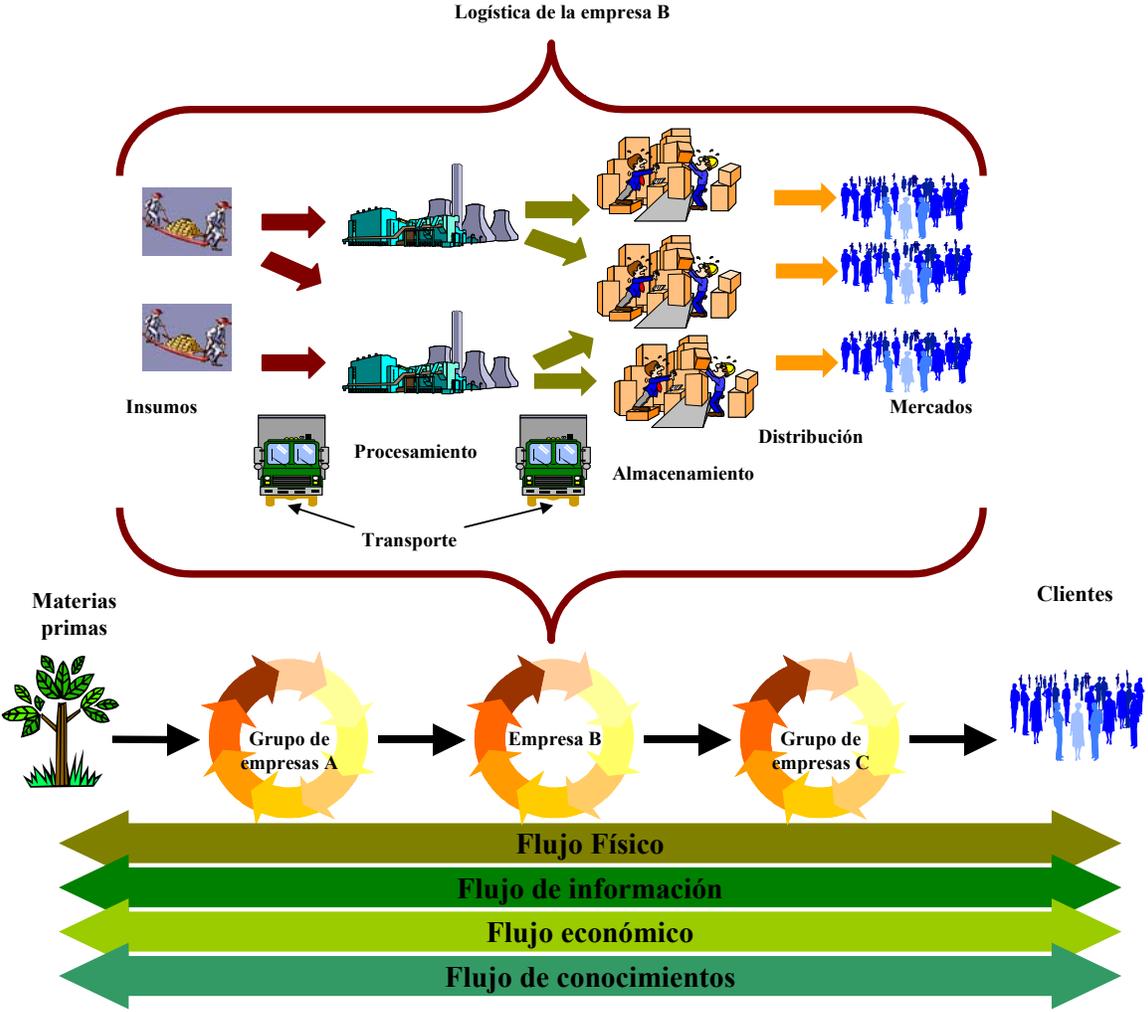
Un grupo de empresas A (proveedores de la empresa) hacen llegar los insumos a la empresa B, la cual internamente tiene un sistema logístico que incluye una serie de actividades como lo son: aprovisionamiento, producción, almacenamiento, transporte y distribución a sus mercados.

Los mercados están representados en la figura como un grupo de empresas C (clientes de la empresa). Las empresas del grupo C internamente también tienen de manera individual un sistema logístico mediante el cual entregarán los productos a los clientes finales.

Dentro de la cadena de suministro hay un flujo bidireccional físico, de información, económico y de conocimientos, todos ellos de vital importancia para su buen funcionamiento.

Por ejemplo, el flujo de conocimientos es esencial para el desarrollo de nuevos productos, el conocimiento es el aliento para el desarrollo de nuevos productos, para ello se requiere de una estrecha colaboración con proveedores y clientes, hoy en día el valor agregado en forma de capital intelectual es elemento esencial para un mercado eficiente de bienes y servicios.

Fig. II-3. El concepto de cadena de suministro



Fuente: Elaboración propia

Pero la cadena suministro no es sólo un grupo de empresas A (proveedores), la empresa, y un grupo de empresas C (clientes), existe todo un conjunto de grupos, de manera que hay proveedores de los proveedores y clientes de los clientes, inclusive hasta niveles más allá de un tercer eslabón en la cadena.

Enmarcada por este contexto, la logística inversa es un conjunto de actividades que componen la cadena de valor de una empresa, siendo por lo tanto una fuente potencial para generar ventajas competitivas⁹, ya que la consideración de un flujo inverso en la función logística aumentaría las capacidades competitivas de la empresa.

⁹ Porter, Michel E. "What is strategy", Harvard Business Review (74/6), pp. 61-78, November 1996.

De esta manera, el desarrollo de la función logística inversa tendría beneficios que pueden agruparse en dos rubros, el primero y más obvio es de carácter táctico, que es básicamente la reducción de costos. El segundo es de carácter estratégico, vinculado a las competencias principales de la empresa¹⁰.

2.4. La logística inversa como sistema y como red

Hay dos elementos a considerar dentro de la logística inversa:

2.4.1. Logística inversa como sistema.

El primero, es el hecho de que la logística inversa tiene la connotación de sistema, esto es, la logística inversa es un conjunto de partes o elementos interactuantes, interdependientes y coordinados orientados hacia una finalidad común¹¹. Esto aplica en dos sentidos, tanto al interior de la empresa por la diversidad de áreas y funciones que se tienen, cómo al exterior de la misma por la relación con proveedores y clientes.

La connotación de sistema de la logística inversa se toma de la teoría de *Michel Porter*, que considera que la cadena de valor de una empresa está incrustada en un campo más grande de actividades, la cual denomina sistema de valor¹², con un valor proveniente de los proveedores (empresa A, ver fig. II-3.) que entregan los insumos a los productores (empresa B), estos insumos se hacen llegar a la empresa a través de los canales de la cadena de valor (valor del canal) y pasan posteriormente a los clientes (grupo de empresas C) como productos.

En logística inversa básicamente se invierte el sentido del flujo, iniciando con los insumos provenientes de los clientes y usuarios finales, pasando aquellos por diversas etapas hasta llegar a los proveedores con el objetivo de recuperar valor de los productos que se mueven en el flujo inverso.

2.4.2. Logística inversa como red.

El segundo elemento, es que la logística inversa puede representarse como una red, ya que las relaciones dentro de la cadena no son uno a uno, no se tiene un sólo proveedor ni se tiene un sólo cliente, además que muchas de las empresas no tienen una sola localidad, son empresas multilocalidad, adicionalmente un proveedor puede abastecer a varias empresas que compitan en el mismo sector o bien la empresa puede abastecer a varios clientes que compitan entre ellos.

La Figura II-4. ilustra ambos elementos. En primer lugar se tiene un sistema de valor (cadena de suministro) de un determinado sector, dentro del cual se da una serie de relaciones entre los diferentes participantes, denominada red de suministro.

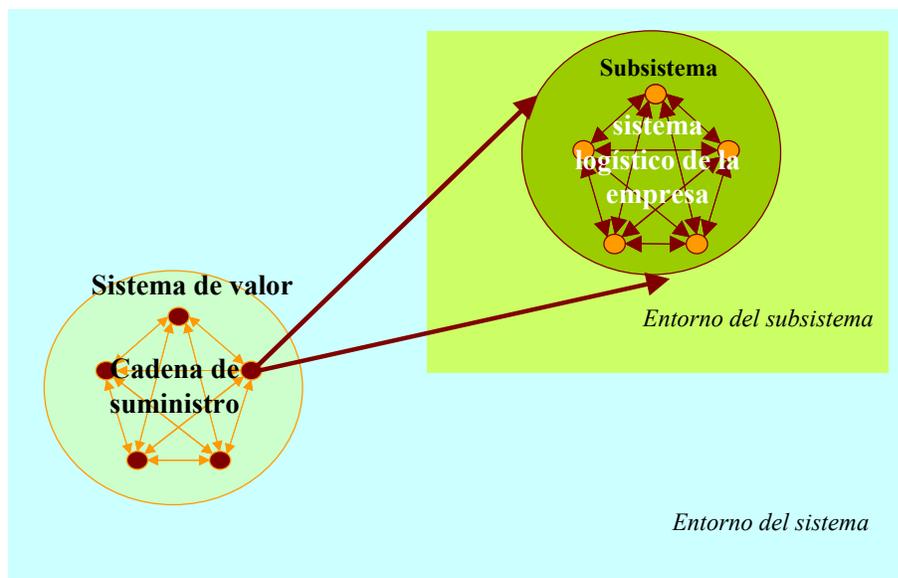
¹⁰ Hamel, Gary / Prahalad C.K. "*The core competency of the corporation*", Harvard Business Review, pp. 79-90, May-June 1990.

¹¹ Germana Joseph, "*The whole and main ideas of systems science*", Systems Research and Behavioral Science, 311-313 (2000)

¹² Porter, Michel. "*Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior*", CECSA, 1997, pp. 51

Dentro del sistema se tienen varios subsistemas que serían en este caso los sistemas logísticos de cada una de las empresas del sector.

Figura II-4. Representación de la cadena de valor como un sistema y como una red



Fuente: Elaboración propia

2.5. Administración de la logística inversa

Por las características descritas de la logística inversa como sistema, entonces la administración de la logística inversa puede concebirse como un sistema administrativo relacionado básicamente, con la toma de decisiones para planear, organizar, dirigir para conseguir planes y alcanzar propósitos utilizando los recursos necesarios.

Desde una perspectiva sistémica, la administración de logística inversa ofrece grandes ventajas al bajar costos y optimizar el uso de recursos, aún hay retos importantes, como son una mayor y mejor integración y coordinación entre los integrantes, pero sobre todo mejorar el intercambio de información, ya que muchas de las empresas aún se muestran renuentes a compartir la información considerada como confidencial.

Otro factor relevante dentro de la administración de la logística inversa es el uso de tecnologías de información y comunicación. Aquellas empresas que incorporen las nuevas tecnologías dentro de sus sistemas logísticos inversos, estarán logrando un doble objetivo, integrar su sistema logístico con sus proveedores y clientes, al mismo tiempo que se cumple el objetivo de reducir los costos o maximizar el valor de recuperación mediante una mejor gestión de la información del sistema.

2.6. Retos de la administración de logística inversa

Habiendo considerado a la logística inversa como un sistema, los retos de gestión del sistema pueden ser agrupados en los rubros siguientes (figura II-5):

- **Diseñar a la función de logística inversa para la ventaja competitiva estratégica**
 - Diseñar un marco de referencia para construir ventajas competitivas sustentables, basado en una serie de actividades bien establecidas;
 - Vincular la función de logística inversa al tipo de producto, reconocer que cada red debe ser diseñada con diferentes objetivos basados en el tipo de producto
 - Definir técnicas para coordinar el desarrollo de nuevos productos con enfoque de cadena de suministro, incluyendo diseño para la recuperación de componentes o materiales. El diseño de nuevos productos contribuye al éxito de la empresa, pero si a esto se le añaden innovaciones en la cadena de suministro del nuevo producto, el éxito a mediano y largo plazo podrían asegurarse.

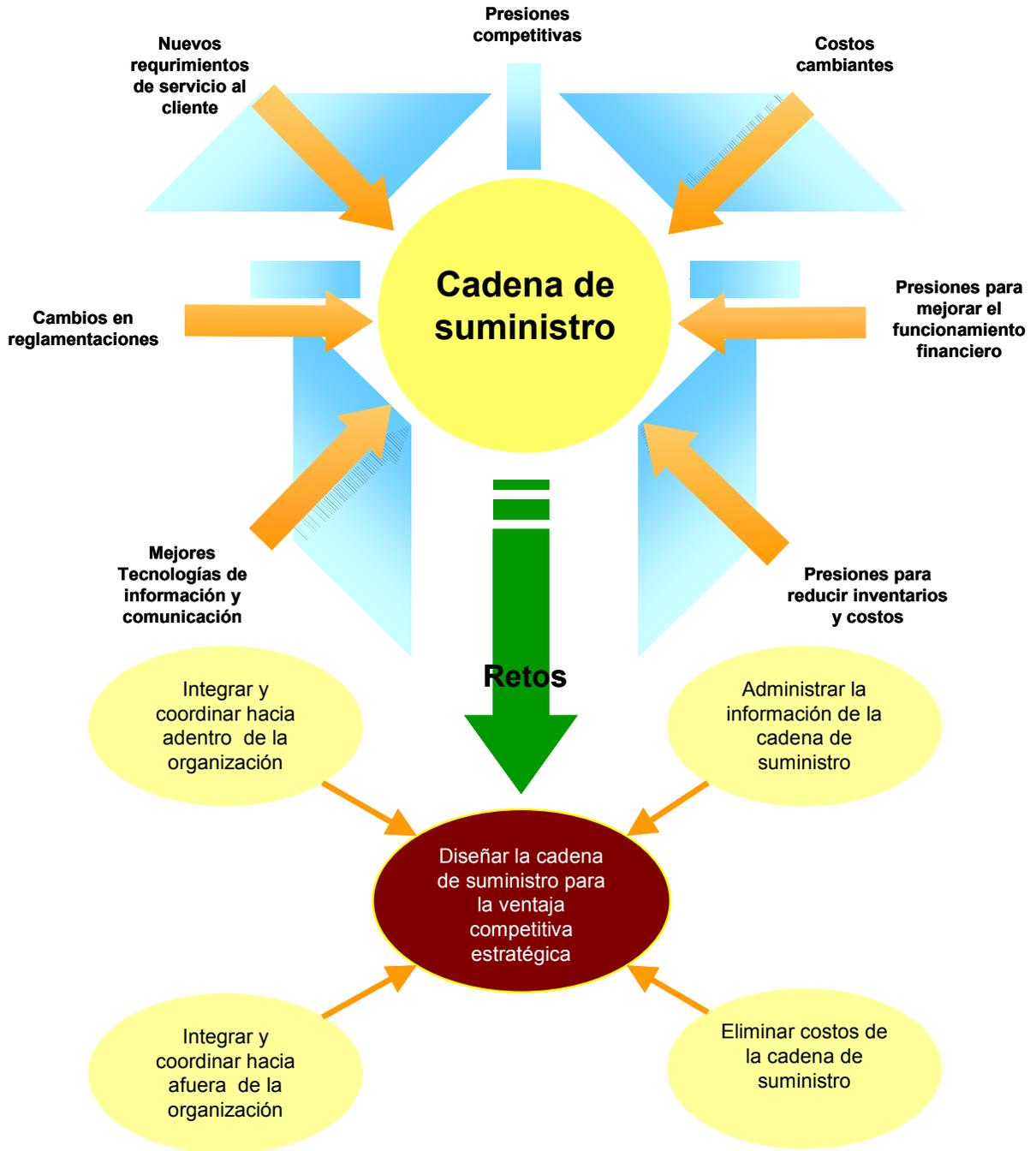
- **Integración y coordinación hacia el interior de la organización.** Implementar una relación de colaboración hacia dentro de la organización, esto implica:
 - Organizar roles funcionales;
 - Definir procesos participativos;
 - Definir medidas de desempeño y su papel;
 - Administración de la logística inversa dentro de la organización.

- **Integración y coordinación hacia el exterior de la organización.** Asociación efectiva de la logística inversa en toda la cadena de suministro, que requiere:
 - Definir competencias principales de la cadena de valor;
 - Definir los elementos de motivación por la asociación;
 - Definir estructura de la asociación.

- **Administración de la información.** Implica definir los elementos del sistema de información, las innovaciones tecnológicas que el sistema requiere (hardware y software) e inclusive cuáles son las barreras para su implementación.

- **Maximizar recuperación valor.** El enfoque tradicional de cadena de suministro es la minimización de costos, que implica una revisión de actividades y procesos de la cadena de suministro para determinar si y dónde hay costos que puedan eliminarse o disminuirse. En logística inversa, habría que agregar como reto de gestión la maximización de la recuperación de valor en la cadena.

Figura II-5. Retos de la administración de la cadena de suministro y de la logística inversa



Fuente: Elaboración propia

2.7. Implicaciones estratégicas, tácticas y operativas de la logística inversa

La gestión de la logística inversa puede tener tres niveles de consideraciones: estratégica, táctica y operativa, el nivel o los niveles de gestión deseados impactaran en el diseño y funcionamiento de la logística inversa dentro de la empresa o bien dentro de la cadena de suministro.

Identificar el nivel de gestión deseado es de vital importancia al momento de planear¹³ el sistema de logística inversa, que depende en gran medida del tipo de producto a recuperar o devolver. El proceso de planeación está íntimamente relacionado con la toma de decisiones, de manera que, las decisiones deben tomarse en tres niveles:

1. **Decisiones estratégicas.** Decisiones que tendrán un efecto a largo plazo dentro de la empresa, tomadas por la alta dirección, que establecerá los objetivos y los planes enfocados principalmente al diseño de la red de logística inversa que, incluye definir participantes, flujos, ubicación y capacidad de las diferentes instalaciones de la logística inversa (almacenes, centros de recuperación, plantas de reutilización o recuperación, etc.).
2. **Decisiones tácticas.** Punto intermedio que conecta los objetivos y los planes estratégicos con la consecución de los planes operativos. Dentro de este rubro pueden incluirse la definición de los medios de transporte, la asignación de rutas (por ejemplo de los centros de recolección a los centros de almacenamiento principales, de los centros de almacenamiento principales a los centros de procesamiento, etc.)
3. **Decisiones operativas.** Decisiones a corto plazo que concretan los planes estratégicos y tácticos. Incluye por ejemplo, configuración de los cargamentos en los medios de transporte, operación de los centros de recolección, etc.

¹³ Chase, Richard B. / Jacobs, Robert F. / Aquilano Nicholas J. “*Operations Management for Competitive Advantage*”, tenth edition, pp. 362, 2004.

Capítulo III

Logística inversa y desarrollo sustentable

“..Con frecuencia la ignorancia engendra más confianza que el conocimiento, son los que saben poco, y no los que saben mucho, los que aseveran positivamente que esté o aquel problema nunca será resuelto por la ciencia...”

*Charles Darwin, [1809-1882]
Introducción, La descendencia del hombre.*

CAPÍTULO III. LOGÍSTICA INVERSA Y DESARROLLO SUSTENTABLE

3.1. Introducción

Para un ambientalista el término “logística inversa” podría parecer desconocido, lo mismo que para un especialista de logística la parte ambientalista no encajaría dentro de la visión logística de la empresa, aparentemente no hay engranaje entre los dos.

Sin embargo, ambos términos pueden ser instrumentados de manera conjunta, puesto que el vector que ha impulsado en gran medida a la logística inversa es por cuestiones ambientales vía la emisión de nuevas regulaciones que promueven la recuperación de materiales a fin de cuidar el medio ambiente y conservar los recursos naturales.

A la emisión de nuevas regulaciones ambientales, se suma el factor económico y social; los tres son los componentes esenciales del desarrollo sustentable, los tres vectores han promovido el desarrollo de la logística inversa como una nueva área emergente dentro de la logística empresarial, más aun, dentro de toda la cadena de suministro.

Aplicar un enfoque de desarrollo sustentable da una visión holística a la logística inversa, puesto que no es sólo por cuestiones económicas por la que las empresas pueden aplicar la logística inversa, sino también por cuestiones ambientales y de responsabilidad social, lo cual brinda nuevas oportunidades de negocio y la generación de ventajas competitivas.

Las oportunidades de negocio pueden visualizarse si se hace un símil de la cadena de suministro con la cadena alimenticia.

En el enfoque tradicional de la cadena de suministro, la cadena inicia con la extracción de materias primas y termina con un producto final que cubrirá las necesidades de los clientes.

En las cadenas alimenticias sucede algo parecido (por ejemplo puede iniciarse con un vegetal que toma nutrientes del suelo y luz del sol y finaliza con una águila que devora a una liebre), pero a diferencia de las cadenas de suministro, en las cadenas alimenticias no se desaprovecha nada puesto que existe un constante reciclaje de nutrientes.

Aplicando este principio a la cadena de suministro, pueden desarrollarse nuevos negocios enfocados a la recuperación de valor de los hasta ahora considerados productos de uso final, que como se mencionó en el capítulo II es una de las actividades de la logística inversa.

3.2. Desarrollo sustentable en la cadena de suministro: enfoque estratégico

El enfoque tradicional de la cadena de suministro, donde la logística inversa forma parte de esta cadena, tiene un fuerte ente económico, este enfoque tiene como premisa satisfacer los requerimientos del cliente, donde el cliente es el que paga por lo que la empresa le proporciona.

Desde luego que la integración y coordinación hacia adentro y hacia a fuera de la empresa pueden generar ventajas competitivas tanto de costo como de diferenciación, pero en el mundo de hoy eso no es suficiente y no lo será cuando los mercados potenciales de los años por venir estén formados por jóvenes que hoy se educan y se forman con una conciencia social y ambiental diferente a las generaciones actuales.

Una empresa no puede sobrevivir con islas de excelencia, con excelentes resultados en el aspecto económico, pero con magros resultados en las partes de medio ambiente y social. La generación de valor económico en la cadena de valor no puede hacerse en detrimento del medio ambiente y de la sociedad en los cuales la empresa está inmersa¹.

El éxito económico ya no es suficiente para que una empresa conserve sus ventajas competitivas, para lograr un desarrollo permanente se requiere mantener un equilibrio entre el progreso económico, la calidad de vida de la población y la conservación del medio ambiente y los recursos naturales, esto es sostener un desarrollo con crecimiento económico, cuidado del ambiente y responsabilidad social, estos son los tres pilares del desarrollo sustentable.

Los albores del desarrollo sustentable se sitúan a comienzos de la década de los 70's, pero es hasta el reporte de *la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, Our Common Future* [Nuestro Futuro Común] en 1987, donde se sientan las bases y se define el desarrollo sustentable como "*aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la habilidad de las futuras para satisfacer sus propias necesidades*"². La intención fue elaborar una definición práctica, que condujera a cambios en el acceso a los recursos y en la distribución de costos y beneficios.

El enfoque de desarrollo sustentable está siendo aplicado por las principales empresas del mundo (Por ejemplo: BASF³, Aventis⁴, Nestlé⁵, Volvo⁶, CEMEX, entre otras), su éxito puede apreciarse en su desempeño en los mercados financieros⁷, donde su índice de cotización accionaria supera en alrededor de 30% al de aquellas que no han incluido el concepto de sustentabilidad en sus definiciones de negocio.

¹ Rittenhouse, Dawn G. "**Piecing together a Sustainable Development Strategy**", CEP, March 2003, pp 32-38.

² UNWCED: United Nations World Commission on Environment and Development, "**Our Common Future**", Oxford University Press, 1987 [más comúnmente referido como el Reporte Brundtland].

³ Stickings, Barry– BASF, "**BASF and Sustainable Development – Walking the Talk**", Financial Times Conference – "Are We Minding The Gap", London – Tuesday 28th May 2002, 10 pp.

⁴ Aventis, "**2002 Sustainability Report**", March 2003 Aventis, 52 pp

⁵ Nestlé, "**Reporte sobre Desarrollo Sostenible**", Mayo 2002, Nestlé S.A., Public Affairs, 51 pp.

⁶ Volvo, "**Volvo Environmental report 2000**", Environmental information from Volvo, 24 pp.

⁷ The Dow Jones Sustainability Indexes (<http://www.sustainability-index.com/>) y The FTSE4Good Index Series (<http://www.ftse.com/ftse4good/index.jsp>) son los dos mejores conocidos mercados financieros que miden el desempeño de sustentabilidad de las corporaciones.

Desde la perspectiva empresarial desarrollo sustentable significa:

- **Crecimiento económico.** La capacidad de generar ingresos y utilidades suficientes para cumplir con las obligaciones de crecimiento e inclusive poder generar programas de inversiones.
- **Cuidado del medio ambiente.** Significa cumplir con el marco regulatorio vigente en materia ambiental y en la medida de lo posible ir más allá de dicho marco regulatorio, explorando posibilidades alternas para mejorar en el desempeño ambiental de la empresa.
- **Responsabilidad social.** Una empresa no es organismo independiente y aislado, la empresa es participe dentro de una sociedad. La responsabilidad social implica estar a la vanguardia ante la comunidad, tomar parte activa de los planes y acciones de protección a la comunidad, además de respetar los derechos de los trabajadores y ser un defensor de los derechos humanos. Asimismo, implica mantener una relación estrecha y ética con los diferentes grupos de interés con los que interactúa, estos son: autoridades, comunidad, clientes, proveedores, entre otros.

Estos tres elementos están representados en la figura III-1, la aplicación de estos elementos en la empresa tendrá como resultado la creación de valor, que al aplicarse de manera sistemática desde la extracción de las materias primas hasta los clientes finales dará como resultado la creación de valor en la cadena de suministro.

Fig. III-1. Cadena de suministro. Un enfoque de desarrollo sustentable



Fuente: Elaboración propia

La unión de los pilares del desarrollo sustentable da lugar a acciones concretas que son:

Ecoeficiencia. La unión entre el uso eficiente de los recursos (lo que lleva a la productividad y rentabilidad) y la responsabilidad ambiental. La ecoeficiencia conduce a mejorar el desempeño ecológico y capitalizar oportunidades traducidas a beneficios económicos (crecimiento económico y ahorro en costos), establece compromiso con el medio ambiente y mejora los aspectos de seguridad e higiene⁸.

Acciones socio-económicas. La conexión del uso eficiente de los recursos para apoyar el desarrollo social y económico de las comunidades.⁹

Acciones socio-ambientales. Las acciones que derivan de la intersección de un desarrollo social y un cuidado adecuado del medio ambiente. Entender las necesidades sociales y detectar las oportunidades ambientales puede abrir nuevas posibilidades de negocio.

3.3. La sustentabilidad en la gestión de la logística inversa

Desarrollo sustentable y logística inversa son dos conceptos complejos, a pesar de su complejidad individual, ambos conceptos pueden trabajarse juntos para la creación de valor de manera sustentable.

La sustentabilidad en la logística inversa es fundamental a fin de identificar oportunidades para la ventaja competitiva contemplando los aspectos social y ambiental, evaluando los impactos y riesgos que ello implica. Esto va más allá de simplemente centrarse en el ahorro de costos y aumento de ingresos al corto plazo. Muchas compañías han comenzado a mirar de manera más estratégica la gestión de la logística inversa como fuente de innovación, más que buscar un mero control y de reducción de costos.

El enfoque tradicional de la cadena de suministro de disminuir costos a través de una mejor integración con sus proveedores y clientes no es suficiente para asegurar un desarrollo sustentable en la cadena, adicionalmente se requiere que los proveedores cumplan con ciertos estándares ambientales, seguridad e higiene, así como cumplir con derechos humanos y laborales, las compañías con este enfoque no sólo lograran proteger el valor de sus marcas, sino también satisfacer los requerimientos de los clientes, con niveles de costos a un valor aceptable para mantenerse competitivas¹⁰.

La administración de la cadena de suministro sustentable abre un abanico de oportunidades estratégicas tanto para los mercados actuales como para mercados futuros. Así pues, los factores clave del éxito de este tipo de iniciativa serán:

- Crecimiento de los ingresos y acceso a los mercados;
- Ahorro de costos y productividad;
- Acceso a capitales;
- Gestión de riesgos y aceptación social;
- Capital humano;
- Valor de marca y reputación.

⁸ World Business Council for Sustainable Development, "**Complementary Approaches to Sustainable Development Cleaner Production And Eco-Efficiency**", September 1998, 12 pp.

⁹ SustainAbility Corp. "**Sustainable Business Value© Matrix**", <http://www.sustainability.com/business-case/matrix.asp>

¹⁰ Drabæk, Iver / Brinch-Pedersen, Michael. "**Making Sustainability a Rewarding Business - No writing on the wall**", Nordic Partnership. 2003. p 3.

Es aquí donde la logística inversa entra en juego, ya que logística inversa tiene un impacto en los factores listados anteriormente. Las compañías exportadoras que demuestran seguir normas y sistemas de gestión con criterios de sostenibilidad se beneficiaran de un mejor acceso a los mercados, con la posibilidad de aplicar sobrepuestos a sus productos. Las compañías orientadas hacia el mercado interno se beneficiarán más probablemente del desarrollo económico y comunitario local, que refuerza su “aceptación social” y puede propiciar un aumento de sus ingresos.¹¹

La integración del concepto de sustentabilidad en la logística inversa representa un enfoque estratégico en los negocios. Sin embargo, para que la sustentabilidad llegue a ser parte de la gestión de la logística inversa, se requieren tres condiciones¹².

- **El proceso debe ser gratificante para todos los involucrados.** Esto es, debe haber una retribución para cada uno de los participantes de la cadena de suministro.
- **Debe emprenderse en colaboración con otros.** Esfuerzo coordinado entre los participantes.
- **Las reglas del mercado deben respaldar el esfuerzo hecho para mejorar la sustentabilidad en la cadena de suministro.** A nivel nacional, aún no se tienen las reglas del juego, provenientes principalmente de los clientes y el gobierno, recién se trabaja en este punto con la recién emisión de la *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, desde luego que las empresas que tienen un potencial de exportación deben poner especial atención en este punto, ya que las reglas de los mercados internacionales son diferentes.

En mercados como el europeo los aspectos medioambientales adquieren una relevancia particularmente importante, tanto para los consumidores y competidores, como para los organismos reguladores.

A pesar de que la sustentabilidad en la gestión de logística inversa representa fuentes potenciales de contribución a la estrategia competitiva de la empresa, hay que considerar algunos elementos que se vislumbran como obstáculos para que la sustentabilidad no se incorpore en la administración de la cadena de valor, entre estos elementos están los siguientes:

- **La gestión sustentable de la logística inversa, es compleja y hay poco conocimiento disponible al respecto.** La sustentabilidad es por sí misma un concepto ambiguo, así la idea de crear sustentabilidad en la logística inversa es un verdadero reto administrativo.
- **No hay escenarios fáciles de ganar-ganar.** El mercado del cliente no está interesado en cadenas de suministro sustentables. Esto parece agregar control de costos para la última empresa en la cadena, es impráctico agregar costo que se ve reflejado en los precios de sus bienes o servicios, a menos que exista en premio para la empresa o sus marcas.

¹¹ SustainAbility / Corporación Financiera Internacional / Instituto Ethos, “**Crear valor: Argumentos empresariales en favor de la sostenibilidad en los mercados emergentes**”, 2003, SustainAbility-IFC-Instituto Ethos, p. 3.

¹² Nordic Partnership, “**Diagnostic: Sustainable Supply Chain Management, version 1.0**”, Stockholm June 17th 2004.

- **Las compañías son generalmente medias y pequeñas para que les importe.** Aun cuando para las empresas de corte internacional la sustentabilidad en la cadena de suministro requiere de mucho esfuerzo, cuando este se convierta en *commodities*, ningún negocio por sí sólo puede llevar a cabo los cambios necesarios, ello implicará que sus proveedores normalmente de corte mediano y pequeño se sumen al esfuerzo compartido de la sustentabilidad en la cadena de suministro.¹³
- **Perspectiva de largo/corto plazo.** Trabajar bajo un enfoque de sustentabilidad es a largo plazo, mientras que para la mayoría de las empresas, especialmente en épocas de recesión, persiguen intereses económicos a corto plazo.¹⁴

La administración de una cadena de suministro con un enfoque de sustentabilidad, debe agregar valor a los clientes y que el cliente este dispuesto a pagar un precio *premium* por el valor agregado. Sin embargo, los valores ambientales y sociales generalmente no son visibles para el cliente y la sustentabilidad no es una característica del producto que pueda venderse por sí sola.

El consumismo de los últimos años está más orientado al materialismo más que a los valores, “*el mejor cliente castiga más a una empresa por hacerlo mal, más que por hacerlo bien*”. Así, el balance entre costo y control puede ser precario y frecuentemente inviable en términos de negocios, a menos que se tenga una reputación que proteger.

La evolución del grado de conciencia de los consumidores de los países desarrollados incluye una atenta mirada sobre el origen de los bienes objetos de consumo. Esto es, una creciente sensibilidad no sólo a nivel cualitativo de los productos, sino a la manera en que dichos bienes fueron producidos. Aspectos como el cuidado responsable del medio ambiente por parte de las empresas son valores arraigados entre la generalidad de la población de estas sociedades consideradas como desarrolladas.

Siguiendo esta visión de los consumidores, las empresas tratan de adecuar su imagen corporativa no solamente en aspectos de calidad de producto, sino de respeto por principios medio-ambientales y ético-sociales.

Como en casi todas las actividades empresariales, no hay garantías de que la mejora en el desempeño económico, ambiental y social conduzca al éxito de la empresa. No obstante, el reconocer los riesgos y aprovechar las oportunidades serán cada vez más relevantes a medida que la sustentabilidad se permea en la cadena de suministro, en elementos específicos como lo es la logística inversa.

3.4. Vectores que impulsan la logística inversa

En este capítulo se hace énfasis en el desarrollo sustentable puesto que los tres elementos que lo conforman son los mismos que han impulsado la logística inversa, principalmente el vector ambiental, que ha estado muy acentuado sobre todo en los países miembros de la Unión Europea, que a través de directivas emitidas por el Comité de la Unión se marcan las pautas para la reglamentación para los países miembros, además de que son los derroteros para las acciones que se toman en otros países fuera de la Unión Europea, incluyendo entre ellos México.

¹³ UNIDO, “*Integrating SMEs in Global Value Chains. Towards Partnership for Development*”, 2001.

¹⁴ Nordic Partnership, “*Business Models for Sustainability*”, April 2002.

A esta fuerza impulsora se suman los entes económico y social, el primero con mayor presencia en Estados Unidos por el valor que tiene la logística inversa en ese país; el segundo promovido a nivel mundial por organismos como la ONU, e incluso por las grandes corporaciones quienes buscan como ya se mencionó afianzar su imagen corporativa y utilizarlo como una puerta para generar ventajas competitivas.¹⁵

3.4.1. Vector ambiental

Uno de los principales vectores que ha impulsado la logística inversa es el elemento ambiental, sin duda alguna el ordenamiento jurídico ambiental que promueve el uso sustentable de los recursos naturales, respetando el medio ambiente y la salud y desde luego una gestión adecuada de los residuos.

3.4.1.1. Legislación de la gestión de los residuos en el mundo

Los países desarrollados, sobre todos los países miembros de la Unión Europea han adoptado políticas¹⁶ comunes en materia de gestión de los residuos a fin de minimizar la cantidad de residuos generados, decretando como meta la reducción en 20%¹⁷ (en comparación con el 2000) la cantidad de residuos generados para el año 2010 en los estados miembros, estableciendo el siguiente orden jerárquico para la planificación de tareas:

- **Prevención.** Minimización de la generación de residuos desde la fuente, a través de medidas de reducción en los procesos productivos, o cambios en el diseño de productos de consumo.
- **Recuperación.** La eliminación de generación de residuos en la fuente muchas veces no es factible, ya que ello implica cambios en los procesos extractivos y productivos, cambios en los hábitos de consumo, además de que termodinámicamente no es posible alcanzar una tasa 0 de generación de residuos. De esta manera la recuperación es la segunda alternativa para minimizar la generación de los residuos. Dentro de esta categoría se tienen la reutilización, el reciclaje, valorización y/o aprovechamiento en este orden jerárquico.
- **Disposición final / confinamiento.** La eliminación final mediante disposición en vertederos o envío a confinamiento.

Dentro de la Unión Europea, Alemania ha ido un paso más allá al dictaminar una “*Ley sobre el tratamiento económico y correcto de desechos*”¹⁸, que estable que la eliminación de los residuos debe ser amigable con el ambiente, con una responsabilidad extendida del producto, esto es:

¹⁵ The World Business Council for Sustainable, Development, The United Nations Environment, Programme and The World Resources Institute. “*Tomorrow’s markets: Global Trends and Their Implications for Business*”, 2002 (p 4) Preface by Michael Porter

¹⁶ Comisión Europea; “[Directiva 91/156/CEE](#)” del Consejo de 18 de marzo de 1991 relativa a los residuos.

¹⁷ Comisión Europea; “[Medio ambiente 2010: El Futuro Está En Nuestras Manos](#)”, Programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de Medio Ambiente, 2001.

¹⁸ “Kreislaufwirtschafts-und Abfallgesetz”, “*Ley sobre el tratamiento económico y correcto de desechos*”. Esta Ley pone en práctica la Directiva del Consejo de la Unión Europea 91/156/EEC del 18 de marzo de 1991.

“Las partes que desarrollen, manufacturen, procesen o traten, o vendan productos tienen responsabilidad sobre el producto para lograr los propósitos del manejo de los residuos conforme al ciclo cerrado de las sustancias. Para cumplir con esta responsabilidad, los productos deben de ser diseñados, de ser posible, en forma tal que la generación de residuos se reduzca durante su producción y uso, y que se asegure que la recuperación y disposición de los residuos resultantes sean compatibles con el ambiente”.¹⁹

En Estados Unidos la ley federal que legisla los residuos sólidos es la “Ley de Conservación y Recuperación de Recursos” (RCRA, por sus siglas en inglés), vigente desde 1976. Esta Ley tiene como propósito conservar y recuperar los recursos, así como prevenir riesgos a la salud y al ambiente, de manera que su enfoque es evidentemente preventivo. En Estados Unidos la gestión de los residuos está descentralizada y los estados pueden regular de manera más rigurosa el manejo.

Particularmente, en el caso de los envases y embalajes, la legislación en Estados Unidos está formulada para fomentar el reciclaje, regular el depósito para envase de bebidas, la codificación para botellas de plástico, los plásticos degradables, disposición de rellenos sanitarios, la recuperación de la energía y el etiquetado ecológico²⁰.

Adicionalmente, la legislación incluye disposiciones que se aplican a los fabricantes de los productos, estimulando a los productores a utilizar cantidades mínimas de materiales reciclados, a reducir la producción o uso de materiales tóxicos, así como a recolectar y reciclar materiales problemáticos.

3.4.1.2. Legislación de la gestión de los residuos en México

Durante muchos años, el marco regulatorio en materia de residuos tuvo un enfoque de control una vez que los residuos ya se habían generado, en lugar de promover la prevención de la generación y a la valorización de los residuos mediante su reuso o reciclado.

Los antecedentes de las experiencias internacionales, la subscripción en varios tratados y organismos internacionales (Por ejemplo: Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), así como una participación más activa de la sociedad, industria y gobierno por un cuidado respetuoso del medio ambiente, han sido los elementos catalizadores para que en México se desarrolle un marco regulatorio en materia de gestión de los residuos que responda a las condiciones actuales del país.

A nivel nacional, el marco regulatorio en la materia está encabezado en primer lugar por la constitución que establece que: “*Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.*” (artículo 3) y “*corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable ...*”.(artículo 25).²¹

Derivado de las disposiciones de la constitución en la materia se han decretado dos leyes:

¹⁹ Idem., Artículo 22.

²⁰ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), “[RCRA Orientation Manual](#)”, September 2002

²¹ **Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión**, “[Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos](#)”, Texto Vigente, Última reforma publicada en DOF 27-09-2004.

- i) **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente²²(LGEEPA).** Esta ley tiene como objetivo propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:
- a. *“Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.”*
 - b. *“El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.”*

En esta ley se indica de forma general: i) aprovechamiento sustentable de los elementos naturales, ii) la protección del ambiente, iii) la participación social, iv) las medidas de control y acciones.

- ii) **Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.²³ (LGPGR).** A diferencia de la LGEEPA, esta ley tiene una connotación diferente, haciendo énfasis en *“...la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.”* (artículo 1). Bajo este contexto, esta ley tiene un enfoque de ecoeficiencia, estableciendo las bases para:
- a. *“Aplicar los principios de valorización²⁴, responsabilidad compartida²⁵ y manejo integral²⁶ de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social...”*
 - b. *“Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas de gestión integral²⁷ de los mismos.”*

²² **Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, “[Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente](#)”.** Texto Vigente, 13 de Junio 2003.

²³ **Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, “[Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos](#)”,** publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de Octubre de 2003.

²⁴ **Valorización:** *“Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica”*

²⁵ **Responsabilidad Compartida:** *“Principio mediante el cual se reconoce que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial son generados a partir de la realización de actividades que satisfacen necesidades de la sociedad, mediante cadenas de valor tipo producción, proceso, envasado, distribución, consumo de productos, y que, en consecuencia, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social”*

²⁶ **Manejo Integral:** *“Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social”.*

²⁷ **Gestión Integral de Residuos:** *“Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión*

- c. *“Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos.”*
- d. *“Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados.”*
- e. *“Promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales, en las acciones tendientes a prevenir la generación, valorización y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable.”*

3.4.1.3. Otros instrumentos regulatorios en materia de residuos sólidos

Por sus implicaciones económicas, sociales y ambientales, adicional a las leyes de carácter nacional se han emitido disposiciones que soportan la instrumentación de dichas leyes a través de reglamentos y normas, así como de procedimientos administrativos (manifiestos, autorizaciones, permisos, licencias, etc.) que en su conjunto establecen las condiciones y restricciones en las diversas fases del ciclo de vida de un producto y sus residuos.

En materia de residuos sólidos no existe un reglamento federal que regule las actividades relacionadas con los residuos sólidos, se cuenta con dos reglamentos pero estos están orientadas a la regulación de los residuos peligrosos²⁸. Queda a los estados de la federación emitir las leyes locales, los reglamentos y normas supletorios en la materia. Los municipios también son responsables de elaborar sus propios reglamentos y los mecanismos pertinentes para una gestión integral de los residuos.

La figura III-2, resume el marco regulatorio en materia de gestión de los residuos, teniendo como ordenamiento rector a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, del cual derivan otros ordenamientos, como son leyes, reglamentos y normas. El enfoque actual del marco regulatorio es la prevención en la generación de los residuos, teniendo como última opción la disposición de los mismos.

La regulación ambiental no debería ser un elemento inhibitorio de la competitividad de las empresas, cuando ésta está bien diseñada, puede convertirse en un elemento que promueva la innovación, la productividad de los recursos y la competitividad, como afirma *Porter*²⁹; ya que, las empresas operan en un mundo real de competencia dinámica, donde constantemente se encuentran nuevas soluciones, alternativas y desafíos para sortear las presiones de los competidores, clientes y reguladores.

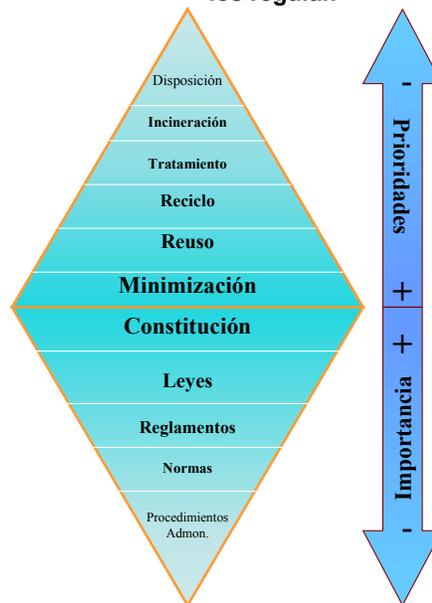
y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región”

²⁸ El primero es **“Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de residuos peligrosos”**, mediante el cual se instrumenta la LGEEPA en materia de residuos peligrosos. E segundo es el **“Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos”** que regula las actividades en el transporte de materiales y residuos peligrosos

²⁹ Porter. Michael E. and Claas van der Linde, **“Green and Competitive: Ending the Stalemate”**, Harvard Business Review, September-October 1995, , pp. 119-134

Porter³⁰ sostiene que la regulación ambiental no únicamente mejora la calidad ambiental, sino que también ayuda a que las compensaciones por las innovaciones sean mayores que los costos derivados por el cumplimiento de la legislación, lo cual podría derivar en generar ventajas competitiva sostenibles a través de una reducción de los costos totales e incremento de ganancias.

Figura III-2. Prioridad de las opciones de gestión de los residuos e importancia de los ordenamientos que los regulan



Fuente: Elaboración propia

Diversos estudios se han realizado para comprobar la hipótesis de Porter de “**regulación ambiental y eficiencia de las empresas**”, algunos en contra de esta hipótesis³¹ y otros a favor³², lo cierto es que las empresas pueden trabajar de manera “verde” y ser competitivas³³, cuando logran cubrir las necesidades de los clientes y conciliar intereses entre los participantes (*stakeholder*) (Por ejemplo, el gobierno demanda productos amigables con el ambiente, la sociedad productos seguros, y los consumidores que los productos sean de bajo costo y de uso fácil). Hawken³⁴, ha ido un paso más allá de los aspectos meramente regulatorios al considerar que un sistema industrial es un conjunto de secciones de almacenamiento y flujo de materiales y residuos, y que su vez este debe ser considerado dentro de un sistema natural, esto implicaría un mejor uso de los recursos naturales que pueden solucionar muchos problemas ambientales.

³⁰ Porter, Michael E and Esty, Daniel. “*The Global Competitiveness Report 2001-2002: Chapter 2.1 Ranking National Environmental Regulation and Performance: A Leading Indicator of Future Competitiveness?*”, New York: Oxford University Press, 2001.

³¹ Marklund, Per-Olov, “*Environmental Regulation and Firm Efficiency: Studying the Porter Hypothesis using a Directional Output Distance Function*” Umeå, Sweden, 2004

³² Mohr, Robert D. “*Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis*”, Journal of Environmental Economics and Management 43, 158-168, (2002).

³³ Pujari, Devashish, et. al. “*Green and competitive Influences on environmental new product development performance*”, Journal of Business Research 56 657– 671, (2003)

³⁴ Hawken, Paul, et. al. “[A Roadmap for Natural Capitalism](#)” Harvard Business Review, May-June 1999, 145-158

3.4.2. Vector económico

El segundo elemento que ha impulsado la logística inversa es el económico, de hecho es el elemento más evidente actualmente, sobre todo cuando se habla de la logística inversa de devolución, por las acciones de valor añadido y las oportunidades de negocio. Bajo el principio de sistema natural de *Hawken*, se tienen 4 estrategias para proteger la biosfera, al tiempo que se hace que los recursos sean más productivos, y se mejora en los beneficios y la competitividad de la empresa.^{35,36,37} Están 4 estrategias se muestran en la Tabla III-1, cada una de éstas está asociada a un argumento económico.

Tabla III-1. Cuatro estrategias clave para la sustentabilidad de las empresas

Estrategia	Descripción	Argumento Económico
<i>Productividad de los recursos.</i> Incrementar la productividad de los recursos naturales	Incrementar la productividad de los recursos significa obtener más producto por cada tonelada de materia natural extraída. Algunas de las vías para lograr esto son: Cambios en la tecnología o en la producción	Eliminar o reducir los flujos residuales y/o destructivos de los sistemas representa una de las mayores oportunidades de negocio. Ahorrar recursos es posible, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y ahorrando dinero.
<i>Biomimesis.</i> Imitar los modelos de la naturaleza	La naturaleza, creativa por necesidad ha resuelto muchos de los problemas con los que lidiamos actualmente. Así, se debe buscar que los sistemas de producción emulen la naturaleza, donde los residuos de un sistema son el alimento para otro. Este es el enfoque de eliminación de residuos en el sistema	Eliminar residuos en la cadena de suministro ahorra recursos y dinero.
<i>Servicio y flujo económico.</i> Cambiar a modelos de negocios basados en soluciones	En los modelos de negocios basados en la compra-venta de bienes, el comprador tiene la última responsabilidad de disposición de los bienes, que por lo general son desechados después de su uso. En el modelo de negocios basado en soluciones el productor mantiene la propiedad de los bienes, que implica "Flujo reverso de los bienes", con la eventual remanufactura o reciclaje de dichos bienes, entre otras opciones.	Cambiar a modelos que hacen énfasis en promover la recuperación del valor de los bienes en todo el ciclo económico
<i>Invertir en capital Natural</i> ³⁸ . Reinvertir en capital natural.	Las empresas deben restaurar, sustentar y expandir los ecosistemas del planeta de modo que puedan producir sus servicios y recursos de manera más abundante. Si las empresas no hacen esto proactivamente, se continuará ejerciendo presión sobre el medio ambiente, que puede conducir a presiones por parte de la sociedad y ello a acciones de regulación costosas e ineficientes.	Asegurar que habrá recursos en el futuro, mejorar la responsabilidad ambiental, mejorar la imagen de la empresa y promover un mayor conocimiento del cliente por el medio ambiente.

Fuente: Elaboración propia

³⁵ Hawken, Paul, et. al. "[Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution](#)", Rocky Mountain Institute. , 1994

³⁶ SoL Sustainability Consortium, "[Integrating Frameworks for Sustainability](#)", April 1, 2001

³⁷ Birkin, Frank, "[Steps to natural capitalism](#)", Sustainable Development, Sust. Dev. 9, 47–57 (2001).

³⁸ **Capital natural:** Conjunto de dinámicas valiosas (bosques, océanos, suelos, etc.) que la naturaleza provee a los seres humanos y a las sociedades.

De esta manera, las empresas no estarían considerando la gestión de la logística inversa únicamente como una necesidad motivada por presiones legislativas, sino que encontrarían en estas actividades formas de lograr ventajas competitivas sostenibles y con ello la consecución de sus objetivos empresariales.

En conjunto, esto tiene las siguientes implicaciones:

Demanda

- La recuperación de productos fuera de uso y su posterior incorporación a la cadena productiva sirve como un instrumento de *mercadeo verde*³⁹ (*green marketing*, en inglés).
- Las empresas podrían generar ventajas o diferencias competitivas a través de una estrategia de posicionamiento.⁴⁰

Con esto, se pretende generar una imagen de empresa ambientalmente responsable que participa en la extracción, producción, distribución y/o comercialización de productos reciclables a partir de materiales recuperados, en los que se minimiza la generación de residuos y utilización de los recursos naturales, empleando tecnologías limpias e integrando la cadena de suministro (proveedores, suministradores, distribuidores y clientes) en la estrategia medio ambiental del negocio.

Oferta

La recuperación de materiales (productos y residuos) fuera de uso implicaría la sustitución de materias primas vírgenes o componentes originales por los materiales recuperados, lo que podría generar una disminución en los costos de fabricación y/o en el precio de venta de estos.

3.4.3. Vector Social

El desarrollo sustentable no funciona si uno de los tres elementos principales que lo integran hace falta, la parte social adquiere un papel muy importante en la logística inversa, no sólo desde la óptica regulatoria, elaborada para cuidar la salud de los consumidores, sino también desde la óptica preventiva que implica el grado de conciencia ambiental de los consumidores y clientes y, cómo éstos se involucran e integran en las estrategias medioambientales de las empresas.

Muchas iniciativas correctivas o mitigadoras de recuperación de materiales han surgido en el seno de la sociedad, conciente del grado de deterioro de su medio ambiente.

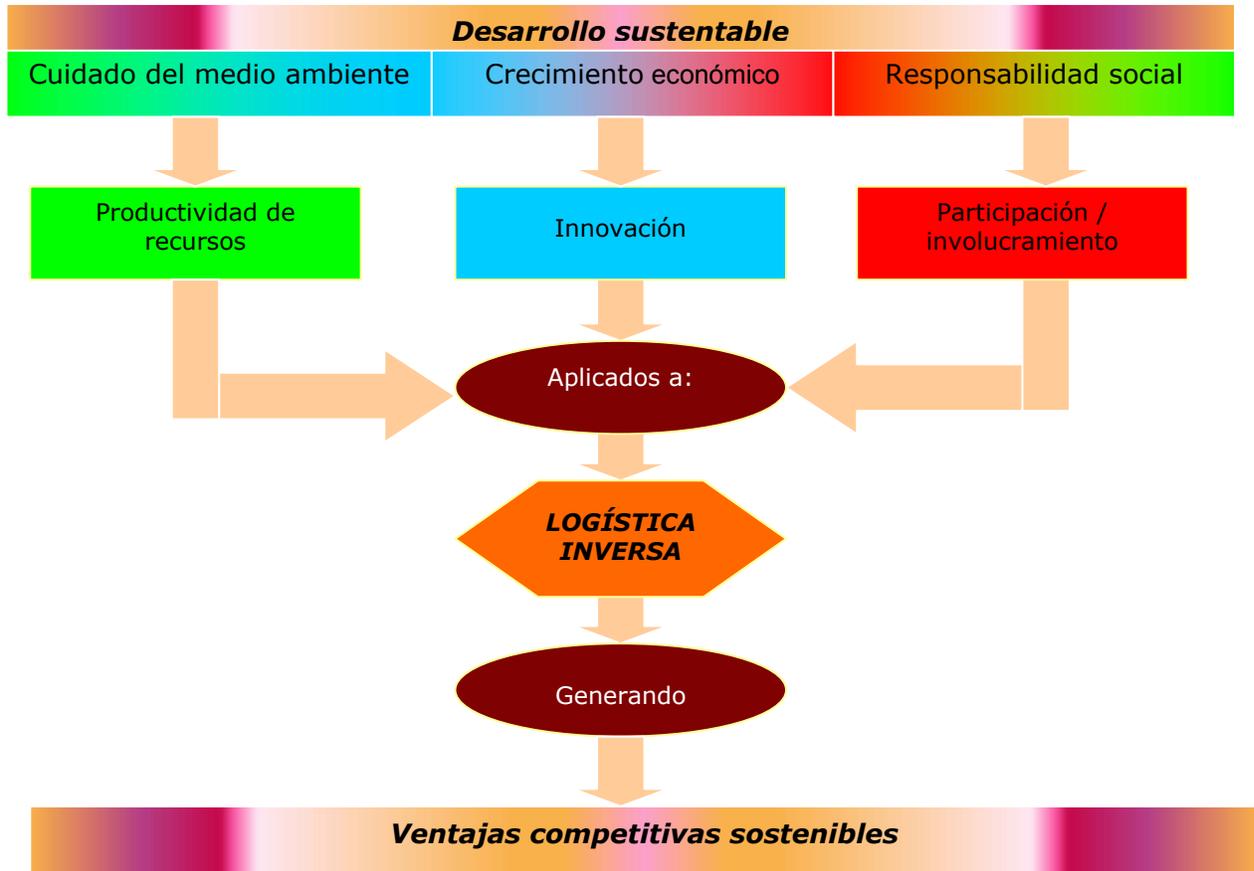
Adicionalmente, las acciones de recuperación de materiales vinculadas a los vectores económico y ambiental no se lograrían sin la participación de la comunidad. Aún falta mucho por hacer, para que en México exista una mayor participación de los consumidores en las acciones de recuperación, no obstante, las campañas de información al respecto en los medios de comunicación y escuelas tienen como objeto lograr una mayor participación de la sociedad.

³⁹ Ottman, Jacquelyn, "[Green Marketing: Opportunity for Innovation](http://www.greenmarketing.com/green_marketing_book/Contents.html)", J. Ottman Consulting. 290 pp. Online edition, http://www.greenmarketing.com/green_marketing_book/Contents.html,

⁴⁰ Kotler, Philip, "*Dirección de marketing: La edición del milenio*", "Northwestern University, Prentice may, 2000.

La figura III-3, ilustra los tres vectores ambiental, económico y social como elementos motivadores para la generación de ventajas competitivas en la logística inversa.

Figura III-3. Desarrollo sustentable como fuente de ventajas competitivas.



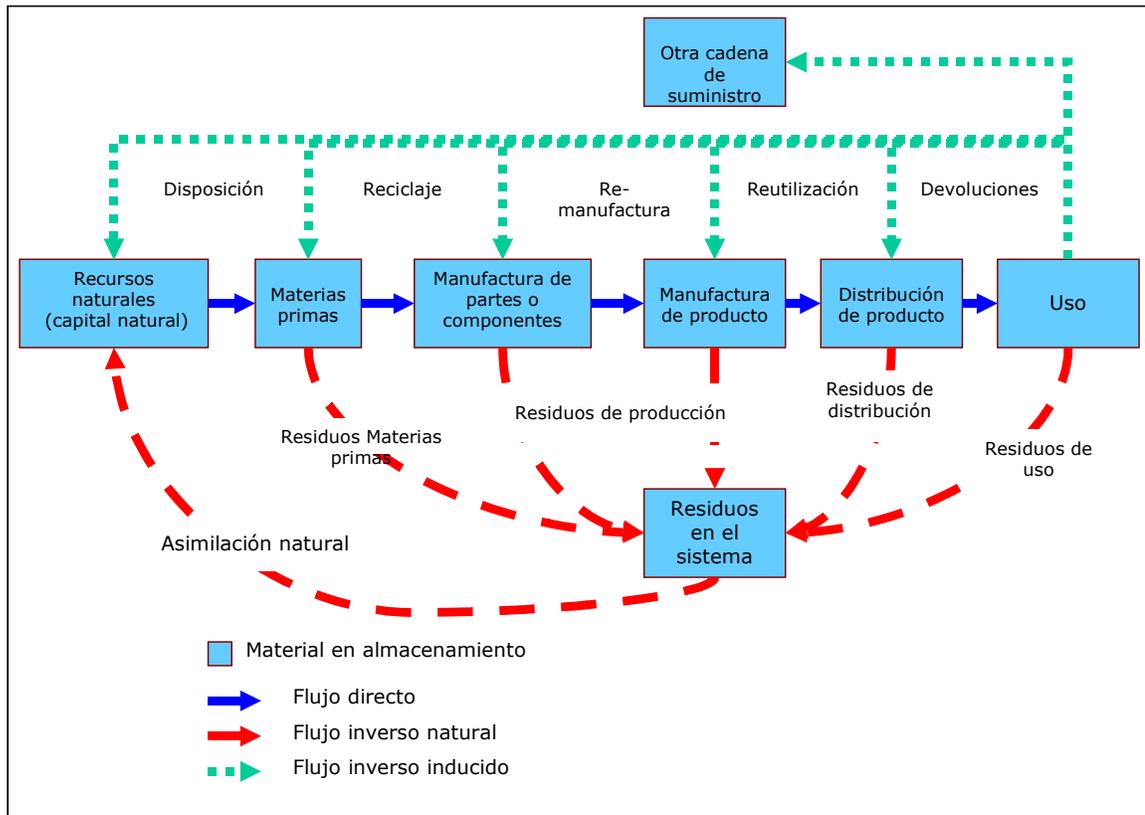
Fuente: Elaboración propia

3.5. Vínculo de la logística inversa y desarrollo sustentable.

Hasta ahora se ha hecho referencia de los vectores que han impulsado la logística inversa, estos elementos: medio ambiente, económico y social; forman parte del concepto de desarrollo sustentable. Para ver el papel de la logística inversa en el desarrollo sustentable se muestra en la figura III-4 la representación simplificada de una cadena de suministro, conformada por secciones de almacenamiento y flujo de materiales, donde al igual que en los procesos de la naturaleza se tienen flujos que van a la inversa como forma de compensación y para mantener equilibrado al sistema.

En los sistemas naturales el flujo directo y el flujo inverso natural mantienen un equilibrio, de manera que los materiales usados son asimilados por el sistema a una razón proporcional a la que son usados para regenerar nuevos recursos. Sin embargo, los procesos industriales actuales demandan recursos naturales a una tasa mayor a la que son regenerados, con el consecuente agotamiento de dichos recursos. De ahí, que la logística inversa juegue un papel fundamental para disminuir la explotación de los recursos naturales, a través de acciones como reciclaje, remanufactura y reutilización, aumentando consecuentemente la productividad de los recursos.

Figura III-4. Flujos en los sistemas naturales y los sistemas industriales



Fuente: Elaboración propia

Así, un método para alcanzar el desarrollo sustentable es incrementando la cantidad de materiales recuperados de las corrientes de residuos, este es un componente que forma parte de la logística inversa.

Capítulo IV

Modelo para la recuperación de materiales

“Nada es demasiado maravilloso para ser verdad”

Michael Faraday, [1791-1867]

CAPITULO IV. MODELO PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES

4.1. Introducción

En los capítulos previos se hizo revisión de la logística inversa y todos los elementos que hay alrededor de ella; se ha hecho énfasis en la importancia que tiene el desarrollo sustentable al momento de diseñar estrategias de gestión en la recuperación de materiales.

En este capítulo se desarrolla un modelo para la recuperación de productos que han finalizado su vida útil, para, con ello instrumentar el concepto de la logística inversa de recuperación apoyándose en los sistemas “duros”, esto es, herramientas de la investigación de operaciones.

Sin bien es cierto que una técnica cuantitativa de investigación de operaciones no es suficiente para la gestión de las actividades de la logística inversa, si proporciona elementos que apoyan la toma de decisiones¹, así como alternativas de solución a los problemas asociados a la recuperación de materiales.

De aquí que, acompañado a los modelos matemáticos se deberá hacer uso de metodologías de los “*sistemas suaves*”² y otros instrumentos de gestión para poner en práctica la gestión de las actividades de la logística inversa de recuperación.

Sin embargo, el alcance de la tesis está enmarcado por los “sistemas duros”, a través del uso de un modelo genérico basado en Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), recalcando que es una herramienta de soporte para la toma de decisiones en la gestión de recuperación de materiales.

4.2. Modelo

4.2.1. Características del modelo

Un modelo de una red de logística inversa en principio toma muchos de los elementos que definen a un modelo de red logística con flujo hacia adelante, pero incorpora nuevos elementos que definirán la estructura característica de este tipo de redes.

¹ Bonini, Charles P. / et. al. “*Quantitative Analysis for Manegament*”, 9th edition, Irwin MacGraw Hill, 1997, p. 3.

² Checkland, Peter, “*Techiques in Soft Systems Practice Part I: Systems Diagrams – Some Tentative Guidelines, Journal of Applied Systems Analysis*”, Vol. 6, 1979.

A partir de diversos estudios de redes de recuperación de materiales como: alfombras^{3,4}, electrónicos^{5,6}, empaques⁷, materiales de demolición⁸ o subproductos de la producción de acero⁹ se ha podido desarrollar un modelo genérico efectivo¹⁰ para el diseño y operación de redes inversas. Este modelo se basa en Programación Lineal Entera Mixta (PLEM).

En principio, en el diseño de una red de logística inversa se busca como objetivo la optimización de la recuperación de los productos fuera de uso, al tiempo que se generan oportunidades competitivas para la empresa, por lo que el uso de PLEM donde la función objetivo del modelo matemático es minimizar los costos de inversión, transportación y operación cubre de manera aceptable el objetivo primario de la red.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el modelo está simplificado, para el diseño de una red exhaustiva y detallada hay que considerar otras características de funcionalidad de la cadena de suministro, de manufactura y de la logística hacia adelante. Estas características están relacionadas con el tiempo, la incertidumbre, la integridad, la no linealidad y la dependencia.

La característica de tiempo se refiere al ciclo de vida del producto, por ejemplo los envases de PET tienen un ciclo de vida de producto relativamente corto comparado con piezas de aviones. La incertidumbre está vinculada a los procesos de recuperación de los productos fuera de uso, tanto de la cantidad como de la calidad de los mismos, del momento en que se hace la recuperación, y la ubicación de los puntos de recuperación, en el caso del PET este factor tiene poca relevancia.

La integridad, la no linealidad y la dependencia están asociadas básicamente al tipo de proceso de manufactura y la interrelación que existen con otras cadenas de suministro. El proceso de manufactura de las botellas de PET es relativamente sencillo, por lo que se considera el modelo general que se muestra más adelante como el adecuado para la red de recuperación de envases de PET.

³ Ammons C., Jane / Realf J., Matthew / Newton, David, "**Reverse production system design and operation for carpet recycling**", Georgia Institute of Technology, December, 1997.

⁴ Louwers, D., Kip, B. J./ Peters, E., Souren, F. / Flapper, S. D., "**A facility location allocation model for reusing carpet materials**". Computers and Industrial Engineering, 36, pp. 855–869, 1999.

⁵ Krikke, H. R. / Van Harten, A. / Schuur, P. C., "**Business case Océ : reverse logistic network re-design for copiers**". OR Spektrum, 21, pp. 381–409, 1999.

⁶ Jayaraman, V./ Guide, Jr, V. / Srivastava, R., "**A closed-loop logistics model for remanufacturing**", Journal of the Operational Research Society, 50, 497–508, 1999.

⁷ Kroon, L./ Vrijens, G., "**Returnable containers: an example of reverse logistics**". International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 25(2), 56–68, 1995.

⁸ Barros, A. I. / Dekker, R., / Scholten, V., "**A two level network for recycling sand: a case study**". European Journal of Operational Research, 110, pp. 199–214. 1998.

⁹ Spengler, T. / Püchert, H., Penkuhn, T. / Rentz, O., "**Environmental integrated production and recycling management**". European Journal of Operational Research, 97, pp. 308–326, 1997.

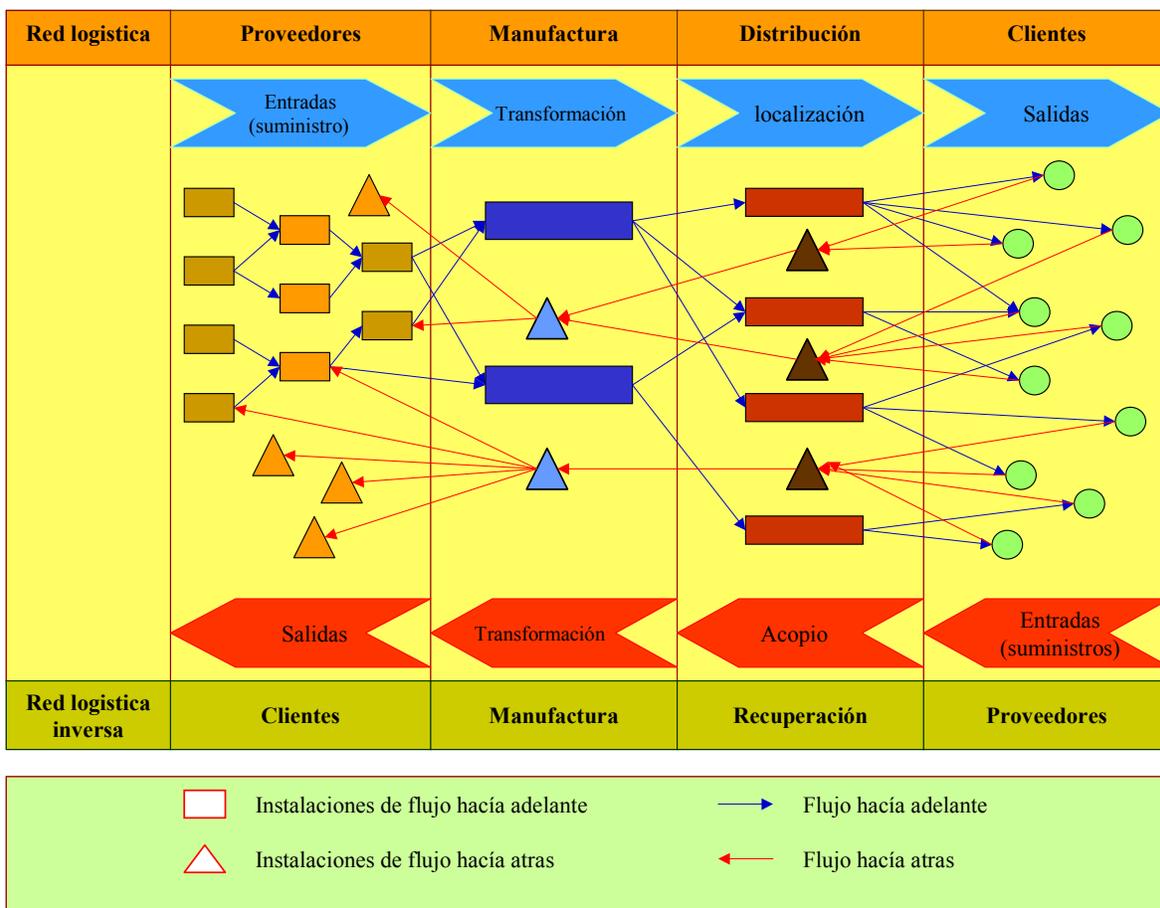
¹⁰ Fleischmann, Moritz / Beullens, Patrick / Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M / N Va., Luk, "**The impact of product recovery on logistics network design**", *Production and Operations Management*; Summer 2001; 10, 2; pp 156-173.

A pesar de que un sistema de logística inversa tiene muchos elementos en común con un sistema de logística tradicional, los modelos de diseño de redes de logística inversa, presentan una problemática específica, asociada fundamentalmente a los procesos de recuperación que a continuación de describe.

4.2.2. Descripción del problema

Las redes de logística inversa de productos de recuperación, pueden ser simples con pocos eslabones o complejas con una serie de eslabones, esto dependerá del tipo de producto que se desea recuperar, pero todas tienen esencialmente los eslabones que se ilustran en la figura IV-1.

Figura IV-1. Esquema de una red de recuperación con flujo directo y flujo inverso.



Fuente: Elaboración propia

El esquema de la figura IV-1 ilustra claramente el problema de una red de recuperación de productos. Se puede apreciar que la red de flujo hacia adelante se superpone a la red con flujo hacia atrás. En la figura IV-1 los centros de acopio de material recuperado tiene una localización diferente a la de los productos con flujo hacia adelante, lo mismo que en la fase de transformación.

No obstante, los centros de distribución de flujo hacia adelante pueden funcionar como centros de acopio, haciendo pequeñas modificaciones en las instalaciones para que estos centros puedan recibir el material recuperado, con ello se elimina o se abate el costo que se tiene que erogar para las instalaciones de acopio de materiales recuperados. De igual manera, los centros de procesamiento de productos pueden hacer las veces de centros de transformación de material.

Así mismo, los clientes del material recuperado pueden ser los mismos proveedores de materia prima, y de hecho se da para muchos plásticos, como es el caso del PET, ya que la materia virgen pueden mezclarse con materia recuperada, sobre todo cuando la mezcla no afecta las propiedades del producto que se desea o bien cuando se producen otros productos con características diferentes.

En la figura se ha ilustrado a los puntos de acopio apartados de los puntos de procesamiento, pero un punto de acopio también puede funcionar como punto de procesamiento.

La figura muestra una red de logística extendida (flujo hacia adelante y flujo hacia atrás) de manera simplificada. Sin embargo, en una cadena de suministro existen muchos eslabones tanto del flujo hacia adelante como del flujo hacia atrás, además de que existe interacción con otras cadenas, por lo que, la red se vuelve muy compleja y cuyo análisis requiere involucrar otros elementos para la solución del problema.

En la red mostrada en la figura IV-1 se pueden ver claramente cuatro eslabones en la cadena: transformación, distribución, zona del cliente (salida de flujo hacia adelante y entrada de flujo inverso) y recuperación. Los detalles de estos elementos asociados al problema se describen a continuación:

Sitios existentes. Los puntos de transformación (manufactura) y clientes son los sitios existentes en la red. Como se ha mencionado los centros de producción de productos pueden funcionar como centros de manufactura para productos producidos a partir de materiales reciclados, aunque muchas veces, y por razones en el control de la materia prima, se prefiere tener centros separados. Los clientes están agrupados en zonas, cada zona de clientes tiene una demanda conocida que debe ser satisfecha, por otra parte, los clientes retornan los productos usados a la cadena de suministro para su recuperación, en este caso vía el reciclo.

Nuevas localidades. Los centros de distribución y acopio son las potenciales nuevas localidades. Los centros de distribución son usados para almacenar y distribuir los productos a la zona de clientes, para el caso de los envases de PET que acompaña al producto que contienen, un centro de distribución puede ser una tienda de autoservicio o una tienda de esquina. Los centros de acopio reciben los productos retornados por los clientes y enviados a los centros de procesamiento. Estos centros, además de la función de acopio, también pueden realizar las funciones de inspección y clasificación. Los centros de distribución pueden hacer la función de acopio cuando los clientes retornan los productos usados directamente a estos sitios y no a centros de acopio.

Distribución. Los productos (nuevos y reciclados) son transportados de los productores a los clientes vía los centros de distribución, satisfaciendo la demanda de los clientes e incurriendo en costos de transportación.

Recuperación y acopio. Una cierta cantidad de productos usados, definida como un porcentaje de demanda, es recolectado de la zona de clientes. Los productos usados son transportados a los centros de acopio. Se incurre en costos de almacenamiento cuando los productos recuperados son almacenados en estos centros. La clasificación de los productos es una actividad que se lleva a cabo en esta etapa, en primer lugar separando los productos (residuos) que sean del mismo material, luego por coloración, por especificación técnica u otro elemento considera esencial para la etapa de procesamiento. Los productos que cumplan los criterios de la red serán enviados a los centros de procesamiento, y los que no serán enviados a otras entidades o a disposición, fuera de los límites del modelo.

Con estos elementos es posible identificar que una red para productos fuera de uso puede formularse como un problema de Programación Lineal Entera Mixta. El problema se asemeja mucho a un problema clásico de localización y asignación.

Específicamente, el problema consiste en diseñar una red logística inversa que conecta dos mercados, uno donde se hace la recuperación del producto, y otro donde se vende el producto recuperado. Para ello se consideran tres tipos de instalaciones que conectan a los mercados. Estas instalaciones son los centros de acopio, donde se recogen y clasifican los productos recuperados, las instalaciones donde se realiza el reciclaje y los centros de distribución de los productos reciclados. Aunque como ya se dijo, un sólo centro puede hacer las tres funciones al mismo tiempo.

Así, el modelo se propone como un modelo de minimización de la función de costos de inversión y operación, en donde se toman decisiones respecto al número y localización de las instalaciones (considerada como variable estratégica de carácter binario) y los flujos que se asignaran a cada instalación (variable considerada como táctica de carácter continuo), sujeto a determinadas restricciones de carácter técnico y económico.

4.3. Modelo matemático

Con el planteamiento realizado hasta aquí, el problema se formula como un Problema de Programación Lineal Entera Mixta, con las características siguientes:

4.3.1. Formulación general

La formulación general es como sigue:

Función Objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \text{Costos de inversión} + \text{Costos de operación}$$

Donde:

Costos de inversión = costos de apertura + costos de instalación

Costos de operación = costos de mantenimiento + costos de clasificación + costos de almacenamiento + costos de transportación Sujeto a:

- Restricciones de flujo;
- Restricciones de operación;
- Restricciones de instalación;
- Restricciones de capacidad;
- Restricciones de no-negatividad; y
- Restricciones binarias.

Para trasladar esta estructura en lenguaje matemático se utiliza la notación siguiente.

4.3.2. Conjunto de índices

$I = \{1, 2, \dots, Np\}$ Localización de las posibles plantas de transformación (procesamiento)

$I_0 = I \cup \{0\}$, donde 0 denota la opción de eliminación del producto fuera de uso (por ejemplo, disposición en rellenos sanitarios).

$J = \{1, 2, \dots, Nw\}$ Localización de los posibles centros de distribución.

$K = \{1, 2, \dots, Nc\}$ Localización de los clientes existentes.

$L = \{1, 2, \dots, Nr\}$ Localización de los posibles centros de recuperación (acopio) de productos.

4.3.3. Variables

X^{ijk} = Flujo hacia delante. Fracción de la demanda del cliente k fabricada en la planta i y distribuida a través del almacén j ;
 $i \in I, j \in J, k \in K$

X^{kli} = Flujo inverso. Fracción de los productos consumidos por el cliente k recogidos por el centro de recuperación l , para ser procesados en la planta i ;
 $k \in K, l \in L, i \in I$.

U_k = Fracción insatisfecha de la demanda del cliente k ;
 $k \in K$

W_k = Fracción de material no recuperado desde el cliente k ;
 $k \in K$

Y^p_i = Planta de proceso i operativa;
 $i \in I$

Y^w_j = Centro de distribución j operativo;
 $j \in J$

Y^r_l = Centro de recuperación l operativo;
 $l \in L$

4.3.4. Costos

C^{ijk} = Costo unitario variable de flujo hacia delante. Costo de atender la demanda del cliente k de la planta i y almacén j , incluyendo costos de transportación, producción y manejo;
 $i \in I, j \in J, k \in K$

C^{kli} = Costo unitario variable de flujo inverso. Costo de recuperación de los productos consumidos por el cliente k recogidos por el centro de recuperación l , para ser procesados en la planta i ;
 $k \in K, l \in L, i \in I$.

C^{kl0} = Costo unitario variable de disposición. Costo de disposición final de los productos consumidos por el cliente k , vía centro de recuperación l , incluyendo costo de recolección, transportación, manejo y disposición;
 $k \in K, l \in L$

C^u_k = Costo unitario de penalización por no atender la demanda del cliente k ; $k \in K$

C^w_k = Costo unitario de penalización por no recuperar el producto de uso final del cliente k ;
 $k \in K$

f^p_i = Costo fijo por planta de proceso i operativa; $i \in I$

f^w_j = Costo fijo por centro de distribución j operativo; $j \in J$

f^r_l = Costo fijo por centro de recuperación l operativo; $l \in L$

4.3.5. Parámetros

d_k = demanda de productos recuperados del consumidor; $k \in K$

r_k = Devoluciones del consumidor k ; $k \in K$

γ = Fracción mínima de productos enviados a disposición

4.3.6. Función objetivo y restricciones

Así el problema queda formulado como sigue:

Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^w Y_j^w + \sum_{l \in L} f_l^r Y_l^r + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ijk}^f d_k X_{ijk}^f + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{i \in I_0} c_{kli}^r r_k X_{kli}^r + \\ & \sum_{k \in K} c_k^u d_k U_k + \sum_{k \in K} c_k^w r_k W_k \end{aligned}$$

Sujeto a las Restricciones

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk}^f + U_k = 1 \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{l \in L} \left(\sum_{i \in I} X_{kli}^r + X_{kl0}^r \right) + W_k = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} r_k X_{kli}^r \leq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_k X_{ijk}^f \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\gamma \sum_{i \in I_0} X_{kli}^r \leq X_{kl0}^r \quad \forall k \in K, l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ijk}^f \leq Y_i^p \quad \forall k \in K, i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ijk}^f \leq Y_j^w \quad \forall k \in K, j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I_0} X_{kli}^r \leq Y_l^r \quad \forall k \in K, l \in L \quad (7)$$

$$Y_i^p, Y_j^w, Y_l^r \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (8)$$

$$0 \leq X_{ijk}^f, X_{kli}^r, U_k, W_k \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (9)$$

El objetivo del problema consiste en minimizar los costos fijos (de apertura de instalaciones) y costos variables (operativos) sujeto a una serie de restricciones técnicas y económicas, las cuales se explican a continuación:

Restricciones (1) y (2) indican que toda la demanda de los consumidores, así como sus devoluciones son consideradas dentro del modelo, es decir que no quedan clientes sin atender y productos fuera de uso sin ser acopiados.

La restricción (3) es una de las restricciones características de la función inversa del modelo, ya que señala la coordinación que debería de existir entre la oferta y la demanda. La desigualdad indica que los flujos de retorno a cada instalación no superarán el total de los bienes que salen de cada una de ellas, la existencia de una proporción de productos retornados que no serán susceptibles de recuperación, y por tanto son enviados a disposición final o sacados fuera de la cadena, explica un desajuste entre la demanda y la oferta que será satisfecha por productos obtenidos con materias primas vírgenes.

La restricción (4) es una desigualdad que indica que la proporción mínima de productos retornados que son eliminados no es inferior a un factor γ . Este factor γ , esta sujeto a una incertidumbre cualitativa, que se obtiene en la etapa de clasificación de los materiales recuperados, vía la inspección visual o bien mediante el uso de maquinaria en el mejor de los casos. Aunque este valor es difícil de obtener y en muchos de los casos puede asignarse un valor arbitrario.

Las restricciones (5), (6) y (7) indican las condiciones de apertura de instalaciones.

Las restricciones (8) y (9) indican el dominio de cada una de las variables dentro del modelo.

4.3.7. Limitaciones del modelo

De esta manera, se puede advertir que el modelo se asemeja mucho a los problemas tradicionales de localización y asignación, no obstante los sistemas de logística inversa incluyen ciertos elementos que deben ser considerados para una interpretación más precisa de este tipo de sistemas.

Cabe señalar que la formulación de este tipo de problemas es muy general y cada caso real plantea una situación diferente, que en muchos casos es difícil de formular, pero que modelos como este pueden funcionar bastante bien para problemas reales, mediante la modificación de los elementos que se plantean en el modelo.

Para indicar las limitaciones de los modelos de flujo inverso hay que señalar las siguientes características:

1. Los sistemas logísticos hacia delante son, por lo general, redes divergentes, esto es, redes con pocos orígenes (productor) y muchos destinos (clientes), mientras que los sistemas de logística inversa son, normalmente, redes convergentes con número de fuentes (clientes) muy elevado y un número reducido de destinos (recuperadores). Esto sugiere que debe conocerse el número de destinos y fuentes, en muchos casos se desconoce el número de estos por lo que hay que partir de supuestos o definir el número de cada uno de ellos.
2. La logística hacia delante es un sistema *pull* (jalar) en el que el cliente es el destino del flujo, en una red de logística inversa es un sistema *push* (empujar), que depende del suministro del cliente, pero también puede darse el caso que dentro de la logística inversa de recuperación se dé el efecto *pull* debido a la demanda de los productos recuperados.

En la práctica en México, es poco probable que esto suceda. Sin embargo, bajo esta condición el modelaje de flujo inverso debe contemplar problemas de localización y asignación junto con problemas de trasbordo.

3. En una red de logística inversa pueden presentarse varios niveles de estructura, es decir, varios eslabones. Para una red de logística inversa nueva es difícil saber cuántos serán los eslabones que se tendrán, y aun conociéndose, es difícil asignar parámetros asociados a la incertidumbre por parte de los clientes (suministradores de los productos fuera de uso).

Así pues, el modelo general planteado corresponde a un modelo clásico de localización y asignación, formulado a través de Programación Lineal Entera Mixta que se puede resolver de forma habitual.

De aquí que, el modelo tenga un carácter determinista, y que para considerar la incertidumbre, se utilizan distintos escenarios en los que se modifican los valores paramétricos del modelo.

Otra limitación del modelo es su característica estática, que no involucra los componentes dinámicos y estocásticos de otros modelos existentes para logística de flujo hacia delante.

4.3.8. Simplificación del Modelo

El modelo matemático puede simplificarse si se considera que no existe penalización por insatisfacción de la demanda, puesto que ésta queda cubierta en su totalidad, así $C_k^u = 0$, también se puede considerar que no hay costo por penalización por no recuperar el producto fuera de uso una vez que el cliente lo regresa al sistema $C_k^w = 0$. de manera que el modelo original puede quedar de la manera siguiente:

Función objetivo:

$$\text{Min}Z = \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^w Y_j^w + \sum_{l \in L} f_l^r Y_l^r + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ijk}^f d_k X_{ijk}^f + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} c_{kli}^r r_k X_{kli}^r$$

Restricciones

Sujeto a:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk}^f = 1 \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{l \in L} \left(\sum_{i \in I} X_{kli}^r + X_{kl0}^r \right) = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} r_k X_{kli}^r \leq \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_k X_{ijk}^f \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\gamma \sum_{i \in I_0} X_{kli}^r \leq X_{kl0}^r \quad \forall k \in K, l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ijk}^f \leq Y_i^p \quad \forall k \in K, i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ijk}^f \leq Y_j^w \quad \forall k \in K, j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I_0} X_{kli}^r \leq Y_l^r \quad \forall k \in K, l \in L \quad (7)$$

$$Y_i^p, Y_j^w, Y_l^r \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (8)$$

$$0 \leq X_{ijk}^f, X_{kli}^r \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (9)$$

Este es el modelo que se aplicará al caso de estudio descrito en la sección siguiente.

Capítulo V

Aplicación del modelo al estudio de caso

“...la complejidad de la naturaleza supera nuestra capacidad de comprensión.”

*Carl Sagan, [1934 -1996]
El mundo y sus demonios.*

CAPÍTULO V. APLICACIÓN DEL MODELO AL ESTUDIO DE CASO

5.1. Introducción

Se ha mencionado que, dentro de la logística inversa está la recuperación de materiales, vía el reciclo de los mismos. Se ha bosquejado en la relación que existe entre el desarrollo sustentable y la logística inversa. Adicionalmente, se ha expuesto el problema de generación de los residuos sólidos en México, siendo las botellas de PET un gran aportador al volumen de residuos sólidos generados.

En este capítulo se tiene como objetivo agrupar los conceptos vertidos en los capítulos anteriores a fin de generar acciones concretas tendientes a reducir el problema de envío de residuos de botellas de PET a los rellenos sanitarios, apoyado en herramientas cuantitativas que permitan la instrumentación del concepto de logística inversa, generando con ello nuevas oportunidades económicas al tiempo que se evita la degradación del medio ambiente al reducir o eliminar el uso de recursos naturales (materias prima y energía) y la generación de residuos sólidos.

Las acciones concretas son la conformación de una red de logística inversa para la recuperación de productos, que en este caso son las botellas de PET que se utilizan como envase primario en diversos productos como son refrescos, aceites, entre otros.

La red de logística para la recuperación de botellas de PET implica la recuperación de las botellas usadas, su reprocesamiento y su posterior uso para la producción de nuevos productos.

5.2. Redes de recuperación actuales

Si bien es cierto que existe ya una asociación civil para la recuperación de los envases de PET, Ecología y Compromiso Empresarial (ECOCE), soportada por las empresas usuarias de este tipo productos, se reconoce que sólo se hace la recuperación de un 20 % del material, por lo que la red o conjunto de redes actuales no son suficientes o por lo menos no están haciendo lo suficiente para que el consumidor (cliente) participe en la recuperación de los envases, ya que es este jugador quien forma un rol crucial en la recuperación. La recuperación actual de envases de PET para su posterior reciclo se da básicamente por las siguientes vías:

- La primera es la que se da en los centros de disposición finales denominados comúnmente “tiraderos”. Aquí los pepenadores llevan a cabo la separación del PET que posteriormente es vendido a los centros de acopio, y estos a su vez a las empresas dedicadas al procesamiento de PET.

- La segunda se da a través de programas instaurados por las empresas consumidoras de envases de PET, cómo es el caso de ECOCE, la cual administra el programa denominado ECO-RETO, programa de acopio de PET que consiste en que escuelas de nivel primaria, secundaria y preparatoria participen en la recuperación de envases de PET, las escuelas funcionan como centros de acopio, posteriormente el material es recolectado por unidades de ECOCE.
- Tercera, a través de programas comunitarios, en participación conjunta con el gobierno y la industria, ejemplo de ello son: los programas existentes en el municipio de Tultepec, Edo. de México¹; Bosque de Chapultepec; algunas facultades en Ciudad Universitaria, UNAM, etc.

El caso de la segunda alternativa merece una pequeña reflexión, ya que, a pesar de que es ampliamente apoyada por ECOCE, presenta las desventajas siguientes:

- Por un lado, no todos los usuarios (consumidores) de envases de PET están dentro del sector de población que acude a este tipo de instituciones educativas, además de que las escuelas deben tener mínimo una cantidad equivalente de 400 alumnos.
- Se requieren una participación conjunta para poder lograr obtener una retribución por acopiar el PET, desde luego que los beneficios son en conjunto y no de manera individual, por lo que los participantes en el acopio pueden mostrar cierto desinterés en participar.
- Sólo se recibirán residuos de envases de refrescos, agua mineral, agua purificada y productos de los asociados de ECOCE. Sin bien los asociados de esta institución son los más grandes del mercado se corre el riesgo de dejar fuera de la recuperación aquellos envases de las empresas usuarias de PET y que no están dentro de ECOCE.

Cabe señalar que ECOCE a definido criterios para el establecimiento de los centros de acopio, ya sea por proyecto comunitario o bien por proyecto en escuelas. Estos elementos se muestran en la tabla siguiente, parte de los elementos indicados en la tabla siguiente serán retomados más adelante para el cálculo de los costos considerados en el modelo.

¹ Instituto Nacional de Ecología, “*Experiencias en el manejo de residuos, Anexo 1: Experiencias en México*”, http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/345/anexo1.html?id_pub=345

Tabla V-1. Recomendaciones para la instalación de un centro o programa de acopio.

Elementos necesarios	Centro de acopio o proyecto comunitario	Proyecto educacional
1) Cantidad mínima a acopiar para que lo recoja ECOCE	1,500 kg/viaje	300 kg/viaje
2) Distancia máxima	150 km	90 km
3) Frecuencia de viajes	Cada que se complete el volumen	Quincenal o mensual
4) Volumen ocupado por 1 Ton. De botellas infladas de:		
2 litro (50 gr.)	40 m ³	40 m ³
600 ml (28 gr.)	72 m ³	72 m ³
5) Volumen ocupado por 1 ton. de botellas aplastadas de:		
2 litro (50 gr.)	15 m ³	15 m ³
600 ml (28 gr.)	25 m ³	25 m ³
6) Número de botellas en 1 ton. De peso promedio de:		
2 litro (50 gr.)	20,000	20,000
600 ml (28 gr.)	35,714	35,714
7) Espacio techado recomendado para acumular cantidad mínima	3.0. x 10 m = 30 m ²	3.0. x 2 m = 6 m ²
8) Equipo adicional		<ul style="list-style-type: none"> a) No necesita prensa al ser a granel y puesto en bolsas transparentes o súper sacos de 1 m³ aprox. Con peso que va de 30 a 50 kg. b) Lona o letrero indicando que es lugar de acopio c) Es preferible el acopio un día al mes d) Aplastarlo es recomendable porque se ocupa menos espacio en almacén y transporte.
9) Inversión estimada	\$ 100,000	Tiempo y participación
10) Otras recomendaciones	Visitar industrias, tiraderos cercanos al centro de acopio Puede usarse una esquina, una bodega o espacio vacío	No urgencia de tiempo Acopiar un solo día donde todos lleven su material
Fuente: ECOCE “Recomendaciones para la instalación de un centro o programa de acopio”, 2005, www.ecoce.org.mx		

5.3. Alternativa de red de recuperación

Una alternativa para la recuperación de envases de PET para su posterior reciclo, es utilizando las tiendas de autoservicio, puesto que es a través de ellas donde se hace la venta a los clientes finales de los productos envasados en PET.

Aun cuando el producto no haya sido comprado en este tipo de establecimientos, pueden acopiar todo tipo de envases de PET, estimulado a través de incentivos, como pudiera ser el canje de envases vacíos por una disminución en el costo de un nuevo producto.

Así pues, en la aplicación del modelo se contempla el uso de este tipo de redes, como una alternativa de solución a la problemática de la generación de desechos provenientes de envases de PET. Pero, como se ha mencionado, la instrumentación de este tipo de iniciativas debe de ir acompañada de mecanismos que incentiven el uso de las mismas.

5.4. Aplicación del modelo

El modelo se aplicará a una red de tiendas de autoservicio existentes en la zona metropolitana de la Ciudad de México, específicamente en dos municipios, el aplicar el modelo a sólo una región obedece a dos razones:

1. Falta de información existente en toda la ciudad de México y la Zona Metropolitana. No se posee la información del total y la ubicación cabal de cada una de las tiendas de autoservicio del Distrito Federal y de la Zona Metropolitana, así como de los productores de envases y los posibles transformadores del material recuperado.
2. El elevado número de centros de producción, distribución, acopio. Al considerar todos los posibles nodos de la red y la interrelación entre ellos haría una red muy robusta, lo que implicaría contar con información y datos de los costos de instalación y operación para cada uno de ellos, costos que dependen de la ubicación y de la zona.

5.4.1. Consideración

1. **Ubicación de la red.** El modelo se aplica en una red de recuperación en los municipios de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero, municipios vecinos, ubicados en la zona norponiente de la Zona Metropolitana. Ambos presentan una problemática típica en la generación de residuos provenientes de envases de PET, ya que, como en muchos lugares, no se cuenta con una red integral de manejo de este tipo de residuos. Los datos generales de estos dos municipios se muestran en la tabla V-2.
2. **Localización de las posibles plantas de proceso.** Actualmente existe sólo un centro de transformación y procesamiento de materia virgen ubicado en el municipio de Atizapán de Zaragoza. Adicionalmente, se considera la apertura de dos centros de procesamiento más, uno ubicado en cada de los municipios de análisis. Cabe señalar, que el centro existente también puede considerar como posible centro de procesamiento de material reciclado, Así:

I = A, B, C

- A es centro actual existente en Atizapán de Zaragoza
- B es centro posible en Atizapán de Zaragoza
- C es centro posible en Nicolás Romero

Tabla V-2. Datos municipales de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero.

Rasgo	Nicolás Romero	Atizapán de Zaragoza
Población*	309,713	534,648
Superficie	233.508 Km ² (23,350.8 ha)	89.879 Km ² (8,987.9 ha)
Superficie urbana	28.07 Km ² (2,807 ha.)	46.794 km ² (4,679.4 ha)
Densidad poblacional	1,326.34 hab./km ²	5,948.53 hab./km ²
Número de viviendas	49,647	95,213
Tiraderos	150 tiraderos no autorizados	2 tiraderos clandestino
Centros de acopio	34	41
Generación de basura por día	200 ton	650 ton
Tasa de generación de residuos por habitante	0.645 kg/día	1.21 kg/día

Fuente: Elaboración propia con datos de:

Nomenclátor de Localidades del Estado de México, 1995. IIIGCEM

H. H. Ayuntamiento de Nicolás Romero, 1997

* CONAPO, "*Proyecciones de la población de los municipios edad y sexo*", Población total de los municipios a mitad de año, 2000-2030

3. **Localización de los posibles centros de distribución.** Se parte del hecho de que los centros de distribución son las tiendas de autoservicio mismas. Al realizar una investigación entre las cadenas de tiendas de autoservicios se encontró que la cantidad de cada una de ellas dentro de los municipios señalados es la siguiente:

Tabla V-3. Número de tiendas grandes de autoservicio en los municipios señalados.

Tiendas	Número de tiendas	
	Atizapán de Zaragoza	Nicolás Romero
Mega Comercial Mexicana	1 Alamedas	0
Chedraui	1 Centro	0
Bodega Gigante	1 Bodegas	0
Walt Mart	1 Alamedas	0
Bodega Aurrera	1 Bodegas	0

Fuente: Inspección en campo, información en las páginas de Internet de las empresas

De manera que los centros de distribución son:

J = 1, 2, 3, 4, 5

Donde:

- 1 es Mega Comercial Mexicana Alamedas
- 2 es *Walt Mart* Alamedas
- 3 es Bodega Aurrera, Bodegas
- 4 es Bodega Gigante, Bodegas
- 5 es Chedraui, centro de Atizapán

4. **Localización de los Clientes existentes.** En este caso se considera que cada centro de distribución (tiendas de autoservicio) tiene una zona de influencia de 5 kilómetros a la redonda, de manera que en lugar de considerar los miles de clientes potenciales que acuden a estos establecimientos se tomaran como zonas de clientes que pueden ser servidas por los centros de distribución. La siguiente tabla muestra la distribución de los clientes.

Tabla V-4. Localización de los clientes existentes.

Zona	Regiones	Población atendida
a	Alamedas, Hacienda Valle Escondido, Condado de Sayavedra, Chiluca	100,000
b	Centro de Atizapán	60,000
c	Zona de bodegas, nuevo México, Lomas de Atizapán	130,000
d	Monte Maria, San Miguel, Lomas Lindas, Hogares, San Idefonso, la Colmena, Barrón, la Curva, el Puerto, Progreso Industrial, San José del Vidrio, Cahuacán, Axotlán parte Alta y Baja, San Juan Tlihuaca, , ejido de San José del Vidrio, San Pedro	200,000
e	Arboledas	70,000

Fuente: Elaboración propia, con datos de inspección en campo y datos de los municipios

Por lo tanto, K queda como sigue:

$$K = a, b, c, d, e$$

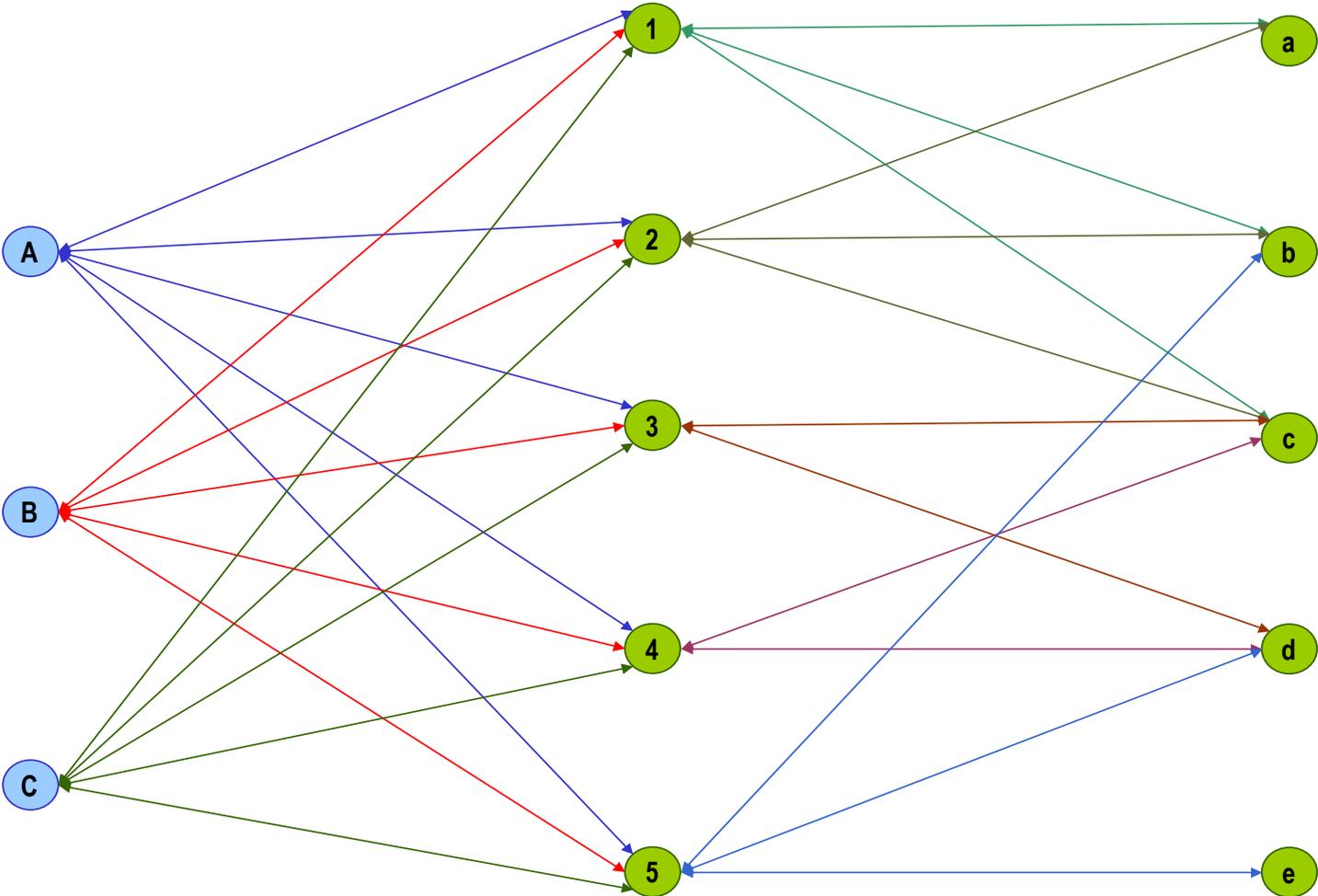
5. **Localización de los Posibles centros de recuperación.** Para el caso de aplicación, y cómo se ha mencionado con anterioridad, los mismos centros de distribución (tiendas de autoservicio), fungirán como centros de recuperación de envases. Esto es:

$$L = 1, 2, 3, 4, 5$$

5.4.2. Estructura de la red

Es posible que las regiones de clientes puedan acudir a cualquiera de los centros de distribución, en la práctica esto sería altamente improbable, por la disposición geográfica de la zona y por las vías de comunicación terrestre existentes, así se considera que sólo determinados centros de distribución atenderán a ciertas regiones de clientes, de manera que la red quedaría estructurada como se muestra en la figura siguiente:

Fig. V-1. Estructura de la red de logística inversa para el reciclaje de PET en los municipios de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero.



Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Estimación de costos

Sin duda alguna, los costos son los datos más difíciles de obtener, puesto que muchos de ellos son parte de la información confidencial de las empresas, principalmente, lo referente a los costos de operación de los centros de distribución.

1. Costos unitarios variables de cada unidad de producto en flujo directo. Costo de atender la demanda del cliente k de la planta i y almacén j , incluyendo costos de transportación, producción y manejo.

- a) Costos de los centros de producción a los centros de distribución.
 - i) *Costos de transportación.* Calculados considerando la utilización un camión de 6 toneladas y un costo de \$ 50.00 / km. Se estima una capacidad de transportación de 1000 unidades por transporte. De manera que la variable a cambiar es la distancia entre los centros de producción y los centros de distribución.

Tabla V-5. Costos de transportación de los centro de producción a los centros de distribución.

Costo = 50 \$/km Cantidad de envases = 1000 Costo = 0.05 \$/km*unidad

Centros de producción	Centros de distribución									
	1		2		3		4		5	
	km	\$/ Unidad	km	\$/ Unidad	km	\$/ Unidad	km	\$/ Unidad	km	\$/ Unidad
A	3.5	0.175	3.5	0.175	1	0.05	5	0.25	4	0.2
B	8	0.4	8	0.4	5	0.25	9	0.45	3	0.15
C	4	0.2	5	0.25	6	0.3	7	0.35	2	0.1

Fuente: elaboración propia con datos de:

- **Costos \$/km de:** Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit Gmbh (Gtz), “ *Análisis del mercado de los residuos sólidos índice reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo*”, México 1999.
- **Cantidad de envases por transportados:** Entrevista directa con Operadores de Transportistas
- **Distancias:** Atlas general del Edo. Mex., GEM, 2004

- ii) *Costos de producción.* Por la gran variedad de especificaciones de envases, es difícil tener un dato preciso del costo de estos materiales, por lo cual, se toma un precio de producción de referencia, equivalente de \$ 0.67 por envase², para envases de dos litros con un peso de 50 gramos.
- iii) *Costos de manejo.* Se considera que los costos de manejo son cero, puesto que este costo está más asociado a los productos que contienen los envases, más que al envase mismo.

Dada la estimación de costos anterior se tiene que, los costos totales unitarios de cada unidad de producto en flujo directo de los centros de producción a los centros de distribución son:

²Instituto Mexicano del Plástico Industrial, <http://www.plastico.com.mx/>, consultada febrero 2004

Tabla V-6. Costos unitarios variables de cada unidad de producto en flujo directo desde los centros de producción a los centros de distribución

En \$/ unidad de envase

Centros de producción	Centros de distribución				
	1	2	3	4	5
	\$ / Unidad	\$ / Unidad	\$ / Unidad	\$ / Unidad	\$ / Unidad
A	0.845	0.845	0.72	0.92	0.87
B	1.07	1.07	0.92	1.12	0.82
C	0.87	0.92	0.97	1.02	0.77

En \$/ kg de PET*

Centros de producción	Centros de distribución				
	1	2	3	4	5
	\$ / kg	\$ / kg	\$ / kg	\$ / kg	\$ / kg
A	16.9	16.9	14.4	18.4	18.4
B	21.4	21.4	18.4	22.4	22.4
C	17.4	18.4	19.4	20.4	20.4

Considerando 0.05 kg por envase de 2 litros

b) Costos de los centros de distribución (centros comerciales) a la zona de clientes

La estimación de estos costos es aún más complicada que los costos del inciso a) puesto que es el cliente quien tiene que asumir estos costos. La complicación es aún mayor si se considera por un lado que, los clientes no acuden a comprar envases, sino productos; y por otro lado, se acude a los centros comerciales no sólo a comprar un solo producto sino varios. De manera que es difícil asignar un costo total de los centros de distribución a las zonas de los clientes. Como criterio se utilizará un factor de 20 % del valor calculado en la tabla V-6, teniendo por lo tanto los valores siguientes:

Tabla V-7. Costos unitarios variables de cada unidad de producto en flujo directo desde los centros de distribución a las zonas de clientes

Desde el centro de Producción A.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	3.38	3.38	3.38		
2	3.38	3.38	3.38		
3			2.88	2.88	
4			3.68	3.68	
5		3.48		3.48	3.48

Desde el centro de Producción B.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	4.28	4.28	4.28		
2	4.28	4.28	4.28		
3			3.68	3.68	
4			4.48	4.48	
5		3.28		3.28	3.28

Desde el centro de Producción C.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	3.48	3.48	3.48		
2	3.68	3.68	3.68		
3			3.88	3.88	
4			4.08	4.08	
5		3.08		3.08	3.08

* Considerando 0.05 kg por envase de dos litros

- c) **Costos unitarios totales.** Por lo tanto los costos unitarios totales de cada unidad de producto en flujo directo son:

Tabla V-8. Costos unitarios variables totales de cada unidad de producto en flujo directo.

Desde el centro de Producción A.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	20.28	20.28	20.28		
2	20.28	20.28	20.28		
3			17.28	17.28	
4			22.08	22.08	
5		20.88		20.88	20.88

Desde el centro de Producción B.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	25.68	25.68	25.68		
2	25.68	25.68	25.68		
3			22.08	22.08	
4			26.88	26.88	
5		19.68		19.68	19.68

Desde el centro de Producción C.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	20.88	20.88	20.88		
2	22.08	22.08	22.08		
3			23.28	23.28	
4			23.48	24.48	
5		18.48		18.48	18.48

* Considerando 0.05 kg por envase de dos litros

2. **Costo unitario variable de flujo inverso.** Costo de recuperación de los productos consumidos por el cliente k recogidos por el centro de recuperación I, para ser procesados en la planta i.

a) **Costo de recuperación de los productos consumidos por el cliente k recogidos por el centro de recuperación I.** Este costo debería incluir el costo por transportación más el costo que el centro de recuperación debe pagar a los clientes que lleven envases al mismo. En el ejercicio, los centros de distribución, cumplen la función de ser al mismo tiempo que centros de distribución, centros de recuperación. Para efectos del estudio de caso se considera que el costo de transportación es 0, puesto que los clientes acudirán a los centros de distribución no sólo a dejar sus envases, sino también a “hacer el súper”.

Entonces el costo del producto sería solamente el costo que el distribuidor pagará al cliente por regresar envases vacío. Como se dijo anteriormente, se puede considerar que el pago no se haga en efectivo sino a través de mecanismos como descuento en la compra de productos, etc. Para efectos del ejercicio se considera que el costo de productos consumidos por el cliente k recogidos por el centro de recuperación I será de \$ 0.5 / kilogramo de producto devuelto.

Tabla V-9. Costos unitarios variables de cada unidad de envases recuperados desde el cliente a los centros de recuperación.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	0.5	0.5	0.5		
2	0.5	0.5	0.5		
3			0.5	0.5	
4			0.5	0.5	
5		0.5		0.5	0.5

Fuente: elaboración propia con datos de:

- **Costos \$/km de:** Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit GmbH (Gtz), “Análisis del mercado de los residuos sólidos índice reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo”, México 1999.

Tabla V-11. Costos unitarios variables totales de cada unidad de producto en flujo inverso.

Hacia el centro de procesamiento A.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	0.882	0.882	0.882		
2	0.882	0.882	0.882		
3			0.681	0.681	
4			1.003	1.003	
5		0.922		0.922	0.922

Hacia el centro de procesamiento B.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	1.245	1.245	1.245		
2	1.245	1.245	1.245		
3			1.003	1.003	
4			1.325	1.325	
5		0.842		0.842	0.842

Hacia en centro de procesamiento C.

Centro de distribución	Zona de clientes (pesos / kg*)				
	a	b	c	d	e
1	0.922	0.922	0.922		
2	1.003	1.003	1.003		
3			1.083	1.083	
4			1.083	1.164	
5		0.761		0.761	0.761

3. **Costo fijo por planta de proceso operativa.** Se estima que el costo fijo de cada una de las plantas es el mismo. Dentro de este costo se consideran los rubros indicados en la tabla siguiente:

Tabla I-12. Costo fijo por planta de proceso operativa.

Concepto	Dato de cálculo	Costo (mes)
Sueldos y salarios		\$215,683
Carga social y prestaciones	24 % de sueldos	\$51,764
Comisiones de ventas	5 % del 80% de las ventas	\$24,370
Honorarios a asesor contable	18,000 Fijos	\$18,000
refacciones y mantenimiento	1 % de ventas	\$15,231
Materiales indirectos	1 % de ventas	\$15,231
Costos de distribución	80 % rendimiento + mantto	\$16,694
Papelería	fondo fijo	\$1,669
Energía eléctrica	a 0.608 KWH	\$26,710
Teléfono	fondo fijo	\$5,008
Agua	a 33.4 m3	\$1,002
Total		\$391,362

Fuente: Martínez Martínez, Héctor, "Diseño de una planta de reciclado de plásticos", 2004, P 40.

El costo anual fijo de los centros de producción será \$ 391,362 /mes * 12 meses / años = \$4,696,344/año.

A los posibles centros de producción que se abrirán hay que sumar la inversión inicial, la cuál se desglosa en la tabla siguiente:

Tabla VI-13. Inversión inicial por apertura de un nuevo centro de producción.

Concepto	Costo
Terreno de 3,000 m ²	\$1,302,109
Construcción de la nave	\$6,343,608
Instalación de servicios	\$1,669,371
Máquina de limpieza de materiales	\$400,649
Máquina de selección de materiales	\$267,099
Máquina de reciclado	\$651,055
Molinos	\$801,298
Repeletizadoras	\$3,004,867
Laboratorios de color y control de calidad	\$183,631
Equipo de transporte	\$667,748
Montacargas	\$166,937
Varios	\$834,685
Capital de trabajo	\$400,649
Total	\$16,693,705

Fuente: Martínez Martínez, Héctor, "*Diseño de una planta de reciclado de plásticos*", 2004, P 40.

4. Costo fijo por centro de distribución operativo. En la práctica los valores de costos de este rubro son difíciles de estimar, por dos razones:

- i) La primera de ellas obedece al hecho de que los centros de distribución (las tiendas de autoservicio) manejan esta información como confidencial, es posible acceder a los estados financieros de los grupos. Sin embargo, no se desglosan los costos fijos para cada una de las subsidiarias, y mucho menos para cada una de las tiendas.
- ii) La segunda está asociada al carácter multi producto de los centros de distribución, es difícil estimar la partida de costos fijos asignada a lo referente los productos envasados en PET.

Con estas limitantes se asigna un valor arbitrario de \$ 1,200,000 por año equivalente a \$ 100,000 por mes. Este costo aplica para cada uno de los centros de distribución.

5. Costo fijo por centro de recuperación operativo. En principio el costo fijo de los centros de recuperación sería cero, puesto que el espacio asignado al lugar de acopio sería en el estacionamiento del centro de recuperación o en algún otro lugar asignado a esta función. Para efectos del presente ejercicio, se considera el costo fijo siguiente:

Tabla VI-14. Costo fijo por centro de recuperación operativo.

Concepto	Costo
Sueldos y salarios (mes)	\$1,500
Operación (mes)	\$500
Total (mes)	\$2,000
Total (año)	\$24,000

Aplica para todos los centros de recuperación

5.4.4. Estimación de parámetros

La estimación de parámetros es difícil de obtenerla de manera directa, no obstante se puede obtener mediante métodos indirectos que a continuación se describen.

1. **Estimación de d_k . demanda de productos recuperados del consumidor k .** No sé conoce con certeza la demanda de productos en esta zona, no obstante se obtendrá a partir del consumo per cápita de PET, que al multiplicar por las zonas de clientes se obtiene la cantidad de PET consumido en cada una de las zonas. Los datos que se poseen son:

Consumo de resina de PET en México = 607,040 toneladas
 % de mercado destinado a envases = 96 %
 Población Nacional = 105, 349,837 habitantes

Fuentes: Asociación Mexicana de Envases y Embalajes, "**Mercado de PET**", 2004
 CONAPO, "**Proyecciones de la población de los municipios edad y sexo**", 2004.

De los datos anteriores se obtiene que el consumo per cápita en México de envases de PET es de:

$$\text{Consumo per capita} = \frac{607,040 \text{ ton}}{105,349,837 \text{ hab}} * \frac{1,000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * 0.96 = 5.532 \frac{\text{kg}}{\text{hab}}$$

Considerando que el 25 % de las compras de refrescos se hacen a través de tiendas de autoservicios es posible calcular la cantidad de consumo en cada una de las zonas de demanda. La cantidad demandada para cada una de las zonas se calcula tomando los valores señalados en la tabla V-4 y el consumo per cápita en las zonas de los clientes. Los datos obtenidos se muestran en la tabla V-15.

2. **Estimación de r_k . demanda de productos recuperados del consumidor k .** En principio, y lo ideal es que d_k sea igual que r_k . No obstante, no todos los envases que llegan al cliente regresan para ser recuperados, de hecho, hoy en día, la mayor parte de los envases se desechan de manera inadecuada en la vía pública, áreas verdes y cuerpos de agua. Para el presente ejercicio se considera que la cantidad de PET susceptible de ser reciclada vía los centros de distribución es del un 25 %. Bajo esta consideración se obtienen los datos de la tabla VI-16:

Tabla V-15. Demanda estimada en las zonas de clientes

Zona	Regiones	Población atendida	Demanda estimada	
			(kg/año)	(tons/año)
a	Alamedas, Hacienda Valle Escondido, Condado de Sayavedra, Chiluca	100,000	138,300.0	138.3
b	Centro de Atizapán	60,000	82,980.0	83.0
c	Zona de bodegas, nuevo México, Lomas de Atizapán	130,000	179,790.0	179.8
d	Monte María, San Miguel, Lomas Lindas, Hogares, San Ildelfonso, la Colmena, Barrón, la Curva, el Puerto, Progreso Industrial, San José del Vidrio, Cahuacán, Axotlán parte Alta y Baja, San Juan Tlihuaca, , ejido de San José del Vidrio, San Pedro	200,000	276,600.0	276.6
e	Arboledas	70,000	96,810.0	96.8

Tabla V-16. Devolución estimada en las zonas de clientes

Zona	Regiones	Población atendida	Devolución estimada	
			(kg/año)	(tons/año)
a	Alamedas, Hacienda Valle Escondido, Condado de Sayavedra, Chiluca	100,000	34,575.0	34.6
b	Centro de Atizapán	60,000	20,745.0	20.7
c	Zona de bodegas, nuevo México, Lomas de Atizapán	130,000	44,947.5	44.9
d	Monte María, San Miguel, Lomas Lindas, Hogares, San Ildelfonso, la Colmena, Barrón, la Curva, el Puerto, Progreso Industrial, San José del Vidrio, Cahuacán, Axotlán parte Alta y Baja, San Juan Tlihuaca, , ejido de San José del Vidrio, San Pedro	200,000	69,150.0	69.2
e	Arboledas	70,000	24,202.5	24.2

- Estimación de la fracción mínima de productos eliminados:** Este elemento no se considera dentro del modelo puesto que el PET es susceptible de ser reciclado en su totalidad, además de que sólo se considera el acopio de este material de manera que no existe contaminación de otros plásticos. Cabe señalar que esta fracción denotada como γ aplica principalmente para reciclaje de productos que involucran mezcla de materiales de naturaleza diferente.

5.5. Resolución del modelo en Hoja de cálculo de Excel

Ya se ha mencionado que el modelo planteado corresponde a un modelo clásico de localización y asignación, formulado a través de Programación Lineal Entera Mixta que se puede resolver utilizando el SOLVER en hoja de cálculo de Excel.

5.5.1. Uso del solver

Dentro del SOLVER se especifican:

- a) **Celda objetivo.** Que corresponde a la suma de todos elementos que componen a la función objetivo. En este caso la función es:

$$\text{Min}Z = \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^w Y_j^w + \sum_{l \in L} f_l^r Y_l^r + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ijk}^f d_k X_{ijk}^f + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} c_{kli}^r r_k X_{kli}^r$$

- b) **Valor de la celda objetivo.** Especifica si se desea maximizar o minimizar la celda objetivo, que para el ejercicio se declara como minimización.
- c) **Cambiando las celdas.** Corresponde al conjunto de celdas donde se declaran las variables que serán estimadas.
- d) **Sujeto a las siguientes restricciones.** Donde se declaran el conjunto de restricciones del problema en cuestión.

En el anexo I se muestra la plantilla del problema, y en el anexo II se muestran las formulas utilizadas para la solución del mismo en hoja de cálculo de Excel, utilizando la función SOLVER de EXCEL. Una vez declarado el conjunto de elementos que integran el modelo se procede a la solución del mismo.

5.5.2. Resultados

Realizada la plantilla con los datos de entrada y declarados todos los elementos del SOLVER los resultados que se obtienen son los que se muestran en las tablas siguientes:

Costos de proceso planta i operativa

f_i^p	4,696,344	21,390,049	21,390,049	
Y_i^p	1	2.8995E-17	2.0817E-17	
$f_i^p * Y_i^p$	\$4,696,344	\$0	\$0	\$4,696,344

Costos de centros de distribución i operativos

f_i^w	1,200,000	1,200,000	1,200,000	1,200,000	1,200,000
Y_i^w	1	1	1	1	1
$f_i^w * Y_i^w$	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000	\$1,200,000
					\$6,000,000

Costos de centros de recuperación i operativos

f_i^r	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
Y_i^r	1	1	1	1	1
$f_i^r * Y_i^r$	\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$24,000	\$24,000
					\$120,000

Flujo hacia adelante

Variables de decisión

(A)	a	b	c	d	e
1	1.00	1.00	-	-	-
2	0.00	-	-	-	-
3	-	-	1.00	1.00	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	1.00

(B)	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	0.00	-	-	-	-
3	-	-	0.00	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	0.00	-	0.00	0.00

(C)	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	0.00	-	0.00	0.00

Costos flujo hacia adelante

(A)	a	b	c	d	e
1	2,804,546.43	-	0.00	-	0.00
2	-	1,682,727.86	-	-	-
3	-	-	3,106,574.50	4,779,345.39	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	2,021,264.82

Suma A 14,394,458.99

(B)	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	0.00	-	-	-	-
3	-	-	0.00	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	0.00	-	0.00	0.00

Suma B 4.7847E-13

(C)	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	0.00	-	0.00	0.00

Suma C 8.9198E-13

SUMA A+B+C 14,394,458.99

Flujo hacia atrás

Variables de decisión

(A)

	a	b	c	d	e
1	1.000	1.000	-	-	-
2	(0.000)	(0.000)	-	-	-
3	-	-	1.000	1.000	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	1.000

(B)

	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

(C)

	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	0.000

Producto

(A)

	a	b	c	d	e
1	30,493.219	18,295.932	0.000	-	(0.000)
2	0.000	0.000	-	-	-
3	-	-	30,588.048	47,058.535	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	0.000	22,320.207

Suma A 148,756

(B)					
	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
Suma B	-				

(C)					
	a	b	c	d	e
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	0.000
Suma C	9.2028E-14				

SUMA A+B+C 148,755.93

Suma función Objetivo

\$ 25,359,559

5.6. Análisis e interpretación de resultados

Los resultados obtenidos son contundentes puesto que muestran:

1. Los centros de producción, distribución y acopio que deben ser abiertos, así como los costos asociados.

i) Centros de producción. Los resultados indican que sólo debe estar abierto un centro de producción, el que ya existe en Atizapán de Zaragoza, que en la práctica así se da. De manera que, un sólo centro puede surtir a toda la región resultando más conveniente puesto que no se requiere hacer nuevas inversiones por apertura de nuevos centros de producción.

Cabe mencionar que la capacidad actual de este centro es de 4,000 toneladas y la demanda total estimada para esta zona es de 3,226 toneladas totales al año, incluyendo consumo general de PET y considerando un consumo per capita de 5.35 toneladas por habitante al año.

De hecho, las restricciones asociadas a las capacidades de los centros de producción no están consideradas en el modelo original, pero en caso de requerirse, se puede incluir la restricción correspondiente a este elemento.

Como puede verse en los resultados, el costo de los centros de operación, es sólo el asociado a la operación del centro de producción existente.

- ii) Centros de distribución.* Un resultado revelador al correr el modelo aplicando el SOLVER de excel es que todos los centros de distribución (tiendas de autoservicio) deben estar abiertos, puesto que todas las Y_i^w tienen valor unitario.

El modelo permite visualizar que todos los centros deben estar operando, en la realidad así es, ya que, todos los centros de distribución operan como tal. Así, los costos en este rubro es la suma de los costos de operación de cada uno de los centros contemplados en el modelo.

Al igual que en el numeral anterior, dentro del modelo no se contempla una capacidad máxima o mínima de almacenamiento en estos centros, y no se tienen restricciones para ello, pero pueden agregarse nuevas restricciones al modelo original que contemple dichas capacidades.

- iii) Centros de recuperación (acopio) .* Otro resultado revelador al aplicar el modelo al caso en cuestión es que, todos los centros de recuperación deben estar en operación.

Esto resulta particularmente interesante puesto que indica que la distribución y la recuperación están asociadas, y cómo en este caso, cuando los costos de flujo hacia delante y flujo hacia atrás guardan proporción, el producto que va hacia adelante desde el centro de producción a las zonas de clientes, tiene que regresar por el centro de distribución, que en el flujo hacia atrás funciona como centro de acopio de materiales devueltos.

Tampoco existen dentro del modelo restricciones relativas a las capacidades máximas de almacenamiento de los materiales devueltos. Por lo que, en principio todo el material que sale del centro de distribución puede ser devuelto por el mismo centro desde los clientes a los centros de procesamiento.

En este caso también se suman todos los costos asociados a la operación de cada uno de los centros de recuperación.

2. La fracción de material servida desde cada uno de los nodos hasta llegar a los clientes finales.

Los resultados aquí indican que, todas las zonas de clientes se sirven sólo de un centro comercial, ¿por qué?. Esto obedece a dos razones, la primera cómo se ha mencionado, está asociada a la no restricción de capacidad instalada en los centros de distribución o acopio. La segunda obedece a la estructura del modelo general, en la cual no se contempla la probabilidad de que los clientes puedan ir a uno o a otro centro de distribución.

Dentro de este elemento del modelo se contempla que el cliente acudirá al centro de distribución más cercano, puesto que irá siempre al centro que tenga el menor costo, pero no se asocia la probabilidad de que el cliente vaya a una determinada tienda de autoservicio por otros factores como descuentos en la tienda, fidelidad a la cadena de tiendas, entre otros factores.

3. La fracción devuelta por cada una de las zonas de los clientes hasta llegar a los centros de producción.

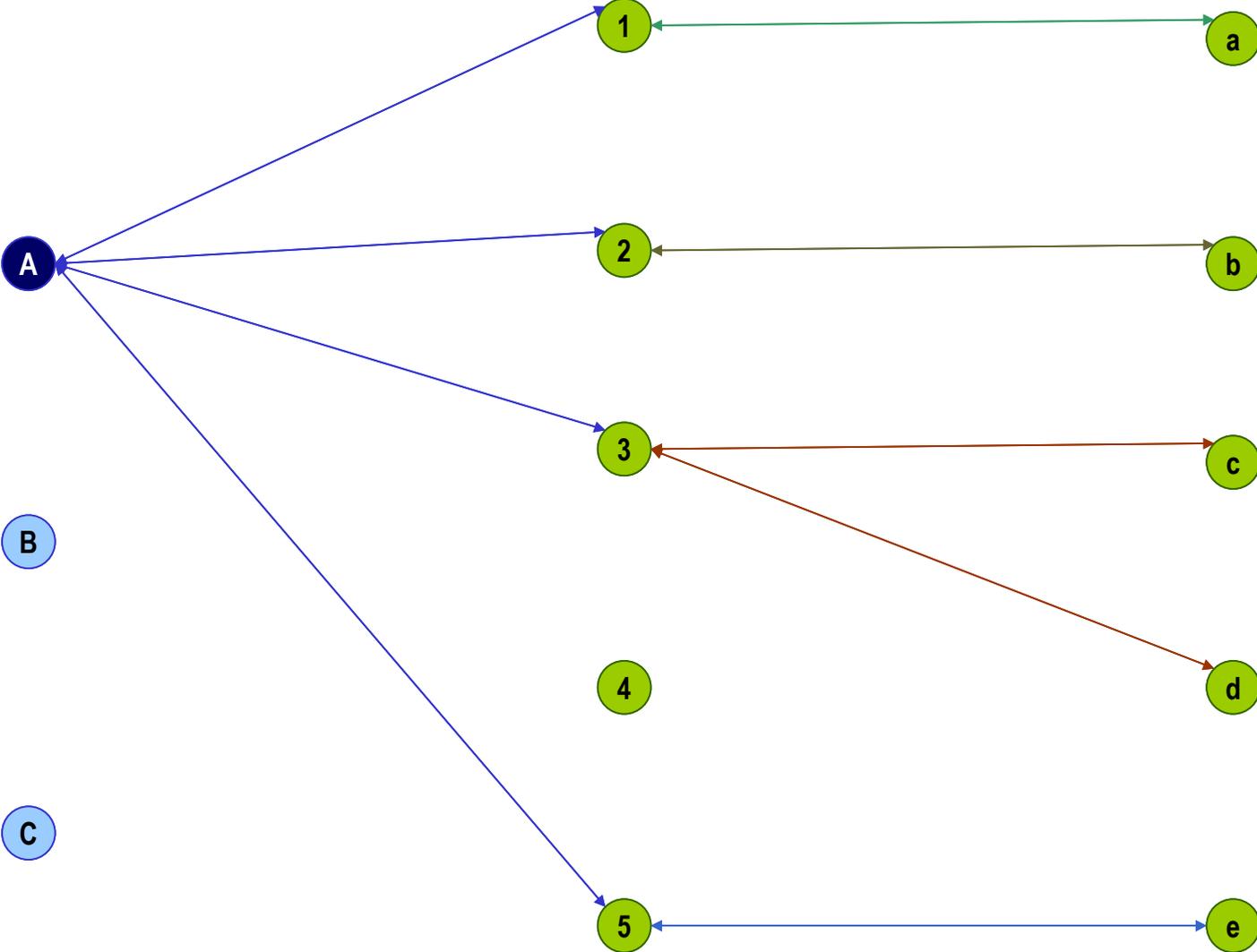
Los resultados indican que los clientes devolverán siempre al mismo lugar de donde se surtieron el envase, esto es, en lugar de número fraccionario se tienen valores unitarios. Las razones de estos resultados son las mismas que se han indicado en el punto anterior, la no restricción en la capacidad en los centros de recuperación y la no contemplación de probabilidad dentro del modelo.

De manera que la red final asociada al punto 2 y 3 queda como se muestra en la figura V-2

4. Minimización de los costos en la función objetivo. Más allá de la minimización de los costos en la función objetivo, es posible ver que los costos de la logística hacia adelante son mucho mayores que los costos del flujo hacia atrás.

Esto indica que la logística inversa, implica un costo, pero este costo es mínimo, comparado con los beneficios potenciales por recuperación de materiales, vía el reciclo de los mismos. El beneficio potencial es doble, puesto que, por una lado, se evita uso de materia prima que se obtiene de los recursos naturales (petróleo en el caso de PET), y por otro, se captura valor del flujo inverso.

Fig. V-2. Estructura final de la red de logística inversa para el reciclaje de PET en los municipios de Atizapán de Zaragoza y Nicolás Romero.



Conclusiones y Recomendaciones

“Nadie en este mundo posee la verdad absoluta. Es solamente un atributo de Dios. Todo lo que conocemos es una verdad relativa.”

*Gandhi, el Mahatma , [1869-1948]
Reflexiones sobre la verdad*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El marco regulatorio a nivel mundial en materia ambiental cada vez es más estricto y desarrollado bajo una óptica de desarrollo sustentable: “el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades”.
- La regulación ambiental ha sido un vector que impulsado el desarrollo de estrategias, alineadas al desarrollo sustentable, para minimizar el impacto que los productos, sus empaques y embalajes tienen al medio ambiente.
- Una de estas estrategias es la recuperación de productos, sus empaques y embalajes, donde; por un lado, se busca minimizar el impacto que se tiene al ambiente al evitar o disminuir la explotación de recursos naturales al tiempo que se evita que causen daños al ambiente por una disposición inadecuada, y por otro lado, se busca recuperar valor económico de estos materiales.
- La implementación de estrategias de recuperación de productos puede hacerse a través de la logística inversa, concepto que ha adquirido mayor importancia en los últimos años, puesto que permite a las empresas generar nuevas oportunidades de negocio, al ahorrar costos, o mejor aun, recuperar valor económico de materiales considerados de desecho.
- La logística inversa es un concepto inmerso en la denominada cadena de suministro, que hace énfasis en los flujos económicos, de materiales, de información que se dan en toda cadena de suministro pero en sentido inverso, con origen en los clientes y destino en el aprovisionamiento. La mayoría de las empresas no han contemplado este concepto en el diseño de sus cadenas de suministro, por lo que, al contemplarlo, puede ser un elemento que permita a las empresas generar ventajas competitivas.
- El incluir la logística inversa dentro de la estrategia de las empresas no es fácil, ya que implica involucrar a muchos participantes de la cadena de suministro, pero puede apoyarse de tecnologías de información y comunicación, así como herramientas de tipo analítico tanto cualitativas como cuantitativas que faciliten la incorporación y puesta en marcha de estrategias vinculadas a la logística inversa.
- Dentro de las herramientas que apoyan la implementación de la logística inversa están la técnicas de la investigación de operaciones, que permiten visualizar los beneficios potenciales que pueden presentarse dentro de una red de logística inversa.
- Una de estas técnicas es la programación lineal entera mixta, un modelo general de programación lineal entera mixta resuelve de manera aceptable una red de logística inversa de recuperación.

- En la presente tesis se utilizó un modelo general de programación lineal entera mixta para una red de recuperación de residuos provenientes de envases de PET, utilizando un red ya existente, los resultados obtenidos permitieron visualizar que:
 - Una red de recuperación de materiales implica un costo, sin embargo, si se utiliza una red existente para aprovechar la infraestructura, los costos son mínimos.
 - Los costos son mínimos, pero la implementación de una red de logística inversa puede general beneficios muchos mayores que los costos que ello implica.
 - El modelo general describe de manera aceptable la configuración de la red de recuperación.
 - El modelo puede aplicarse a una zona más grande; por ejemplo, toda la zona metropolitana de la Ciudad de México, inclusive a toda la República.
 - El modelo puede aplicarse a la recuperación de otro tipo de materiales, por ejemplo: residuos de envases, empaques y embalajes de polietileno de baja y alta densidad, y otros materiales que pueden recuperarse haciendo uso de la red de tiendas de autoservicio.

Recomendaciones

- **Acceso a la información entre los participantes**

Una de las limitantes para la aplicación de modelos es el nulo acceso a la información, en parte por que las empresas la consideran como información confidencial, pero en muchos casos la razón subyace en que no se cuenta con información al respecto, lo que deja ver que las empresas todavía no contemplan a la logística inversas como un elemento para la generación de valor, sino como un actividad que implica costos.

- **Integración de cadenas productivas**

La instrumentación de estrategias de logística inversa no puede darse de manera adecuada, si no existe una integración de todos los participantes de la cadena de valor, desde la extracción de las materias primas, hasta los usuarios finales de los bienes y servicios.

- **Aplicación de metodologías de sistemas denominadas “suaves”**

El uso de técnicas cuantitativas, programación lineal entera mixta en este caso, permite visualizar los posibles beneficios dentro de la logística inversa, no obstante, el uso de este tipo de herramientas debe de ir acompañada de otros mecanismos, por ejemplo, el uso de metodologías de sistemas suaves, para que la instrumentación pueda realizarse de mejor manera.

- **Apoyarse de tecnología de información**

Además de la modelación de redes de logística inversa, esta debe estar acompañada de elementos como desarrollo de plataformas de tecnología que faciliten una mejor implementación de la logística inversa dentro de las empresas, que desde luego puede acoplarse a la tecnología ya existe.

- **Integración de grupos multidisciplinarios**

Tanto la planeación, el diseño y la implementación de iniciativas de logística inversa deben realizar en grupos multidisciplinarios, para que se contemplen los aspectos de: costos, medioambiente, restricciones gubernamentales, estrategias de reciclaje, etc.

- **Hacer participe a la sociedad**

Sin la participación de la sociedad, la puesta en marcha de iniciativas de logística inversa puede estar destinada al fracaso, particularmente en el caso de la logística de recuperación, puesto que la sociedad, que es el cliente final, juega un papel crucial en el funcionamiento de las iniciativas. Por lo tanto, la instrumentación de iniciativas de logística inversa debe desarrollar mecanismos que incentiven la participación de las iniciativas.

- **Desarrollo de nuevos modelos**

Aun cuando el modelo aplicado aquí es muy general, existen muchas oportunidades para generar nuevos modelos que reflejen de una manera más precisa la realidad existente dentro del ámbito empresarial, por lo que, existe un nicho potencial de oportunidades en investigación de operaciones.

Anexos

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	C	P	Q	R	S	T	U
69	Costos de la logística inversa					Con destino al centro de procesamiento A					Con destino al centro de procesamiento B					Con destino al centro de procesamiento C				
70																				
71																				
72	Centro de distribución		Zona de clientes (pesos / envase)			Centro de distribución		Zona de clientes (pesos / envase)			Centro de distribución		Zona de clientes (pesos / envase)							
73		a	b	c	d	e		a	b	c	d	e		a	b	c	d	e		
74	1	0.882	0.882	0.882	1,000.000	1,000.000	1	1.245	1.245	1.245	1,000.000	1,000.000	1	0.922	0.922	0.922	1,000.000	1,000.000		
75	2	0.882	0.882	0.882	1,000.000	1,000.000	2	1.245	1.245	1.245	1,000.000	1,000.000	2	1.003	1.003	1.003	1,000.000	1,000.000		
76	3	1,000.000	1,000.000	0.681	0.681	1,000.000	3	1,000.000	1,000.000	1.003	1.003	1,000.000	3	1,000.000	1,000.000	1.083	1.083	1,000.000		
77	4	1,000.000	1,000.000	1.003	1.003	1,000.000	4	1,000.000	1,000.000	1.325	1.325	1,000.000	4	1,000.000	1,000.000	1.083	1.164	1,000.000		
78	5	1,000.000	0.922	1,000	0.922	0.922	5	1,000.000	0.842	1,000	0.842	0.842	5	1,000.000	0.761	1,000	0.761	0.761		
79																				
80	Cantidad recuperada en k																			
81																				
82																				
83																				
84	Producto demanda/costo					Producto demanda/costo					Producto demanda/costo									
85	1	30.495	18.297	39.644	69,150.000	24,202.500	1	43.031	25.819	55.940	69,150.000	24,202.500	1	31.888	19.133	41.454	69,150.000	24,202.500		
86	2	30.495	18.297	39.644	69,150.000	24,202.500	2	43.031	25.819	55.940	69,150.000	24,202.500	2	34.674	20.804	45.076	69,150.000	24,202.500		
87	3	34,575.000	20,745.000	30.590	47.062	24,202.500	3	34,575.000	20,745.000	45.076	69.348	24,202.500	3	34,575.000	20,745.000	48.697	74.919	24,202.500		
88	4	34,575.000	20,745.000	45.076	69.348	24,202.500	4	34,575.000	20,745.000	59.562	91.634	24,202.500	4	34,575.000	20,745.000	48.697	80.491	24,202.500		
89	5	34,575.000	19.133	44,948	63.776	22.322	5	34,575.000	17.461	44,948	58.205	20.372	5	34,575.000	15.790	44,948	52.633	18.422		
90																				
91	Variables de decisión																			
92																				
93	1	xa1A	xb1A	xc1A	xd1A	xe1A	1	xa1B	xb1B	xc1B	xd1B	xe1B	1	xa1C	xb1C	xc1C	xd1C	xe1C		
94	2	xa2A	xb2A	xc2A	xd2A	xe2A	2	xa2B	xb2B	xc2B	xd2B	xe2B	2	xa2C	xb2C	xc2C	xd2C	xe2C		
95	3	xa3A	xb3A	xc3A	xd3A	xe3A	3	xa3B	xb3B	xc3B	xd3B	xe3B	3	xa3C	xb3C	xc3C	xd3C	xe3C		
96	4	xa4A	xb4A	xc4A	xd4A	xe4A	4	xa4B	xb4B	xc4B	xd4B	xe4B	4	xa4C	xb4C	xc4C	xd4C	xe4C		
97	5	xa5A	xb5A	xc5A	xd5A	xe5A	5	xa5B	xb5B	xc5B	xd5B	xe5B	5	xa5C	xb5C	xc5C	xd5C	xe5C		
98	Producto																			
99																				
100	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
101	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
102	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
103	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
104	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
105																				
106	Suma A	#VALOR!				Suma B	#VALOR!				Suma C	#VALOR!								
107	SUMA A+B+					#VALOR!														
108																				
109																				
110																				
111	Suma función Objetivo					#VALOR!														
112																				
113																				
114																				
115	RESTRICCIONES																			
116	Restricción 1																			
117	$X_{ijk}^{c} =$					restricción					Valor comparación									
118	a					0.00E+00					=					1				
119	b					0					=					1				
120	c					0					=					1				
121	d					0					=					1				
122	e					0					=					1				
123																				
124	Restricción 2																			
125	$X_{ijk}^{c} =$																			
126	a					0					=					1				
127	b					0					=					1				
128	c					0.00E+00					=					1				
129	d					0					=					1				
130	e					0					=					1				
131																				
132	Restricción 3																			
133	Flujo Hacia adelante																			
134																				
135	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
136	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
137	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
138	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
139	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
140	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
141	Suma TOTAL	#VALOR!				Suma TOTAL	#VALOR!				Suma TOTAL	#VALOR!								
142																				
143	Flujo Hacia atrás																			
144																				
145	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	1	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
146	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	2	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
147	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	3	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
148	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	4	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
149	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	5	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
150	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	Suma	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!		
	Suma TOTAL	#VALOR!				Suma TOTAL	#VALOR!				Suma TOTAL	#VALOR!								

Bibliografía

«donde una puerta se cierra, otra se abre»

*Miguel de Cervantes y Saavedra, [1547-1616]
El ingenioso hidalgo don Quijote de la Mancha,*

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), ***“La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos”***, México, 2003
- Ammons C., Jane / Realf J., Matthew / Newton, David, ***“Reverse production system design and operation for carpet recycling”***, Georgia Institute of Technology, December, 1997.
- Antún, Juan P., ***“Logística verde: Estrategias para implantarla y casos de éxito en Latinoamérica”***, Encuentro Mundial de Logística 2004, Monterrey, Febrero 2004.
- Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas, A.C. (ANPRAC), ***“La industria de refrescos y aguas carbonatadas en 2003”***, 2003
- Aventis, ***“2002 Sustainability Report”***, March 2003 Aventis, 52 pp
- Barros, A. I. / Dekker, R., / Scholten, V., ***“A two level network for recycling sand: a case study”***. European Journal of Operational Research, 110, 1998.
- Birkin, Frank, ***“Steps to natural capitalism”***, Sustainable Development, Sust. Dev. 9, 47–57 (2001).
- Bloemhof-Ruwaard, J. M, Van Beek, P., Hordijk, L. y Van Vassenhove, L. ***“Interactions between operational research and environmental management”***. European Journal of Operational Research 85, 1995.
- Bonini, Charles P. / et. al. ***“Quantitative Analysis for Manegament”***, 9th edition, Irwin MacGraw Hill, 1997,
- Brito Pereira Maduro, Marisa P. ***“Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?”***, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), Erasmus University Rotterdam, 2004.
- Brito, M. P., Dekker, R., and Flapper, S. D. P. ***“Reverse logistics: a review of case studies”***. Report Series Research in Management ERS-2003-012-LIS, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands. 2003
- Brito, Marisa P. / Dekker, Rommert, ***“Reverse Logistics – a framework”***, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute Report EI 2002-38, 2002.
- Caldwell, Bruce. ***“Reverse Logistics”***, InformationWeek.com, April 12, 1999.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, ***“Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”***, Texto Vigente, Última reforma publicada en DOF 27-09-2004.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, ***“Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos”***, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de Octubre de 2003.

-
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, "**Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente**". Texto Vigente, 13 de Junio 2003.
 - Carter, C. y Ellram, L. M.. (). "***Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation***". Journal of Business Logistics 19 (1), 1998.
 - Comisión Europea; "**Medio ambiente 2010: El Futuro Está En Nuestras Manos**", Programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de Medio Ambiente, 2001.
 - CONAPO, "***Población total de los municipios a mitad de año, 2000-2030***", 2004
 - Council Logistics Management, "***Logistics Terms and Glossary***", Definitions compiled by: Kate Vitasek, Supply Chain Visions, October 2003
 - Chase, Richard B. / Jacobs, Robert F. / Aquilano Nicholas J. "***Operations Management for Competitive Advantage***", tenth edition, pp. 362, 2004.
 - Checkland, Peter, "***Techiques in Soft Systems Practice Part I: Systems Diagrams – Some Tentative Guidelines***", Journal of Applied Systems Analysis", Vol. 6, 1979.
 - Drabæk, Iver / Brinch-Pedersen, Michael. "***Making Sustainability a Rewarding Bussiness - No writing on the wall***", Nordic Partnership. 2003. p 3.
 - Dowlatshahi, Shad. (2000). "**Developing a reverse logistics theory**". Interfaces 30 (3), pp. 143-155.
 - Fleischmann, Moritz / Beullens, Patrick / Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M / N Va., Luk, "***The impact of product recovery on logistics network design***", Production and Operations Management; Summer 2001
 - Fleischmann, M. "**Quantitative models for reverse logistics**". ERIM Ph.D. Series Research in Management, Oct. 2000.
 - Fleischmann, Moritz, et. al., "***Quantitative models for reverse logistics: A review***", European Journal of Operational Research, Volume 103, Issue 1, 16 November 1997, Pages 1-17
 - FUNDACIÓN ICA, "**Algunas experiencias exitosas en el control de los residuos sólidos en México**", 2001, pp.4.
 - Germana Joseph, "***The whole and main ideas of systems science***", Systems Research and Behavioral Science, 311-313 (2000)
 - Ginter, P. M. and Starling, J. M. "***Reverse distribution channels for recycling***". California Management Review 20, 73-82. 1978.
 - Gobierno del Distrito Federal, "***Campaña de Separación de Residuos Sólidos***", <http://www.df.gob.mx/ciudad/residuos/>, consultada febrero de 2005
 - González Gamio, Carlos, "***La basura, Transformar para preservar***", CCE/CESPEDES, Volumen 1 Número 1, Jul-Ago 1999
 - Gultinan, J. and Nwokoye, N. "***Reverse channels for recycling: an analysis for alternatives and public policy implications***"., New marketing for social and economic progress, Combined Proceedings. American Marketing Association, 1974.
 - Gungor, Askiner a and Gupta, Surendra M. "***Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey***". Computers & Industrial Engineering, Volume 36, pp. 811–853. 1999
 - Hamel, Gary / Prahalad C.K. "***The core competency of the corporation***", Harvard Business Review, pp. 79-90, May-June 1990.
 - Hawken, Paul, et. al. "**A Roadmap for Natural Capitalism**" Harvard Business Review, May-June 1999, 145-158
-

- Hawken, Paul, et. al. "***Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution***", Rocky Mountain Institute. , 1994
- INEGI. "***Censos Económicos 1999. XII Censo Comercial 1999***". Aguascalientes. Ags., 2000
- Instituto Mexicano del Plástico Industrial, <http://www.plastico.com.mx/>
- Instituto Nacional de Ecología, "***Experiencias en el manejo de residuos, Anexo 1: Experiencias en México***", http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/345/anexo1.html?id_pub=345
- Jayaraman, V./ Guide, Jr, V. / Srivastava, R., "***A closed-loop logistics model for remanufacturing***", Journal of the Operational Research Society, 50, 497–508, 1999.
- Kopicky R. J. / et al., "***Reuse and recycling: reverse logistics opportunities***". Council of Logistics Management, Oak Brook, IL., 1993.
- KostECKI Michel., "***The durable use of consumer products: new options for business and consumption***", Kluwer Academic Publishers. 1998.
- Kotler, Philip, "***Dirección de marketing: La edición del milenio***", "Northwestern University, Prentice may, 2000.
- Krikke, H. R. / Van Harten, A. / Schuur, P. C., "***Business case Oce´ : reverse logistic network re-design for copiers***". OR Spektrum, 21, pp. 381–409, 1999.
- Kroon, L./ Vrijens, G., "***Returnable containers: an example of reverse logistics***". International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 25(2), 56–68, 1995.
- Lee, Hau L. "***Ultimate Enterprise Value Creation Using Demand-Based Management***", Stanford University, Stanford Global Supply Chain Management Forum. September, 2001. p. 1
- Louwers, D., Kip, B. J./ Peters, E., Souren, F. / Flapper, S. D., "***A facility location allocation model for reusing carpet materials***". Computers and Industrial Engineering, 36, pp. 855–869, 1999.
- Marklund, Per-Olov, "***Environmental Regulation and Firm Efficiency: Studying the Porter Hypothesis using a Directional Output Distance Function***" Umeå, Sweden, 2004
- Mohr, Robert D. "***Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis***", Journal of Environmental Economics and Management 43, 158-168, (2002).
- Nestlé, "***Reporte sobre Desarrollo Sostenible***", Mayo 2002, Nestlé S.A., Public Affairs, 51 pp.
- Nordic Partnership, "***Business Models for Sustainability***", April 2002.
- Nordic Partnership, "***Diagnostic: Sustainable Supply Chain Management, version 1.0***", Stockholm June 17th 2004.
- Ottman, Jacquelyn, "***Green Marketing: Opportunity for Innovation***", J. Ottman Consulting. 290 pp.
- Pedrero, Fernando, "***Le sacan 'jugo' a los envases***", El Universal, Miércoles 04 de mayo de 2005.
- Porter, Michael E., "***Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and competitors***", Free Press, 1980.

-
- Porter, Michael E and Esty, Daniel. **"The Global Competitiveness Report 2001-2002: Chapter 2.1 Ranking National Environmental Regulation and Performance: A Leading Indicator of Future Competitiveness?"**, New York: Oxford University Press, 2001.
 - Porter, Michel E. **"What is strategy"**, Harvard Business Review (74/6), pp. 61-78, November 1996.
 - Porter, Michel. **"Ventaja competitiva: creación y sostenimiento de un desempeño superior"**, CECSA, 1997, pp. 51
 - Porter. Michael E. and Claas van der Linde, **"Green and Competitive: Ending the Stalemate"**, Harvard Business Review, September-October 1995, , pp. 119-134
 - Pujari, Devashish, et. al. **"Green and competitive Influences on environmental new product development performance"**, Journal of Business Research 56 657– 671, (2003)
 - Rittenhouse, Dawn G. **"Piecing together a Sustainable Development Strategy"**, CEP, March 2003, pp 32-38.
 - Rodrigue, Jean-Paul, et. al. **"Green Logistics (The Paradoxes of)"**. The Handbook of Logistics and Supply-Chain Management", Handbooks in Transport #2, London, 2001.
 - Rogers, D. S. and Tibben-Lembke, R. S. **"Going Backwards: reverse logistics trends and practices"**. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA. 1998.
 - Rogers, D. S., Larson, P. y Tibben-Lembke, R. S. . **"E-commerce reverse logistics"**. RLEC Spring 2001 Meeting, Memphis, 2001.
 - Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, **"El PET y su situación actual en el Distrito Federal"**, México, 2001, pp. 1.
 - Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **"Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos"**, México, diciembre de 2001.
 - SEDESOL, **"Indicadores básicos y manual de evaluación para relleno sanitario"**, México, 2001.
 - SEMARNAP / INE, **"Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos"**, Diciembre, 1999, México
 - Spengler, T. / Püchert, H., Penkuhn, T. / Rentz, O., **"Environmental integrated production and recycling management"**. European Journal of Operational Research, 97, pp. 308–326, 1997.
 - Stickings, Barry– BASF, **"BASF and Sustainable Development – Walking the Talk"**, Financial Times Conference – **"Are We Minding The Gap"**, London – Tuesday 28th May 2002, 10 pp.
 - SoL Sustainability Consortium, **"Integrating Frameworks for Sustainability"**, April 1, 2001
 - Stock, James R. **"Reverse Logistics in the Supply Chain"**, Business Briefing: Global purchasing and supply chain strategies, October 2001, p 44.
 - Stock, James. R., **"Reverse Logistics"**, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL. 1992
 - Stock, James.,R. . **"Development and implementation of reverse logistics programs"**. Council of Logistics Management. Oak Brooks. Illinois. 1998
-

-
- SustainAbility / Corporación Financiera Internacional / Instituto Ethos, “**Crear valor: Argumentos empresariales en favor de la sostenibilidad en los mercados emergentes**”, 2003, SustainAbility-IFC-Instituto Ethos, p. 3.
 - SustainAbility Corp. “**Sustainable Business Value© Matrix**”, <http://www.sustainability.com/business-case/matrix.asp>
 - The Dow Jones Sustainability Indexes (<http://www.sustainability-index.com/>)
 - The FTSE4Good Index Series (<http://www.ftse.com/ftse4good/index.jsp>)
 - Toffel, Michael W., “**Strategic Management of Product Recovery**”, California Management Review, Vol. 46, No.2; Winter 2004.
 - U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), “**RCRA Orientation Manual**”, September 2002
 - UNIDO, “**Integrating SMEs in Global Value Chains. Towards Partnership for Development**”, 2001.
 - UNWCED: United Nations World Commission on Environment and Development, “**Our Common Future**”, Oxford University Press, 1987.
 - Volvo, “**Volvo Environmental report 2000**”, Environmental information from Volvo, 24 pp.
 - World Business Council for Sustainable Development, “**Complementary Approaches to Sustainable Development Cleaner Production And Eco-Efficiency**”, September 1998, 12 pp.
 - World Business Council for Sustainable, Development, The United Nations Environment, Programme and The World Resources Institute. “**Tomorrow’s markets: Global Trends and Their Implications for Business**”, 2002 (p 4) Comisión Europea; “**Directiva 91/156/CEE**” del Consejo de 18 de marzo de 1991 relativa a los residuos.