



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

**UNA PROPUESTA DE PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA PARA EMPRESAS
RECUPERADORAS DE VIDRIO**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ROCIO IVETTE SOTO PEREZ

TUTOR PRINCIPAL
DR. RICARDO ACEVES GARCÍA,
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F., JUNIO 2013



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. Javier Suárez Rocha
Secretario:	M.I. Arturo Fuentes Zenón
Vocal:	Dr. Ricardo Aceves Garcia
1 ^{er} Suplente:	Dra. Idalia Flores De La Mota
2 ^{do} Suplente:	Dr. José Antonio Marmolejo Saucedo

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Universidad Nacional Autónoma de México.

Tutor de Tesis:

Ricardo Aceves García
Facultad de Ingeniería

Firma

AGRADECIMIENTOS

El desarrollar una tesis en un principio es un camino incierto, que poco a poco se va aclarando al momento de que vas conjuntando las habilidades desarrolladas durante los estudios de maestría y las horas de investigación, lectura y redacción, en este camino me han acompañado un sin número de personas y entidades que han facilitado que ese camino a cada paso sea vivido y disfrutado, es por eso que a través de estas líneas quiero agradecer a cada uno de ellos.

Gracias al Dr. Ricardo Aceves, mi director de tesis, por confiar y promover el desarrollo de las horas de trabajo invertido en la elaboración de esta tesis.

Gracias a la Dra. Idalia Flores, por retornos a ser disciplinados y por hacer que la Investigación de Operaciones sea una aventura interesante.

Gracias al Dr. Javier Suárez por ser un ejemplo durante los estudios de la maestría que además de instruirnos, nos ha dado consejos para la vida y nos motiva a ser mejores personas y profesionales.

Gracias al M.I. Arturo Fuentes, por su dedicación y valiosas opiniones que contribuyeron al presente trabajo.

Gracias Dr. Antonio Marmolejo, que a pesar de las distancias ha sido un apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo y un ejemplo de profesionalismo y dinamismo.

Gracias Mary Paz Quezada, por siempre tener paciencia conmigo, apoyarme en todo momento y por enseñarme que la vida nos entrega lo importante aquí y ahora.

Gracias a mi tía Conchita por siempre apoyarme y confiar en mi y mis capacidades.

Gracias a los grandes amigos que conocí en la maestría Angelica Ortega, Cristina Díaz, Alejandro Suarez, Jorge Chávez, Jesús Vivanco, Jorge Salgado, Julio Cesar Cano, Wilfredo Pastrana, Afrodita Ramírez, Alejandra Ochoa... por siempre estar presentes en

los mejores y peores momentos, por aquellos días de estudio, proyectos y festejos y por el incondicional apoyo que me brindaron durante y después de los años de estudio.

Gracias a mi familia y amigos por creer que los retos que la vida me ha puesto los puedo superar y seguir siendo una mejor persona día a día.

Gracias a CONACyT que me apoyo a lo largo de mis estudios de maestría y por promover que existan más y mejores mexicanos.

Gracias a la UNAM por ser siempre una casa abierta al conocimiento.

DEDICATORIA

A mi madre...

Quien ha sido la inspiración en mi vida para ser mejor cada día.

A mi padre...

Quien me ha dejado la mejor herencia que puedo tener... mi educación.

A ti...

Que me inspiras y motivas a cumplir mis metas y sueños...

A mis hermanos...

Por quererme, apoyarme y motivarme con cada plática.

CONTENIDO

Índice.

Resumen.

Objetivo General.

Objetivos Específicos.

Hipótesis.

Introducción.

I. Capítulo I: Logística Inversa.

II. Capítulo II: Desarrollo de un programa de logística inversa.

III. Capítulo III: Residuos sólidos.

IV. Capítulo: Propuesta de programa de logística inversa para empresas recuperadoras de vidrio.

Conclusiones y recomendaciones.

Anexos.

Bibliografía.

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
HIPÓTESIS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: LA LOGÍSTICA INVERSA	13
1.1 Breve introducción a la logística	13
1.2 Definición de la logística Inversa	16
1.3 Evolución de la logística inversa	18
1.4 Ubicación de la logística inversa	19
1.5 Clasificación de la logística inversa	21
1.6 Fuerzas promotoras de la logística inversa	22
1.7 El proceso y actividades de la logística inversa	24
1.8 Beneficios de la Logística Inversa	25
1.9 Alternativas finales de los productos en la logística inversa	26
CAPÍTULO II: DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA	28
2.1 Programa de logística inversa	28
2.2 Consideraciones para la elaboración del programa de logística inversa	28
2.3 Proceso para la elaboración del programa de logística inversa	31
2.4 Factores de éxito para la elaboración del programa	32
CAPÍTULO III: RESIDUOS SÓLIDOS	35
3.1 Gestión de los Residuos Sólidos	35
3.2 El vidrio	43
3.2.1 Fabricación de vidrio	44
3.3 Reciclaje de vidrio	45
3.3.1 Ventajas de reciclar el vidrio	49
3.3.2 Estadísticas de reciclaje en México	51
3.3.3 Obstáculos para el reciclaje	52

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA PARA EMPRESAS	
RECUPERADORAS DE VIDRIO.	53
4.1 Importancia de la estrategia de logística inversa	53
4.2 Programa de logística inversa propuesto para empresas recuperadoras de vidrio	56
4.2.1 Diagnostico	56
4.2.2 Fuentes de generación	58
4.2.3 Estrategia de tratamiento	60
4.2.4 Integración del modelo seleccionado	66
4.2.4.1 Descripción de la problemática	67
4.2.4.2 Generalidades del modelo	67
4.2.4.3 Selección del modelo a desarrollar	69
4.2.4.4 Descripción del modelo matemático	70
4.2.4.5 Formulación del modelo	70
4.2.4.5.1 Conjunto de datos	71
4.2.4.5.2 Variables de decisión	71
4.2.4.5.3 Función Objetivo	72
4.2.4.6 Utilización del modelo	72
4.2.4.6.1 Escenario	73
4.2.4.6.2 Información requerida por el programa de optimización	73
4.2.4.6.3 Nodos candidatos	73
4.2.4.6.4 Latitud y longitud de los nodos candidatos	74
4.2.4.6.5 Demanda de recolección de vidrio	74
4.2.4.6.6 Costos fijos	75
4.2.4.6.7 Costos de transporte	76
4.2.4.7 Resultados del modelo aplicado a la recuperación del vidrio en el Distrito Federal	76
4.2.4.8 Limitaciones de uso del modelo	78
4.2.5 Recolección	79
4.2.6 Evaluación	81
4.2.7 Medición y Control	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
ANEXOS	87

GLOSARIO	92
BIBLIOGRAFÍA	94
MESOGRAFÍA	96

RESUMEN

A pesar que el fenómeno de la logística inversa ha existido por un largo tiempo, no atrajo la atención de las empresas sino hasta estos días. Esta área ha intrigado a mucha gente debido a que observan el impacto que tuvo y sigue teniendo en el mundo de los negocios, la gente ha dado sus opiniones sobre el tema en diferentes formas y desde diferentes perspectivas, sean sociales, ambientales, económicas o financieras.

Durante el desarrollo de esta investigación se establecieron varios objetivos a cumplirse, a través de una revisión documental tanto de la literatura relacionada con la logística inversa como la contribución que esta tiene en la cadena de suministro y la revisión de las estadísticas de residuos sólidos urbanos en México, se logro establecer un marco de referencia para la elaboración de una aproximación de propuesta de programa de logística inversa para empresas recuperadoras de vidrio.

Palabras Clave: Logística inversa, programa, residuos sólidos, vidrio.

ABSTRACT

Although the phenomenon of reverse logistics has been around for a long time, it attracted the attention of enterprises until these days. This area has intrigued many people because they see the impact it had and continues to have in the business world, people have given their views on the subject in different ways and from different perspectives, whether social, environmental, economic or financial.

During the development of this research were established several goals to be met, through a literature review of both the literature related to reverse logistics and the contribution it has on the supply chain and reviewing statistics on solid waste in Mexico, was achieved to establish a framework for developing a proposed program approach of reverse logistics for glass recycling companies.

Key words: Reverse logistics, program, solid waste, glass.

OBJETIVO GENERAL

Definición de los una propuesta para la elaboración de un programa de logística inversa que incluya un modelo de red de logística inversa para optimizar los costos de las empresas dedicadas a la recuperación de vidrio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los aspectos relevantes de la logística inversa y su contribución para generar ventajas en las empresas.
- ✓ Definir una propuesta para la elaboración de un programa de logística inversa acorde a las necesidades de las empresas dedicadas a la recuperación de vidrio.
- ✓ Examinar la literatura existente a la aplicación de modelos de redes de logística inversa en las empresas.
- ✓ Analizar un modelo de programación lineal que sirva para la elaboración de una red de logística inversa que optimice costos de empresas dedicadas a la recuperación de vidrio.

HIPÓTESIS

- ✓ Las herramientas de investigación de operaciones en conjunto con las de ingeniería industrial y planeación permiten generar una mejor solución de problemas asociados a la logística inversa.
- ✓ La inclusión de programas de logística inversa en las empresas puede generar ventajas competitivas.
- ✓ Es posible aplicar un modelo de programación lineal genérico para la elaboración de un modelo de logística inversa.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis esta organizada de tal forma que va llevando al lector a través de las diferentes etapas para poder identificar los lineamientos necesarios para la elaboración de un programa de logística inversa que incluya un modelo de red de logística inversa para lograr el mejoramiento de las empresas productoras de vidrio, así pues se inicia con el planteamiento de los objetivos, tanto general como específicos, a continuación se presentan las hipótesis a probar con el desarrollo de tesis, posteriormente, se muestran los alcances y limitaciones que presenta esta investigación, después de expuestos estos puntos, se comienza con el capítulo I, el cual es una marco de referencia sobre la logística inversa, en este se hace una breve introducción hacia la logística, la cual es de suma importancia para ubicar al lector en el contexto de la investigación, así mismo y con el mismo objetivo se define el concepto de logística inversa y se muestra la evolución de la misma, con estos conocimientos es posible ubicar a la logística inversa en el ámbito de la logística, se indica el proceso que sigue la logística inversa, así como los beneficios que genera a las empresas que la incluyen como parte de sus actividades.

En el capítulo II se establecen los precedentes para desarrollar un programa de logística inversa considerando el proceso de su elaboración y los factores críticos de éxito dentro de su elaboración.

En el capítulo III se comienza indicando la gestión de los residuos sólidos en México, para que a partir de esta estadística a la delimitación del por qué se selecciona como objeto de estudio el vidrio, dando también en este capítulo las generalidades del proceso de fabricación y reciclaje del mismo.

En el capítulo IV se muestra la propuesta de programa documental de logística inversa que integra en su generalización el modelo matemático propuesto para la red de recolección del vidrio que utilizaran las empresas recuperadoras de este material y los resultados que arroja la configuración propuesta para el problema planteado.

CAPÍTULO I

LA LOGÍSTICA INVERSA

1.1 Breve introducción a la logística¹

La actividad logística tiene literalmente miles de años de haber surgido, sin embargo, como un área de estudio, empezó a ganar atención a principios de los años 1900, en la distribución de los productos agrícolas, como una forma de soporte para la estrategia de negocio de la compañía y como una forma de proveer servicio en tiempo y forma.

Siguiendo la clara importancia de la contribución de la logística para alcanzar la victoria de los Aliados en la segunda guerra mundial, la logística comenzó a recibir alto reconocimiento y énfasis. Al igual que en la guerra del Golfo Pérsico en los años 1990 y 1991, la habilidad de distribuir y almacenar suministros y personal eficiente y efectivamente fueron factores clave para el éxito de las fuerzas armadas de E.U.A.

Los primeros textos dedicados a la logística, comenzaron a aparecer a principios de los años 1960, al tiempo que Peter Drucker (un reconocido experto en negocios, autor y consultor) expuso que la logística era una de las verdaderas fronteras de oportunidad para las organizaciones que deseaban mejorar su eficiencia corporativa. La combinación de estos factores incrementó el interés en la logística.

Para incrementar más la atención en la logística, la desregulación de la industria del transporte a finales de los años 1970 y principios de los años 1980, le dio a las organizaciones más opciones e incremento la competencia entre los modos de transporte. Como resultado, los transportistas se hicieron más creativos, flexibles, orientados hacia el cliente, y competitivos para tener éxito. Los cargadores se enfrentan en ese momento con más opciones de transportación, así mismo, se pueden enfocar en la negociación de tarifas, términos y servicios, con toda su atención dedicada a obtener la mejor compra en transportación.

¹ Lambert, Douglas M./Stock, James R./Ellram, Lisa M. "Fundamentals of Logistic Management" Mc Graw-Hill, 1998, pp 5-7

Con tasas de interés ascendentes y crecientes costos de energía durante los años 1970, la logística recibió más atención como un direccionador principal de costo. Adicionalmente, los costos logísticos se convirtieron en un tema crítico para las organizaciones, debido a la globalización de la industria. Esto ha afectado a la logística principalmente en dos formas:

1. El crecimiento de los competidores de clase mundial de otras naciones ha causado que las organizaciones busquen nuevas formas de diferenciar sus organizaciones y los productos ofrecidos. La logística es un tema lógico a observar debido a que las organizaciones locales deberían ser capaces de proveer servicios mucho más confiables y sensibles a los mercados cercanos que los competidores lejanos.
2. Mientras las organizaciones compran y venden más en el extranjero, la cadena de suministro entre la organización y aquellos con que se hace negocio se hace más larga, costosa y compleja. Una excelente administración de la logística es necesaria para influenciar completamente las oportunidades globales.

Otro factor que contribuyó en gran medida a incrementar el énfasis y la importancia de la logística es el continuo y creciente énfasis en el control de los costos. Una encuesta hecha a altos directores ejecutivos (CEO) por parte de la revista Fortune de las 500 empresas manufactureras y las 500 empresas de servicios, indicaron que ellos creían que la forma más importante de mejorar la rentabilidad de la compañía era a través de la reducción y control de costos. De esta manera, y a pesar de todo el interés y énfasis en otros temas, tales como calidad y servicio al cliente, los cuales los CEO posicionaron en segundo y tercer lugar en importancia, la reducción de costos siguió siendo el factor más importante.

Alrededor de ese tiempo, las tecnologías de información comenzaron a surgir con más auge. Esto le dio a las organizaciones la habilidad para monitorear las intensivas actividades transaccionales, tales como, "ordenar", "mover", y "almacenar" los bienes y materiales. Combinado con la viabilidad de los modelos cuantitativos computarizados, esta información incremento la habilidad para manejar los flujos y para optimizar los movimientos y niveles de inventario. Sistemas tales como "Planeación de Requerimientos de Materiales" (MRP y MRP II, por sus siglas en inglés), "Planeación de la Distribución de los Recursos" (DRP, y DRP II), y Justo a Tiempo (JIT) permitieron a las organizaciones enlazar muchas actividades de administración de materiales, desde procesamiento de ordenes hasta administración del inventario, ordenes de los proveedores, pronósticos y programación de la producción.

Otros factores que contribuyeron al creciente interés en la logística, incluyen los avances en la tecnología de los sistemas de información, un incremento del énfasis en el servicio al cliente, creciente reconocimiento de los sistemas y el concepto de costo de puerta a puerta, la influencia en las ganancias debido a la logística, y la comprensión de que la logística puede ser utilizada como un arma estratégica para competir en el mercado.

El cambio del poder en el canal de distribución de los fabricantes a los minoristas, los mayoristas y distribuidores tuvo un profundo impacto en la logística. Cuando la competencia crece en las industrias de consumo de bienes al mayoreo, hay una eliminación de proveedores y productores, por lo que solo unos pocos competidores permanecen. Aquellos que permanecen son altamente competitivos y ofrecen productos de muy alta calidad. En algunos casos, los consumidores perciben a las marcas líderes como sustitutas unas de las otras. Baja la lealtad a la marca y disminuye el poder del productor. Esto incrementa el poder de los minoristas, debido a que las ventas están determinadas por lo que hay en existencia, no por qué marcas en particular están ofrecidas.

El efecto de la influencia en las ganancias debido a la logística indica que una unidad monetaria ahorrada en costos logísticos tiene un impacto mayor en la rentabilidad de la organización que un incremento en una unidad monetaria en ventas. En la mayoría de las organizaciones, los ingresos por ventas son mas difíciles de alcanzar que la reducción en costos logísticos. Esto es particularmente cierto en los mercados maduros, donde la reducción en los precios se realizan a menudo por la competencia existente y los ingresos en la industria decremantan.

Existen muchos costos asociados con las ventas, tales como los costos de los bienes vendidos y los costos relativos a la logística. De esta manera, un incremento en una unidad monetaria en ventas no resulta en un incremento en una unidad monetaria en ganancias. Es por eso que, una unidad monetaria ahorrada en costos logísticos es un incremento en una unidad monetaria en las ganancias. Como resultado, los ahorros en costos logísticos tienen mucha más fuerza, unidad monetaria por unidad monetaria, que un incremento en las ventas. Así pues, el término "el efecto de la influencia en las ganancias debido a la logística" es importante.



Figura I.1 Desarrollo de la Logística

Fuente: Elaboración propia

1.2 Definición de logística inversa

Anteriormente se consideraba a la logística como el proceso de gestión del flujo de materiales de los proveedores hacia el productor y de ahí al cliente, este concepto ha ido evolucionando con el paso del tiempo.

El Consejo de Profesionales en Administración de la Cadena de Suministro (CSCMP por sus siglas en inglés), define logística como:

“El proceso de planear, implementar y controlar los procedimientos para la eficiente y efectiva transportación y almacenaje de materiales incluyendo servicios y la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el fin de ajustarse a las necesidades de los clientes. Esta definición incluye las actividades inbound, outbound, internas y externas.”²

Dada la evolución del término logística, se ha observado la necesidad de gestionar el ciclo completo de los productos, de aquí surge el término de logística inversa, la cual es definida por el CSCMP como:

“Un segmento especializado de la logística que se centra en el movimiento y la gestión de productos y recursos después de la venta y de la entrega al cliente. Incluye el retorno del producto para la reparación y/o el crédito”³

Ahora bien, para el Consejo Ejecutivo de Logística Inversa (RLEC), se define como logística inversa a:

“El proceso de planear, implementar y controlar la eficiencia, a un costo efectivo, el flujo de materias primas, inventario en proceso y producto terminado, y la información relacionada

² CSCMP. Supply Chain and Logistics Terms and Glossary. Definitions compiled by Kate Vitasek. Supply Chain Visions, October 2006.

³ Idem

desde los puntos de consumo al punto origen, con el propósito de recuperar valor o su disposición apropiada”⁴

Con lo anterior es posible indicar que la logística inversa incluye todas las actividades que definen a la logística, la diferencia es que comprende todas las actividades mientras funcionan al revés.

En forma más precisa, la logística inversa es el proceso de mover mercancías desde su destinación final típica con el fin de capturar valor o de disponerla en forma apropiada.

Las actividades de remanufacturación y de restauración también se pueden incluir en la definición de logística inversa. La logística inversa es más que reutilizar contenedores y reciclar materiales de empaque. Rediseñar el empaque para utilizar menos material, o reducir la energía y la contaminación del transporte son actividades importantes, pero estos términos se deben ubicar en el campo de la logística "verde". Si no se está enviando ninguna mercancía o material "de regreso", la actividad probablemente no es una actividad de la logística inversa. Así mismo, el término "manejo de desperdicios"⁵ no se incluye dentro de la logística inversa, debido a que el término desperdicio se refiere a la recolección y procesamiento de los desperdicios (productos a los cuales no se les puede dar más uso).

El *objetivo*⁶ es minimizar los costos de manejo mientras se maximiza el valor de los productos o su disposición apropiada. Esencialmente, la logística inversa es lo opuesto de la administración de la logística. Los productos y materiales se mueven en dirección contraria a la cadena de suministro, esto es, desde el consumidor de regreso al proveedor. Los productos son regresados a los productores o los minoristas debido a varias razones, algunas de las razones más comunes son ejecución de garantías debido a fallas, productos dañados, retiro de productos, órdenes o embarques incorrectos de productos, intercambio de productos dañados por productos funcionales, materiales de empaque reusables, mejoramiento del producto, entre otros. Cualquiera que sea la razón, los productos regresados deben ser procesados en la mejor manera posible.

⁴ Reverse Logistics Executive Council

⁵ De Brito, Marisa P./Dekker, Rommert, "A Framework for Reverse Logistics", Erasmus University Rotterdam, Report series research in management ERS-2003-045-LIS, 2003, pp 3

⁶ Subramaniam, Usha/ Bhadury, Joyendu/ Peng, H. Steve, "Reverse Logistics Strategies and Implementation: a Pedagogical Survey Journal of the Academy of Business and Economics" , March, 2004.

1.3 Evolución de la logística inversa⁷

A principios de los años 1990, el Consejo de Administración en Logística (Council of Logistics Management, CLM)⁸ comenzó a publicar estudios en donde la logística inversa era reconocida como parte relevante tanto para las empresas como para la sociedad (Stock, 1992). Otros estudios continuaron indicando las oportunidades para el reuso y reciclado (Kopicki et al., 1993). A finales de los años 1990, Kostecki (1998) describió los aspectos de mercadotecnia para el reuso y la vida de producto extendida. Stock (1998) describió a detalle la forma de cómo preparar y llevar a cabo programas de logística inversa. Rogers y Tibben-Lembke (1999) presentaron una colección de las prácticas de logística inversa, poniendo especial atención en la experiencia de E.U.A. Publicaciones recientes y compilaciones sobre logística inversa, tanto en modelos para soportarla y en perspectivas de negocios pueden ser encontrados en las publicaciones de Fleischmann (1997) en Guide et al., 2000, Guide and van Wassenhove, 2003, and Dekker et al., 2003. Estudios anteriores sostienen que los procesos, actores y tipos de reuso son relevantes para caracterizar la logística inversa. Marisa P. de Brito y Rommert Dekker, en 2002, proveyeron tipologías de qué, cómo, quiénes y por qué de la logística inversa.

Recientemente, muchos artículos dedicados al análisis de la práctica de la logística inversa han surgido, incluyendo a Canon (Meijer, 1998), Philip Morris (Andriessse, 1999), Kodak (Toktay et al., 2000) and Nortel Networks (Linton and Johnson, 2000). Meyers (1999) escribió este tema en una encuesta realizada a ejecutivos logísticos, Rogers and Tibben-Lembke (1999) encontraron que cuatro de cada diez ejecutivos logísticos consideraban a la logística inversa relativamente no importante comparada con otras cuestiones de la compañía. En términos de recuperación de recursos, la opción más frecuentemente descrita fue el reciclaje y el reuso/redistribución (De Koster, et al., 2001). Por su parte, en 1996 Parker, consolido los procedimientos en el primer congreso anual internacional en administración de la logística inversa, llevado a cabo en 1996, el cual se enfocó en la importante contribución de tomar en cuenta los aspectos ambientales. Epstein de la Universidad de Stanford observó que el costeo de la logística inversa provee una oportunidad de minimizar los costos e incrementar la rentabilidad.

⁷ Subramaniam, Usha/ Bhadury, Joyendu/ Peng, H. Steve, "Reverse Logistics Strategies and Implementation: A Pedagogical Survey Journal of the Academy of Business and Economics", March, 2004.

⁸ Actualmente el CLM es el Council of Supply Chain Management Professional.

1.4 Ubicación de la logística inversa

Una vez que se ha definido la logística inversa es necesario ubicarla en el contexto general de aplicación, existe el término Cadena de Suministro, que contrario a la creencia popular, es diferente a la logística. Cadena de Suministro de acuerdo con el CSCMP se define como⁹:

“1. Empieza con las materias primas no procesadas y termina con el consumidor final que utiliza los productos terminados, la cadena de suministro enlaza a varias compañías, 2. Los intercambios de materiales e información en el proceso logístico extendiéndose desde la adquisición de materias primas hasta la entrega de los productos terminados al consumidor final. Todos los vendedores, proveedores de servicio y clientes están ligados en la cadena de suministro.”

Así mismo, la administración de la cadena de suministro¹⁰ (en ocasiones llamada cadena de valor o cadena de demanda), consiste en organizaciones que colaboran entre ellas para influenciar su posicionamiento estratégico y para mejorar su eficiencia operativa. Es decir, es la aplicación de un sistema para la gestión de los flujos de información, materiales y servicios, desde los proveedores de materias primas, a través de los centros de transformación (fabricas), centros de distribución hasta los consumidores finales¹¹.

Se dice que este término es diferente al de logística debido a que implica el flujo de materiales, servicios e información, y la logística¹² es el trabajo necesario para mover y posicionar el inventario a través de la cadena de suministro. Como se observa la logística es parte de la cadena de suministro dado que es un subconjunto de y ocurre dentro de sus límites.

La figura 1-2 esquematiza el modelo de la cadena de suministro, indica los actores principales de la misma y el proceso de transformación que sufren las materias primas para convertirse en productos terminados.

⁹ CSCMP. Supply Chain and Logistics Terms and Glossary. Definitions compiled by Kate Vitasek. Supply Chain Visions, October 2006. pp.138

¹⁰ Bowersox, Donald J./Closs, David J./Cooper, M. Bixby, "Supply Chain Logistics Management" McGraw-Hill, 2002, pp. 4

¹¹ Chase, Richard B./Jacobs, F. Robert/Aquilano, Nicholas J., "Operations Management for Competitive Advantage", tenth edition, MCGraw-Hill, 2004, pp. 17.

¹² Bowersox, Donald J./Closs, David J./Cooper, M. Bixby, "Supply Chain Logistics Management" McGraw-Hill, 2002, pp. 4

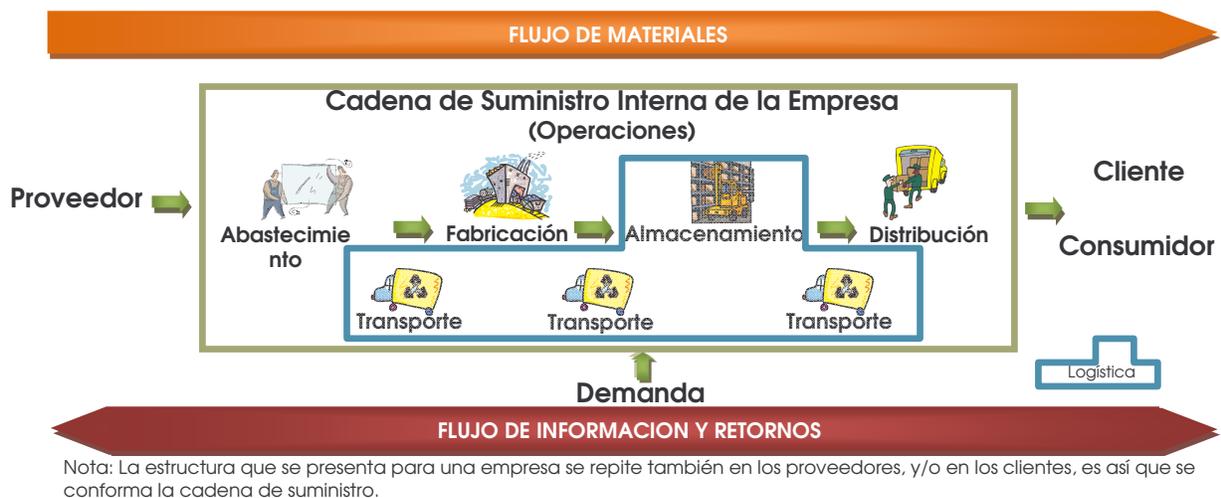


Fig. I-2 Modelo de Cadena de Suministro

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo y a pesar de que son términos diferentes, se complementan, en este contexto, la logística inversa, es parte del contexto logístico e incluye los procesos para disposición de productos. Ver tabla I-1.

Concepto	Características / Definición
Administración de la Cadena de Suministro (ACS)	Es la aplicación de un sistema para la gestión de los flujos de información, materiales y servicios, desde los proveedores de materias primas, a través de los centros de transformación (fabricas), centros de distribución hasta los consumidores finales.
Logística	El proceso de planear, implementar y controlar los procedimientos para la eficiente y efectiva transportación y almacenaje de materiales incluyendo servicios y la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el fin de ajustarse a las necesidades de los clientes. Esta definición incluye las actividades inbound, outbound, internas y externas.
Logística Inversa	Un segmento especializado de la logística que se centra en el movimiento y la gestión de productos y recursos después de la venta y de la entrega al cliente. Incluye el retorno del producto para la reparación y/o el crédito.

Tabla. I-1 Delimitación de ACS, Logística y Logística Inversa

Fuente: Elaboración propia

1.5 Clasificación de la Logística Inversa

Se ha definido que la logística inversa es más que el reuso de ciertos materiales, la logística inversa también incluye la mercancía procesada devuelta debido a daños, inventario estacional, reinventario, recuperaciones, reclamaciones, retiro y exceso de inventario. También incluye los programas de reciclaje y programas de materiales peligrosos, la disposición de equipo obsoleto y la recuperación de activos¹³.

A través de la revisión de la literatura existente sobre logística inversa se observa que existen autores que contemplan otros términos relacionados, tales como logística verde, de recuperación, distribución inversa, etc.

Desde el punto de vista de la logística verde¹⁴, existen muchas áreas de oportunidad para la industria del transporte para volverse más amigable con el ambiente, es decir, la logística verde propone intervenir en todas la áreas de la logística en armonía con el ambiente, y no necesariamente en los flujos inversos, que es de lo que se ocupa principalmente la logística inversa, siempre y cuando en estos retornos se realicen para su reutilización o disposición adecuada, mientras que la logística de recuperación solo tiene el propósito de recuperar los materiales desechados por los consumidores para reincorporarlos en la cadena de valor o bien desecharlos. Ver figura I-3.

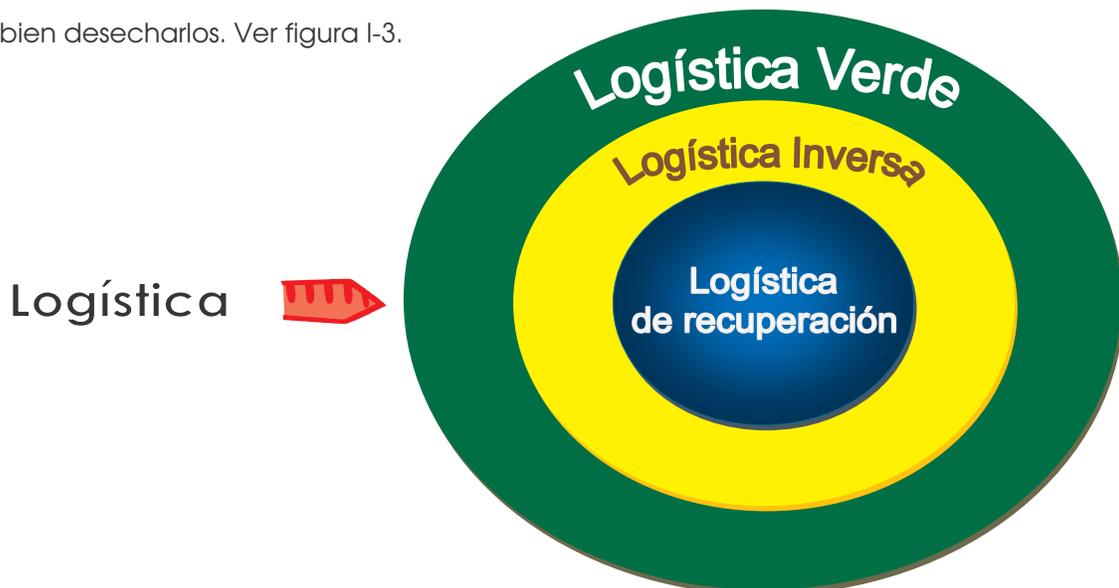


Fig. I-3 Ubicación del término Logística Inversa

Fuente: Elaboración propia

¹³ Reverse logistics executive council

¹⁴ Rodrigue, Jean Paul/Slack, Brian/Comtois, Claude, "Green Logistics (The Paradoxes of)", The Handbook of Logistics and Supply Chain Management, Handbooks in Transport #2, London, 2001, ISBN:0-08-043593-9

Dadas las características y las delimitaciones mencionadas de la logística inversa y sus diferentes connotaciones, se puede plasmar ésta en la cadena de suministro y poderla de esta forma transformar en una versión extendida de la misma, de manera que se integren el reciclaje de producto y empaque, el reuso y/o las operaciones de remanufactura¹⁵. Ver figura I-4

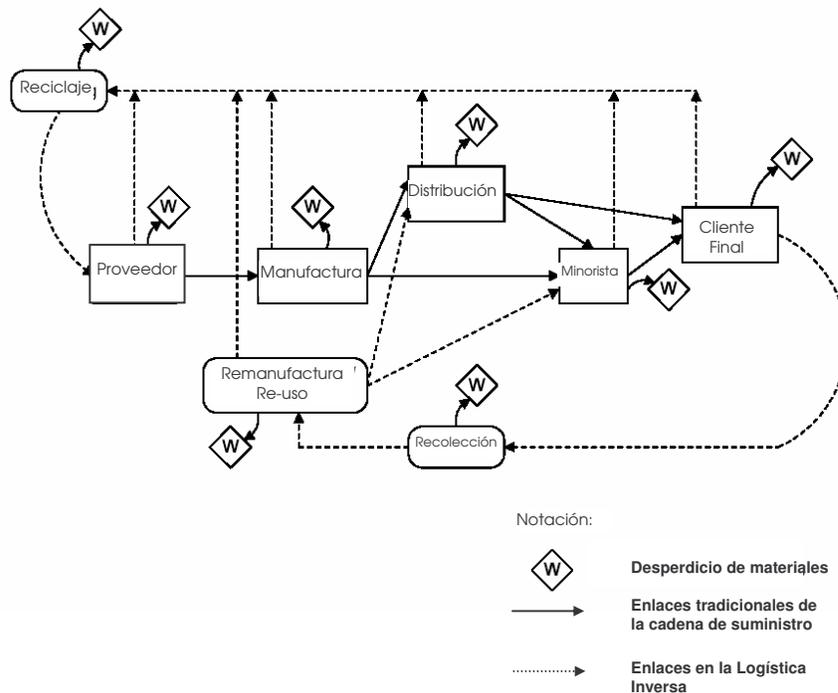


Fig. I-4 La cadena de suministro extendida

Fuente: Beamon, Benita M.

1.6 Fuerzas promotoras de la Logística Inversa¹⁶

En la literatura relacionada a la logística inversa, muchos autores han señalado factores promotores de la misma a aspectos económicos, leyes ambientales y la conciencia ambiental de los consumidores. Generalmente se observa que las compañías se involucran en la logística inversa debido a que pueden obtener ganancias de este hecho, tienen que

¹⁵ Beamon, Benita M. "Designing the Green Supply Chain", *Logistics Information Management*, Vol. 12, No. 4, 1999, pp. 332-342.

¹⁶ De Brito, Marisa P./Dekker, Rommert, "A Framework for Reverse Logistics", Erasmus University Rotterdam, Report series research in management ERS-2003-045-LIS, 2003, pp 6-8

hacerlo o porque se sienten socialmente motivadas para hacerlo. Así pues, se reconocen estas fuerzas bajo las siguientes categorías:

- ✓ Economía (directa o indirecta): Un programa de logística inversa puede traer consigo beneficios a las compañías a través de la reducción del uso de las materias primas, a través de agregar valor con la recuperación o mediante reducir los costos de eliminación. Se observa que en la categoría económica, se tienen los siguientes beneficios directos e indirectos:
 - Beneficios Directos: materiales de entrada, costos, reducciones, valor agregado en la recuperación.
 - Beneficios indirectos: anticiparse o impedir la legislación, protección del mercado, imagen amigable con el ambiente, mejoramiento de las relaciones con los clientes y los proveedores.
- ✓ Legislación: Se refiere a la jurisdicción que indica que una compañía debería recuperar sus productos o aceptarlos de vuelta. Estas prácticas se realizan en E.U.A. y en Europa, en algunas ocasiones las empresas toman acciones antes de que se conviertan estos requerimientos en leyes.
- ✓ Ciudadanía colectiva: Se refiere a un conjunto de valores o principios que, en este caso impulsa a una empresa u organización a comprometerse responsablemente con la logística inversa.

La figura I-5 muestra el triángulo promotor de la logística inversa, con los conceptos mencionados en los párrafos precedentes.

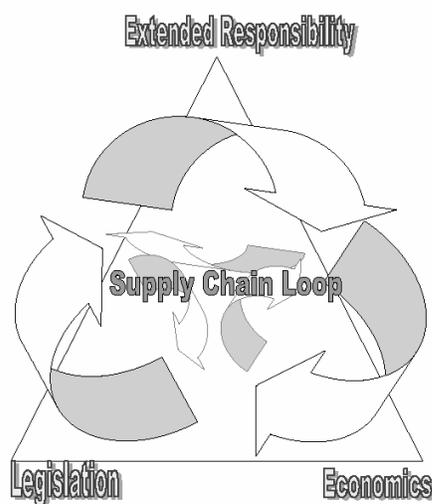


Fig. I-5 Triángulo promotor de la logística inversa

Fuente: de Brito, Marisa P. y Dekker, Rommert

1.7 El proceso y actividades de la logística inversa¹⁷

Usualmente, el proceso de la logística inversa (ver figura I-6 para referencia visual), se conforma de las siguientes cinco actividades, las cuales están enlazadas por el transporte de intermediarios.

- ✓ Recopilación.
- ✓ Inspección/separación.
- ✓ Reprocesamiento.
- ✓ Eliminación.
- ✓ Redistribución.

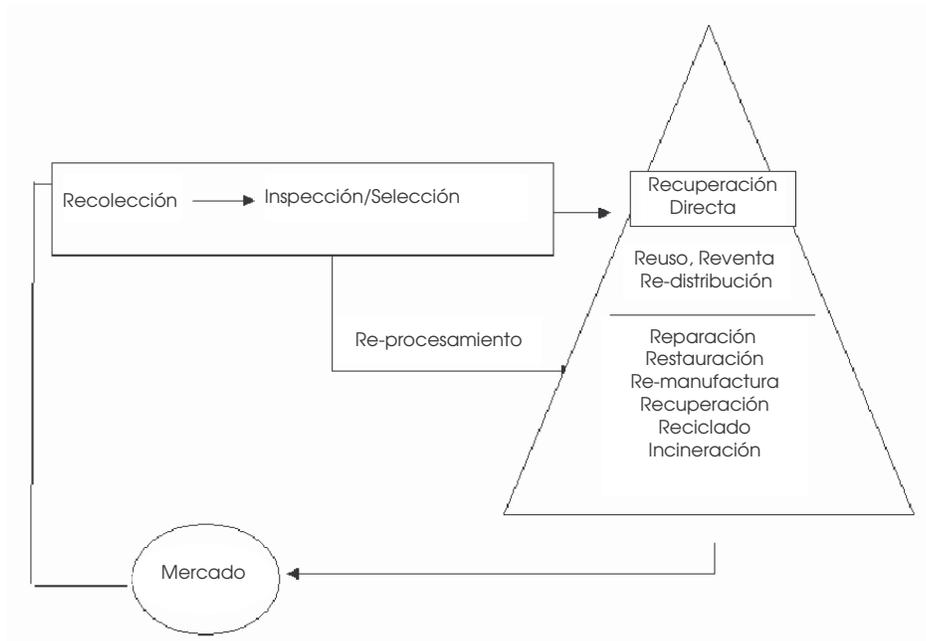


Fig. I-6 Proceso de la logística inversa

Fuente: de Brito, Marisa P. y Dekker, Rommert

Según Rogers and Tibben-Lembke (1999), las actividades típicas de la logística inversa serían los procesos que una compañía utiliza para recolectar *productos* que han sido usados, dañados, indeseados o caducados, así como los materiales de *envase y embalaje* del usuario final o del revendedor.

Una vez que un producto ha sido devuelto a la compañía, se tienen varias opciones de desecho de los productos. Ver tabla I-2.

¹⁷ Krikke, H. R./Ie Blanc, H. M./van de Velde, S., "Creating Value from Returns", CentER Applied Research working paper no. 2003-02, January 2003.

Material	Actividades de la logística inversa
Productos	✓ Retorno al proveedor.
	✓ Reventa.
	✓ Venta vía fin de existencias.
	✓ "Caridad" o mercados menos exigentes.
	✓ Reacondicionamiento, renovación o reprocesamiento por parte de la propia empresa o como parte de un tercero.
	✓ Recuperación de materiales.
	✓ Reciclaje.
	✓ Tiradero.
Envases y embalaje	Reutilización
	Renovación
	Recuperación de materiales
	Reciclaje
	Caridad

Tabla I-2. Actividades de la Logística Inversa
Fuente: Rogers and Tibben-Lembke (1999)

1.8 Beneficios de la Logística Inversa¹⁸

Idealmente, la cadena de suministros que integra a la logística inversa, eleva la provisión de mejores productos, servicios e información que los logrados originalmente por las cadenas de suministros convencionales, aun precio más bajo y reducción del impacto ambiental. La tabla I.3 resume los beneficios creados por la logística inversa.

Servicio / Mercado	Costo	Seguridad ambiental.
El servicio de retorno mejora la satisfacción del cliente.	Reducción del riesgo de responsabilidad legal	Reducción del impacto ambiental
Reducción del tiempo invertido en Investigación y Desarrollo	Recuperación de valor de los materiales y los componentes	Cumplimiento de la legislación
Incremento de la disponibilidad de partes de repuesto	Recuperación de valor de la mano de obra	Recuperación de productos defectuosos más confiable
Retroalimentación oportuna a través de la recuperación anticipada	Impedimento de los costos de disposición	
Mejoramiento de la calidad del producto a través de la reingeniería	Reducción del tiempo de obsolescencia debido a retornos oportunos	
Reparación preactiva	Menor producción de partes de repuesto	
Imagen "verde" (ambiental)	Reducción de los retornos	

Tabla I.3 Resumen de los beneficios de la cadena de suministros que integra la logística inversa

Fuente: Krikke, H. R./le Blanc, H. M./van de Velde, S.

¹⁸ idem

1.9 Alternativas finales de productos en la logística inversa

Como se indicó en el capítulo 1, el objetivo de la logística inversa es minimizar los costos de manejo mientras se maximiza el valor de los productos o su disposición apropiada. Según Díaz Fernández¹⁹, el objetivo común de todas las actividades de la logística inversa es determinar cómo la empresa puede obtener eficientemente los productos y envases desde donde no son deseados, a donde puedan ser procesados, reutilizados y recuperados. Para cada producto, la empresa debe definir el destino final para los productos incluidos en el flujo de logística inversa, y una vez que un producto ha retornado se debe maximizar su valor.

Para lograr lo anterior, existen distintas prácticas: la reutilización, la reparación, la venta de segunda mano, el reciclado o la renovación (de las partes defectuosas), etc. Todas estas alternativas debieron ser tomadas en cuenta a la hora de diseñar los productos. En la tabla I-4 se describen las prácticas más relevantes en el entorno de la logística inversa.

Práctica	Objetivo	Características Fundamentales	Ejemplos
Reparación	Devolver en funcionamiento al cliente productos usados fuera de funcionamiento	Dar a los productos usados una calidad específica: * Estándares de calidad menos rigurosos que los de los nuevos. * Inspección, reparación y reemplazo de partes. * Desensamblado + reemplazo por nueva tecnología + ensamblado. * Se extiende la vida útil del producto.	Electrodomésticos
Renovación	Dar a los productos usados una calidad específica.	Devolver al cliente productos fuera de funcionamiento: * Implica la reparación y/o reemplazo de partes estropeadas. * Desensamblado + ensamblado. * En el entorno del cliente o en centros especializados. * Calidad del producto reparado < nuevo.	Ordenadores
Reciclaje	Reutilización de los materiales que constituyen el producto.	Recuperación de materiales contenidos en los productos retornados: * Desensamblado + clasificación + transformación de materias primas.	Papel, vidrio, plástico, metales
Reprocesamiento	Se busca dar a los productos utilizados estándares de calidad tan rigurosos como los de los productos nuevos.	+ Desensamblado + clasificación – restauración + reensamblado	Ordenadores

¹⁹ Díaz Fernández, A. / Álvarez Gil, M. / González Torre, P., "Logística Inversa y Medio Ambiente: Aspectos estratégicos y operativos", McGraw Hill, 2004, pp. 56

Práctica	Objetivo	Características Fundamentales	Ejemplos
Canibalización	Recuperación de solo una pequeña porción de las partes que pueden ser re-usadas.	Las partes recuperadas son reutilización, reparadas o renovadas para integrar un producto nuevo.	Hardware
Reutilización	Re-uso de productos sin necesidad de que sean introducidos de nuevo a alguna transformación.	El producto puede volver a ser usado una vez limpio o tras una reparación menor.	Botellas de vino, pallets de transporte, cajas para el transporte y manipulación de bebidas
Tiradero	Eliminación del producto	Ultima opción: eliminación del material	Basura

Tabla I-4. Características de distintas alternativas finales

Fuente: Díaz Fernández, A. / Álvarez Gil, M. / González Torre, P.

CAPÍTULO II

DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA

2.1 Programa de logística inversa

Un programa de logística inversa es un documento que incluye todas las actividades necesarias para planear, desarrollar, implementar y controlar las actividades de logística inversa dentro de una organización con el objetivo de recapturar valor o disponer de forma apropiada de los productos.

2.2 Consideraciones para la elaboración de un programa de logística inversa.

Para elaborar un programa de logística inversa, es necesario identificar algunas de las actividades incluidas en la cadena logística inversa²⁰:

1. La recogida de los productos usados con el fin de dirigirlos nuevamente en una cadena de valor.
2. La separación de los retornos en componentes o materiales.
3. La clasificación/agrupación de los mismos que permite reunir un volumen importante para que el transporte resulte económicamente rentable.
4. El transporte hacia las actividades de tratamiento intermedio o retratamiento.
5. El tratamiento intermedio, es decir, el conjunto de actividades (lavado, granulado, filtración) que preparan los activos para las actividades de retratamiento.
6. El retratamiento, es decir, las actividades que permiten al activo volver a ser reutilizado (reparación, reciclaje, reacondicionamiento)

Los pasos para la implantación de la logística inversa son²¹:

²⁰ Díaz Fernández, A /Álvarez Gil, M / González Torre, P., "Logística Inversa y Medio Ambiente: Aspectos estratégicos y operativos", McGraw Hill, 2004, pp. 48

- ✓ **Análisis de las barreras de entrada:** donde se decide si se permite o no al producto la entrada en el sistema logístico inverso, es decir, se valora si interesa o no el retorno para su recuperación.
- ✓ **Gestión de la recogida** del producto que se desea que retorne.
- ✓ **Clasificación** (decisión de qué hacer con cada producto). La elección se debe tomar de entre las distintas prácticas de logística inversa descritas anteriormente (reparación, canibalización, reutilización, etc.).
- ✓ **Colocación** (enviar los productos a los destinos elegidos). Dependiendo de las condiciones del ítem, de las obligaciones contractuales con el vendedor y la demanda del producto, la empresa optará por uno o varios de estos canales:
 1. Retorno a través del vendedor-distribuidor (por defectos, retornos del mercado, obsolescencia o exceso de existencias). Cuando un productor se da cuenta de que ha colocado un producto defectuoso en el mercado puede estar interesado en recuperarlo a través de sus vendedores; de este modo el cliente puede no llegar a apreciar el error, preservando así la imagen del productor. Otra opción es que quiera evitar que el producto retornado entre en otro canal de depósito o canibalización. En este caso, el propósito perseguido es proteger la marca.
 2. Venta como nuevo (en caso de que el producto no haya sido usado o abierto). Podría ser necesario reembalar el producto de modo que el cliente no sea capaz de detectar que el producto está siendo revendido. En algunas industrias hay restricciones legales o de otro tipo para la reventa como nuevo de productos retornados.
 3. Venta como final de existencia o con descuento. Si el producto ha sido retornado o si el vendedor tiene exceso de inventario, puede ser vendido en una tienda de fin de existencias. En la industria de la ropa es habitual este canal, sobre todo cuando se dispone de grandes cantidades de ítems al final de la temporada. Vender a través de este tipo de tiendas ofrece una serie de ventajas: se mantiene el control de los productos y se conoce dónde son vendidos los productos. Para muchas empresas, esto les permite mantener su reputación, que es crítica para su posición en el mercado. Sin embargo, las tiendas de fin de existencias conllevan más riesgos y gastos.

²¹ Díaz Fernández, A /Álvarez Gil, M / González Torre, P., "Logística Inversa y Medio Ambiente: Aspectos estratégicos y operativos", McGraw Hill, 2004, pp63-65

4. Venta en el mercado secundario. Cuando una empresa no ha sido capaz de vender un producto, no puede devolverlo a su distribuidor y es incapaz de venderlo en una tienda de fin de existencias, una de sus últimas opciones es venderlo en el mercado secundario. Se trata de empresas que se especializan en la compra de productos descatalogados, excesos de inventarios o ítems dañados, a precios más bajos.
5. Donativo benéfico. Si el producto es todavía servible, aunque quizá tenga algún daño estético, vendedores o distribuidores pueden decidir donarlo a organizaciones benéficas. En este caso, la empresa no recibe ningún ingreso a cambio por el producto.
6. Reprocesamiento/renovación
7. Recuperación de materiales/reciclaje/desecho

Stock James²², describe algunos argumentos que se deben tener en cuenta al diseñar un programa de logística inversa, tales como:

- ✓ Los programas de logística inversa deben ser desarrollados primariamente para manejar retornos incontrolables;
- ✓ Los centros de distribución no han sido diseñados para manejar retornos;
- ✓ Los inventarios de seguridad son más grandes en las compañías con ineficiencias en sus procesos;
- ✓ Los productos con un ciclo de vida corto requieren una mayor inversión para manejar retornos;
- ✓ Los programas comúnmente tratan de usar un solo proceso para los flujos en diferentes canales (hacia atrás y hacia adelante);
- ✓ Una mejor optimización hacia delante (canal directo) reduce el número de retornos.

El mismo autor indica en su artículo "Los siete pecados capitales de la Logística Inversa".2001, señala que los errores más comunes al diseñar un programa de logística inversa son:

- ✓ No reconocer a la logística inversa, como un factor que puede generar una ventaja competitiva.

²² Stock James R., "Reverse Logistics in the supply chain", Global Purchasing & Supply Chain Strategies, 2001,

- ✓ Creer que una vez que los productos son entregados, la responsabilidad de la empresa termina.
- ✓ Fallar al empalmar el sistema interno, externo y procesos asociados en el E-Commerce y el aspecto del retorno de productos en la cadena de suministros.
- ✓ Asumir que los esfuerzos a medio tiempo son suficientes para lidiar con las actividades de la logística inversa.
- ✓ Creer que los ciclos de tiempo de pedido por los productos retornados pueden ser mayores y más variables que los asociados con la venta o distribución de productos nuevos.
- ✓ Asumir que los retornos de productos y reciclaje de empaque y re-uso tomaran cuidado de ellos mismos, si se les da suficiente tiempo.
- ✓ Pensar que los retornos son relativamente no importantes en términos de costos, valuación de activos e ingresos potenciales.

2.3 Proceso para la elaboración del programa de logística inversa

Identificar el nivel de gestión deseado²³ es de vital importancia al momento de planear 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:

- ✓ 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.).
- ✓ 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), etc.

²³ Martínez Martínez, H., Logística inversa: Red para la recuperación de PET, en tiendas de autoservicio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. 2005, capítulo 2 pp. 26.

- ✓ 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.

Para conceptualizar un programa aplicado a la gestión de la Logística Inversa para la gestión de residuos sólidos, se tiene en cuenta el criterio de diferentes autores que permita generar un procedimiento lo más general posible, y que a su vez darán pautas para cada una de las etapas. En la tabla II-1 se muestra tanto las propuestas de etapas para un sistema de este tipo de diversos autores.

Autor	1	2	3	4	5	6	7
Kepner y Tregoc Inc	Identificar problemas	Identificar causas	Tomar las acciones	Planificación	Establecimiento		
Rogers & Tibben-Lembke	Filtro de Entrada	Tiempo de Decisión	Sistema de Información de Logística reversa	Política cero (CRC)	Remanufactura- ción, Restauración, Reciclaje	Negociación y Financiamien- to	Externali- zación
Anulfo García	Evaluación	Reducción de Materiales y retornos	Colecta	Clasificación	Colocación	Medición y Control	
Francis Hevia, Ana Urquiaga	Diagnóstico	Fuentes de generación	Clasificación de los residuos	Identificación de la estrategia a seguir	Determinación del tratamiento o destino	Transporte y Almacena- miento	Medición y Control

Tabla II-1 Etapas para un Programa General de Logística Inversa para la gestión de los residuos

2.4 Factores de éxito para la elaboración del programa

Existen ciertos factores críticos que pueden hacer la diferencia entre el éxito y el fracaso de un programa de logística inversa:

1. Gestión y Control

- ✓ El proceso de la logística inversa debe ser mapeado, es decir, plasmado en un mapa de proceso, con el fin de entender sus componentes e interrelaciones.
- ✓ Un sistema de gestión ambiental debe estar integrado o en proceso de ser desarrollado.
- ✓ Son necesarios programas de capacitación para los clientes, empleados, proveedores, mayoristas y los demás que integran la cadena logística de la compañía.

- ✓ Las economías de escala son importantes debido a que a través de ellas se puede hacer que los programas de logística inversa y ambientales sean viables.
- ✓ Debido a que múltiples organizaciones están involucradas en los programas de logística inversa y ambientales, las sociedades o alianzas son necesarias para alcanzar los resultados óptimos.

2. Medición:

- ✓ Las organizaciones necesitan adoptar enfoques de análisis del ciclo de vida y de costeo del ciclo de vida (LCA y LCC respectivamente por sus siglas en inglés) para las actividades de la logística inversa.
- ✓ Deben ser desarrollados e implementados sistemas de medición para determinar si el desempeño del programa es aceptable.

3. Financiero:

- ✓ Se deben asignar recursos suficientes para las iniciativas ambientales y de logística inversa.

De acuerdo con Antun Callaba, J.P.²⁴; los factores clave para el éxito de la implementación de un programa de logística inversa son:

- ✓ Administración y control

Los procesos de la logística inversa deben ser "mapeados" en la estructura interfuncional para ser comprendidos a lo largo de toda la cadena de suministros y ser posicionados en el contexto relacional de gestión correcto.

Debe implantarse un estilo y un sistema de gestión sensibles a las cuestiones ambientales. Simultáneamente dentro de la organización y a todo a lo largo de la cadena de suministros con los proveedores de materiales y de servicios debería desarrollarse un programa de entrenamiento para implantar y desarrollar la misma sensibilidad. Conviene identificar los aspectos de escala que permitirían obtener un umbral económico adecuado para que la operación de terceros en procesos de logística inversa sea rentable. Nótese que el desarrollo de alianzas estratégicas es la piedra angular para implantar una logística inversa factible y exitosa.

- ✓ Indicadores de desempeño

Es necesario establecer un costeo basado en actividades para medir el desempeño de la logística inversa. Todo programa, así como cada una de las

²⁴ Antón Callaba, J.P. Todo sobre la logística inversa. Énfasis Logística. 2002

acciones de éstos debe ser medido; la práctica permitirá valorar mas rápido y fácilmente cualquier propuesta innovadora. El reciclado y la reutilización de envases, empaques, embalajes y unidades de manejo difícilmente son aceptados por las empresas sino se mide su beneficio. También es necesario transmitir a los clientes y al consumidor final el compromiso de la empresa con el ambiente, así como la reducción de costos de derivados de procesos de reciclado y reutilización.

✓ Aspectos financieros

Implantar una logística inversa implica la necesidad de asignar recursos financieros suficientes para:

- a) Auditar "ambientalmente" los procesos logísticos a lo largo de toda la cadena de suministros;
- b) Realizar estudios de diseño industrial compatible con el ambiente de envases, empaques, embalajes y unidades de manejo;
- c) Financiar equipamiento específico para recuperar y reciclar materiales, y
- d) Establecer alianzas estratégicas e incluso conjunción de empresas para tercerizar operaciones.

CAPÍTULO III:

RESIDUOS SÓLIDOS

3.1 Gestión de los Residuos Sólidos

El 30 de noviembre de 2006 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación, el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el cual busca contribuir a resolver los problemas que enfrenta el país a este respecto, de manera compatible con el desarrollo sustentable al cual se aspira.

Para²⁵ apreciar la importancia que tiene el manejo adecuado de los residuos, desde la perspectiva de prevención o reducción de los riesgos para la salud y el ambiente, es preciso señalar que, aún cuando existen residuos inertes (es decir, con nula o escasa capacidad de interaccionar con blancos biológicos o de reaccionar con otros materiales), no existen residuos inocuos desde la perspectiva ambiental, pues hasta los residuos inertes dispuestos en grandes volúmenes en lugares inapropiados (por ejemplo cuencas de ríos, campos agrícolas, drenajes), pueden ocasionar graves problemas e incluso catástrofes. Por lo anterior, la actual legislación de los residuos en México no sólo distingue a los residuos en peligrosos (dotados de características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológico-infecciosas) y no peligrosos, sino también toma en consideración el volumen de generación y distingue a los micro generadores (que generan menos de 400 kg. de residuos al año en promedio), de los pequeños generadores (que generan más de 400 kg. y menos de 10 toneladas al año en promedio), de los grandes generadores (que generan más de 10 toneladas al año en promedio).

Por las circunstancias antes señaladas, es importante tomar en cuenta cómo ha evolucionado en el país la generación de residuos sólidos y su composición, así como conocer los volúmenes de residuos peligrosos y no peligrosos generados en las distintas entidades del país, lo cual se muestra en las tablas III-1 y III-2

²⁵ Cortinas de Nava, C. Situación de los Residuos sólidos en México,

Tipo de residuo	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Total generado	35,405	36,135	36,865	37,595	38,325	40,059	41,063
Papel, cartón, productos de papel	5,275	5,388	5,489	5,199	5,300	5,540	5,679
Textiles	530	542	552	538	548	573	587
Plásticos	2,162	2,208	2,223	4,094	4,174	4,362	4,472
Vidrios	2,262	2,309	2,341	2,211	2,254	2,356	2,415
Metales	1,186	1,210	1,298	1,293	1,318	1,378	1,413
Aluminio	620	633	650	650	663	693	710
Ferrosos	336	343	410	408	415	434	445
Otros no ferrosos	230	234	238	235	240	251	257
Basura de comida, jardines y materiales orgánicos similares	17,968	18,335	18,576	19,707	20,090	20,999	21,525
Otro tipo de basura (residuos finos, hules, pañal desechable, etc.)	6,022	6,143	6,386	4,553	4,641	4,851	4,973

(*) Incluye cobre, plomo, estaño y níquel.

Tabla III-1 Generación de residuos sólidos municipales por composición, 2005-2011
(Miles de toneladas)

Fuente: Página Web INEGI. 2012. con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

Entidad federativa	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Estados Unidos Mexicanos</i>	<i>35,405</i>	<i>36,135</i>	<i>36,865</i>	<i>37,595</i>	<i>38,325</i>	<i>40,059</i>	<i>41,063</i>
Aguascalientes	327	334	358	370	376	391	402
Baja California	1,175	1,219	1,241	1,288	1,336	1,343	1,385
Baja California Sur	168	177	188	195	204	230	245
Campeche	226	232	237	243	248	259	266
Coahuila de Zaragoza	803	819	849	865	883	933	960
Colima	177	181	186	190	197	212	221
Chiapas	1,055	1,080	1,110	1,132	1,153	1,241	1,281
Chihuahua	1,199	1,234	1,212	1,237	1,263	1,263	1,288
Distrito Federal	4,563	4,599	4,698	4,745	4,782	4,836	4,891
Durango	456	464	478	485	493	522	535
Guanajuato	1,584	1,613	1,653	1,683	1,708	1,860	1,922
Guerrero	858	869	865	871	876	960	987
Hidalgo	586	595	624	635	642	710	737
Jalisco	2,482	2,528	2,654	2,710	2,767	2,891	2,971
México	5,902	6,051	6,026	6,169	6,314	6,484	6,610
Michoacán de Ocampo	1,091	1,106	1,091	1,100	1,106	1,214	1,248
Morelos	538	548	538	548	558	597	615
Nayarit	266	270	276	279	292	319	332
Nuevo León	1,752	1,796	1,871	1,914	1,971	2,046	2,099
Oaxaca	792	803	797	803	810	878	900
Puebla	1,548	1,593	1,664	1,736	1,770	1,816	1,856
Querétaro	504	518	548	562	577	619	642
Quintana Roo	352	369	407	425	442	453	471
San Luis Potosí	646	657	703	714	726	757	777
Sinaloa	872	889	878	887	902	947	969
Sonora	785	803	816	832	847	905	934
Tabasco	602	617	619	628	639	703	726
Tamaulipas	1,038	1,068	1,071	1,095	1,121	1,159	1,188

Entidad federativa	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Tlaxcala	274	279	286	294	307	321	330
Veracruz de Ignacio de la Llave	1,928	1,952	2,011	2,035	2,070	2,197	2,252
Yucatán	509	522	551	562	573	591	606
Zacatecas	347	350	359	363	372	403	414

Tabla III-2 Generación de residuos sólidos municipales por entidad federativa, 2005-2011
(Miles de toneladas)

Fuente: Página Web INEGI. 2012. con base en: SEDESOL. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio.

En la ciudad de México se concentra aproximadamente el 10% de los residuos sólidos que se generan en todo el país. Esta enorme cantidad de basura es causa y a la vez expresión de graves desequilibrios ambientales que para la mayoría de los habitantes de la ciudad son desconocidos. Por otro lado, el manejo de estos grandes volúmenes de desperdicios representa problemas de difícil solución y enormes costos económicos para los gobiernos de la ciudad²⁶.

Para ubicarnos en el contexto de lo que el presente documento pretende plantear para la propuesta de programa de logística inversa se hace necesario conocer la cantidad de residuos sólidos que son desechados en el Distrito Federal.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), en su informe final de resultados "Indicadores de desarrollo sustentable en México", producto del trabajo realizado por ambas instituciones entre 1996 y 1999 muestran un resumen de la generación de desechos sólidos municipales e industriales no peligrosos; indican que la cantidad de desechos sólidos industriales y municipales se calcula a partir del volumen generado en el lugar de producción, el propósito de este indicador es reflejar la producción de desechos sólidos como resultado de todas las actividades de los asentamientos humanos Ver tabla III-3

²⁶ Gobierno del Distrito federal, <http://www.df.gob.mx/ciudad/residuos/>, Consultada mayo 2007

Generación nacional de desechos sólidos municipales e industriales no peligrosos, 1995-1999

	1995	1996	1997	1998	1999
Gramos/habitante/día	828	832	837	841	850

Nota: Desecho sólido municipal: Aquel que se genera en casas habitación, parques, jardines, mercados, comercios, bienes muebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio en general y todos los generados en actividades municipales que no requieren técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínicas, laboratorios y centros de investigación.

Fuente: SEDESOL, Dirección de Residuos Sólidos, 2000.

Tabla III-3: Generación nacional de desechos sólidos municipales e industriales no peligrosos

Fuente: Indicadores de Desarrollo Sustentable en México, INEGI /INE. 2000

De acuerdo con la Gaceta Oficial Del Distrito Federal, en su publicación del 13 de septiembre de 2010, se identifican los parámetros para la identificación de la generación de los residuos sólidos en el Distrito Federal.

“Con el objeto de conocer específicamente los residuos de origen doméstico, se realizó un estudio de generación y composición. Los resultados muestran que la generación per cápita promedio de residuos sólidos de tipo domiciliario es de 0.582 kg/hab/día, esto es, 44% del total. El comercio, la industria y los servicios generan, en conjunto, 0.692 kg/hab/día, un 56% del total, para sumar una generación promedio/habitante/día de 1.274 kg.”²⁷

Sin embargo para tener un valor más preciso, de acuerdo con los datos y las estimaciones más recientes en relación con la población del Distrito Federal y la generación de residuos total y por habitante, se toma en cuenta lo indicado en la tabla III-4 y se le restan los conceptos indicados en la tabla III-5

²⁷ Gaceta Oficial del Distrito Federal , 13 de Septiembre de 2010, pp.16

Concepto	Ton/día
Toneladas totales recibidas en el Bordo Poniente	13,401
Toneladas recuperadas en sitios de generación que no llegan al Bordo Poniente	800
Toneladas recuperadas en camiones recolectores que no llegan al Bordo Poniente	538
Toneladas recuperadas en plantas de selección que no llegan al Bordo Poniente	295
Toneladas enviadas directamente a las plantas de composta que no llegan al Bordo Poniente	100
Toneladas que no llegan al Bordo Poniente	1,733
Generación total diaria	15,134

Tabla III-4 Generación diaria de residuos sólidos urbanos por habitante en el Distrito Federal
Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Federal, Septiembre de 20110

Concepto	Ton/día
Toneladas recibidas en plantas, provenientes del Estado de México	2,488
Toneladas generadas por la población flotante	924
Toneladas no generadas por habitantes del Distrito Federal	3,412
Generación total diaria	15,134
Toneladas que no corresponde a generación de población del Distrito Federal	- 3,412
Generación total diaria de los habitantes del Distrito Federal	11,722

Tabla III-5 Conceptos a considerar para la determinación de la generación diaria de residuos sólidos urbanos por habitante en el Distrito Federal
Fuente: Gaceta Oficial del Distrito Federal, Septiembre de 20110

“La generación total diaria de los habitantes del Distrito Federal dividida entre los 8,7 millones de población del Distrito Federal, da como resultado la generación promedio diaria por habitante de 1.34 kg/hab/día.

La generación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, es variable en cada Delegación: Milpa Alta produce la menor cantidad, 102 ton/día, e Iztapalapa, la mayor cantidad: 2,584 ton/día. Dentro de estos rangos se ubica el resto de las Delegaciones, como se puede apreciar en la figura III-1”²⁸

²⁸ Gaceta Oficial del Distrito Federal , 13 de Septiembre de 2010, pp.16

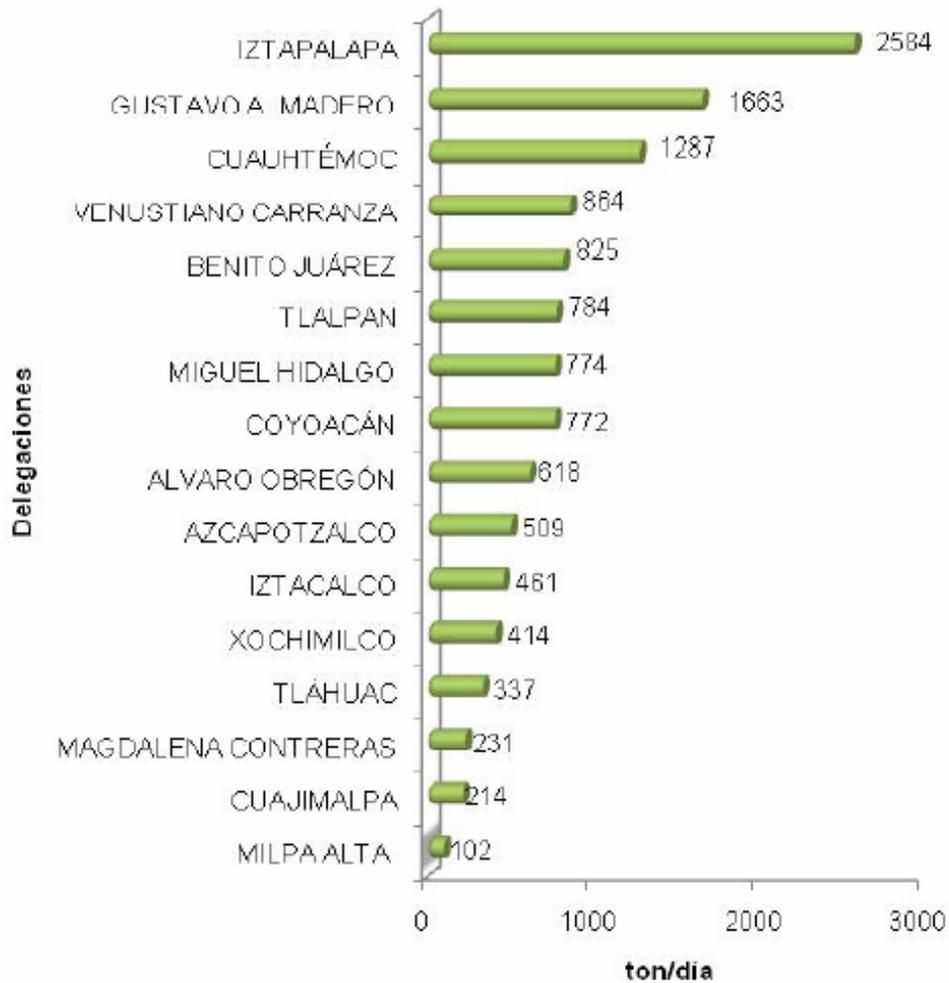


Figura III-1 Generación de residuos sólidos urbanos por Delegación del Distrito Federal
Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos, 2008

El indicador de generación de residuos sólidos urbanos está estrechamente relacionado con el nivel de la actividad económica de un país. También refleja las pautas de intensidad de uso de las materias primas y otros recursos naturales. Las variaciones en el tiempo podrían indicar cambios en los patrones de consumo tanto en los procesos industriales como de la población en general y en la adopción de procesos de reciclado y reutilización.

Para conocer composición física de los residuos sólidos urbanos generados se identifica que estos dependen de del nivel de ingresos de la población, la estación del año, el día de la semana, costumbres, entre otros.

“Como parte de los resultados del estudio que se llevó a cabo sobre la generación domiciliar, se identificaron 31 subproductos catalogados en tres fracciones, obteniendo así que 55.58 % corresponde a la fracción orgánica; 20.30 % a subproductos que presentan un potencial de reciclamiento tales como el polietileno-tereftalato (PET), papel, cartón, vidrio transparente, plástico rígido, lata, vidrio de color, materiales ferrosos, aluminio y, por último, 24.12 % de subproductos que tienen un escaso valor en el mercado. Algunos de estos materiales son susceptibles de ser reciclados, tales como plástico de película, trapo y hueso, entre otros, como se puede apreciar en la figura III-2. El peso volumétrico estimado en este estudio es de 143.5 kg/m³.

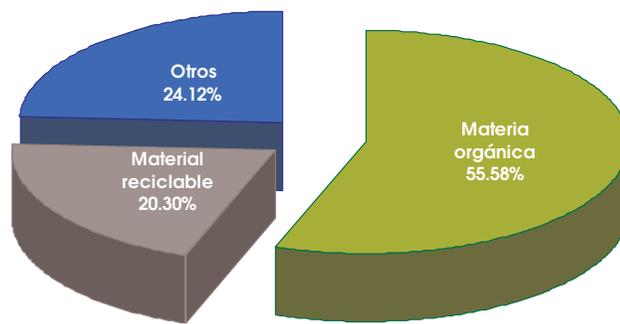


Figura III-2 Composición física de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal
Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2009

Adicionalmente a esto, el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal en coordinación con las principales Instituciones de Educación Superior públicas realizaron un estudio sobre la composición física porcentual de los residuos sólidos urbanos en las trece estaciones de transferencia del Distrito Federal, la cual se muestra en la tabla III-6”.²⁹

²⁹ Gaceta Oficial del Distrito Federal , 13 de Septiembre de 2010, pp.17

No.	Subproducto	Promedio (%)	No.2	Subproducto3	Promedio (%)4
1	Algodón	0.3	27	Papel Bond	2.09
2	Cartón liso	3.09	28	Periódico	1.68
3	Cartón corrugado	2.77	29	Revista	0.63
4	Otros cartones	0.5	30	Papel higiénico	6.72
5	Envase de cartón tetrapak	1.51	31	Pañal desechable, toallas femeninas	2.83
6	Cuero	0.33	32	PET (Polietileno -tereftalato)	2.8
7	Residuo Fino	2.68	33	HDPE-PEAD (Polietileno de alta densidad)	2.92
8	Residuo grueso	1.71	34	PVC (Policloruro de vinilo)	0.15
9	Fibra dura vegetal	0.5	35	LDPE-PEBD (Polietileno de baja densidad)	5.44
10	Fibra sintética	0.49	36	PP(Polipropileno)	0.92
11	Hueso	0.7	37	PS(Poliestireno)	0.98
12	Llantas de automóvil	0.48	38	Alimenticios	34.87
13	Llantas de camioneta	0.06	39	Residuos de jardinería	9.18
14	Llantas de camión	0.37	40	Trapo	2.94
15	Otros hules	0.17	41	Vidrio Transparente	1.74
16	Lata aluminio	0.27	42	Vidrio de color	0.74
17	Lata metálica	1.46	43	Tenis	0.2
18	Losa y cerámica	0.53	44	Zapatos	0.44
19	Madera	1.95	45	Bajo alfombra, Borra	0
20	Material construcción	1.75	46	Cera parafina	0
21	Material ferroso	0.37	47	Chácharas	0
22	Aluminio	0.07	48	Muebles	0
23	Bronce	0.03	49	Fibra de vidrio	0.43
24	Cobre	0.02	50	Colchón	0
25	Pilas eléctricas	0.07	51	Electrónicos	0.11
26	Acero inoxidable	0.02		Total	100

Tabla III-6 Composición física porcentual de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal
Fuente: Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal, 2009

De la tabla anterior podemos determinar que el porcentaje de residuos sólidos urbanos que es posible recuperar en el Distrito Federal que son caso de estudio de la presente tesis es el **2.48%** proporción de residuos sólidos urbanos de tipo **vidrio**.

Uno de los mayores problemas que enfrenta el país es la carencia de instalaciones para disposición final ambientalmente adecuada de los residuos no peligrosos, tanto sólidos municipales como los resultantes de los procesos industriales y actividades de servicios, lo cual ha traído consigo que se creen por doquier tiraderos a cielo abierto, muchos de ellos en zonas de recarga de acuíferos, en barrancas y en lugares donde pueden ser arrastrados hacia los cuerpos de agua.

En México se producen más de 10 millones de m³ de basura mensualmente, depositados en más de 50 mil tiraderos de basura legales y clandestinos, que afectan de manera directa nuestra calidad de vida, pues nuestros recursos naturales son utilizados desproporcionalmente, como materias primas que luego desechamos y tiramos convirtiéndolos en materiales inútiles y focos de infección³⁰

3.2 El vidrio

El vidrio es una sustancia amorfa fabricada sobre todo a partir de sílice (SiO₂) fundida a altas temperaturas con boratos o fosfatos. También se encuentra en la naturaleza, por ejemplo en la obsidiana, un material volcánico, o en los enigmáticos objetos conocidos como tectitas³¹. El vidrio funde a 1200 grados.

Su dureza y estabilidad han favorecido que el vidrio se emplee para la conservación de líquidos o sólidos, el menaje del hogar, el aislamiento, etc. No necesita incorporar aditivos, por lo que no se alteran las sustancias que envasa, es resistente a la corrosión y a la oxidación, muy impermeable para los gases, es el envase ideal para casi todo. El problema es que se han generalizado envases de vidrio no retornables, dando así lugar al disparate de tirar como basura envases alimentarios que se podrían utilizar hasta 40 o 50 veces, por término medio. Los envases de vidrio se pueden reciclar al 100%, pero no olvidemos que, en su reciclaje también se gasta energía y se contamina, lo que es un derroche tratándose de algo que perfectamente podría ser reutilizado una y otra vez, antes de reciclarlos.

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el envase de vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo que puede tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil su medioambiente.

Desde el punto de vista de su aplicación, el vidrio se clasifica en industrial y doméstico:

³⁰ <http://www.tododecarton.com.mx/reciclaje.php>

³¹ <http://www.eia.edu.co/>

- ✓ Se entiende como vidrio industrial el vidrio que no es utilizado como envase para productos alimenticios (almacenamiento de productos químicos, biológicos, vidrio plano: ventanas, cristales blindados, fibra óptica, bombillas, etc.).
- ✓ Se entiende como vidrio doméstico el que se emplea para almacenar productos alimenticios (conservas, vinos, yogures, etc.); aunque de una manera más generalizada, es el vidrio que el ciudadano deposita en los contenedores destinados a este fin (iglúes).

Desde el punto de vista del color los más empleados son:

- ✓ El verde (60%). Utilizado masivamente en botellas de vino, cava, licores y cerveza, aunque en menor cantidad en este último.
- ✓ El blanco (25%). Usado en bebidas gaseosas, zumos y alimentación en general.
- ✓ El extraclaro (10%). Empleado esencialmente en aguas minerales, tarros y botellas de decoración.
- ✓ El opaco (5%). Aplicado en cervezas y algunas botellas de laboratorio.

3.2.1 Fabricación de vidrio

Las botellas, tarros y otros recipientes de vidrio se fabrican mediante un proceso automático que combina el prensado (para formar el extremo abierto) y el soplado (para formar el cuerpo hueco del recipiente). En una máquina típica para soplar botellas, se deja caer vidrio fundido en un molde estrecho invertido y se presiona con un chorro de aire hacia el extremo inferior del molde, que corresponde al cuello de la botella terminada. Después, un desviador desciende sobre la parte superior del molde, y un chorro de aire que viene desde abajo y pasa por el cuello da la primera forma a la botella. Esta botella a medio formar se sujeta por el cuello, se invierte y se pasa a un segundo molde de acabado, en la que otro chorro de aire le da sus dimensiones finales. En otro tipo de máquina que se utiliza para recipientes de boca ancha, se prensa el vidrio en un molde con un pistón antes de soplarlo en un molde de acabado. Los tarros de poco fondo, como los empleados para cosméticos, son prensados sin más.³²

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje, A.C., la industria mexicana de envase y embalaje, registró en el año 2011 una producción total de

³² Enciclopedia Encarta 2000

9,180,366 toneladas, lo que representa un incremento de 5.3% con respecto al año inmediato anterior. El valor de la producción de la industria ascendió a 11,108.1 millones de dólares (mdd), lo que significa un aumento de 14.4%, con respecto al año anterior. Ver figura III-3.

Por lo que respecta al valor global de las ventas de envases y embalajes, durante el año en cuestión, el incremento fue de 14.0%, al reportar 10,830.9 mdd.

En cuanto al empleo en la industria mexicana de envase y embalaje, se tiene registrado un incremento de 2.2%, lo que significa que 69,715 personas laboraron de manera directa y alrededor de 350,000 lo hicieron de manera indirecta³³.

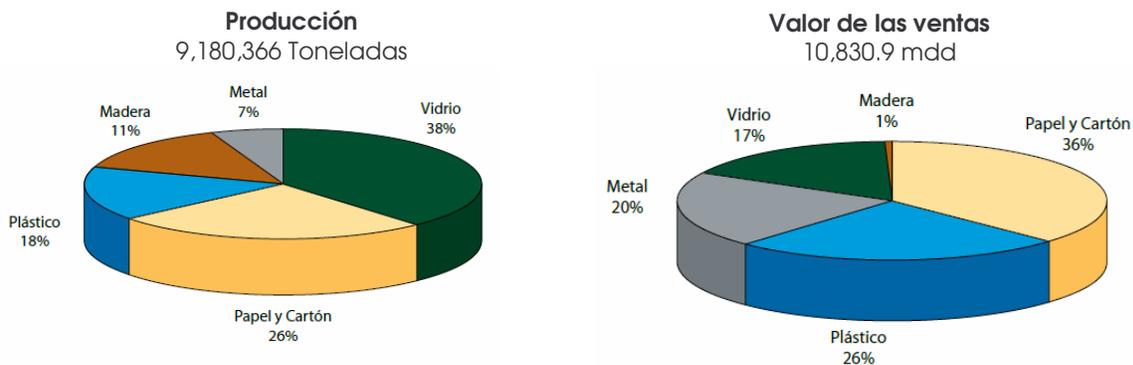


Figura III-3: Producción y Consumo por persona de la industria de envase y embalaje en México, 2011

Fuente: AMEE

3.3 Reciclaje de vidrio

El reciclado y su concepción socioeconómica tiene una historia todavía corta y está, en parte importante, motivada por la necesidad de ahorrar materia prima, preservar los recursos naturales y reducir, o al menos controlar, la producción de residuos en las sociedades industrializadas. La breve historia del reciclado, incluido el del vidrio, tiene poco que ver, al menos en el plano temporal, con la dilatada vida de este material, utilizado desde hace siglos.

Los primeros recipientes realmente de vidrio que se conocen proceden de Egipto y de Mesopotamia y datan del s. XVI, a.C. Pero la época en que este material se empieza a fabricar a buen precio se sitúa en el Imperio Romano. De hecho, corresponde a la época

³³ <http://www.amee.org.mx>

romana el privilegio de haber utilizado más de 130 formas de vidrio, influidos por los modelos de la cerámica y del metal.

Desde entonces, el vidrio ha adquirido una importancia capital en nuestras vidas. La infinidad de aplicaciones hace de él un material indispensable y ha contribuido a un progresivo aumento de su consumo a lo largo de los siglos. Por ello, la posibilidad de reciclarlo ha permitido ahorrar materia prima, preservar recursos naturales y contribuir de esta forma a la conservación del medio ambiente³⁴

El vidrio para envases es el vidrio utilizado para la fabricación de frascos y botellas. Es el vidrio de las botellas de gaseosas, cerveza, de los frascos de mayonesa y conservas, de los frascos de comidas para bebés, de las botellas de vino, licores, además de otras comidas y bebidas envasadas.

El vidrio para envases es el único vidrio que en la actualidad se recicla en grandes cantidades. El vidrio de ventanas, bombillos, espejos, platos de cerámica, vasos, recipientes para el horno y fibra de vidrio no es reciclable junto con el vidrio de envases, y se considera contaminante en el reciclaje de los mismos.

El frasco o la botella de vidrio son únicos en la industria de los reciclables. Una botella de vidrio que se funda y se vuelva a formar, dará lugar a una botella igual, sin ninguna pérdida de calidad. No se genera ningún residuo o producto secundario en el proceso de refabricación, y el mismo vidrio puede hacerse y rehacerse de forma repetida para formar la botella. Esta característica hace del vidrio uno de los pocos bienes fabricados que es al 100 % reciclable.

El vidrio de envases es común en el uso diario; sin embargo, tiene unas propiedades únicas que lo convierten en un reciclable especial. Por ejemplo, el vidrio se fabrica a partir de unas materias primas inertes, y abundantes en la naturaleza, que incluyen: arena sílicea blanca, sosa y caliza. Las cenizas vitrificadas, el sulfato de sodio, el feldespato, la argonita y los vidrios rotos son otros ingredientes frecuentemente utilizados para fabricar envases de vidrio. Estas materias primarias y secundarias no son escasas, son abundantes y fáciles de obtener.

³⁴ <http://www.infoecologia.com>

La consideración más específica a la hora de comercializar el vidrio para envases es la necesidad de realizar una separación por colores. Los colores más frecuentes son: verde, marrón e incoloro. En la industria del vidrio, el verde se denomina esmeralda, el marrón es el ámbar y el incoloro es el blanco. Con el fin de que las botellas y los frascos cumplan las estrictas especificaciones del fabricante, solamente puede usarse el vidrio esmeralda o el ámbar para fabricar botellas verdes o marrones, respectivamente.

El vidrio en sí mismo no constituye una amenaza para el medio ambiente porque es inerte; no es biodegradable. Si se expone a las fuerzas de la erosión, el vidrio se rompe en pequeños trozos de sílice, arena de playa, uno de los elementos más comunes en la tierra.

Aunque para la fabricación de envases de vidrio solamente se utilice el vidrio para envases, los vidrios rotos pueden emplearse en otros procesos de fabricación y en otras aplicaciones industriales. Los ejemplos que existen para la reutilización del vidrio varían desde aislamientos de lana de vidrio hasta postes para líneas telefónicas y vallas fabricadas con mezclas de vidrios rotos y polímeros plásticos. Estos usos representan solamente una pequeña muestra de los nuevos mercados que se están desarrollando en los últimos años para los vidrios rotos.

Utilizar el vidrio de los envases para fabricar nuevos productos favorece la conservación de la energía y reduce los costes de fabricación. El reciclaje de los envases de vidrio tiene un impacto mayor sobre la mejora de los programas de reciclaje para residuos sólidos que sobre la reducción de los requisitos de recolección y evacuación de residuos.

Por lo general, para separar el vidrio de envases existente en el flujo de residuos son eficaces los procesos de recuperación basados en la selección manual o el cribado. Una vez recuperados, los envases de vidrio se almacenan, transportan y procesan como alimentación futura para la refabricación de vidrio y para otros procesos industriales³⁵.

Lo más importante es que la recuperación continuada de los envases de vidrio pone en evidencia la estabilidad de una industria que es capaz de fabricar un producto de consumo deseable -el envase de vidrio- de un modo tal que permite su total reciclabilidad como otro envase de vidrio refabricado. De esta forma, el envase de vidrio puede

³⁵ www.anfevi.com

separarse del flujo de residuos post-consumidor y devolverse como alimentación útil al proceso de refabricación.

El vidrio, por sus características químicas, puede ser reciclado indefinidamente, y además las materias primas para su fabricación tienen una presencia abundante y habitual en la naturaleza, la extracción de dichas materias primas es sencilla y no resulta agresiva para el entorno. La degradación química y erosión física del vidrio son muy lentas y no liberan ningún tipo de sustancias contaminantes o peligrosas, y para su fusión se puede emplear cualquier tipo de energía.

En cuanto al proceso de reciclado de vidrio cabe comentar que no existe diversidad tecnológica para su tratamiento. Esencialmente dicho proceso consiste en separar los elementos extraños que suelen acompañar al vidrio (papel, plásticos, corchos, piedras, metales, porcelana, etc.). La separación se realiza manualmente y/o con equipos específicos: imanes fijos para el hierro, ciclones para papeles y plásticos detector de metales no férricos por impulsos mecánicos "trimetau", captadores de cerámicas y piedras "sistema trioptic". En la actualidad, ya se está operando con equipo láser para separar todas las impurezas. Además de la extracción de elementos extraños, el vidrio es inicialmente triturado, lavado y posteriormente cribado. El objetivo de todos estos tratamientos es mejorar la calidad del vidrio con el fin de conseguir un alto rendimiento en los hornos de cocción.

El reciclaje de vidrio conlleva varias etapas diferentes, véase figura III.4

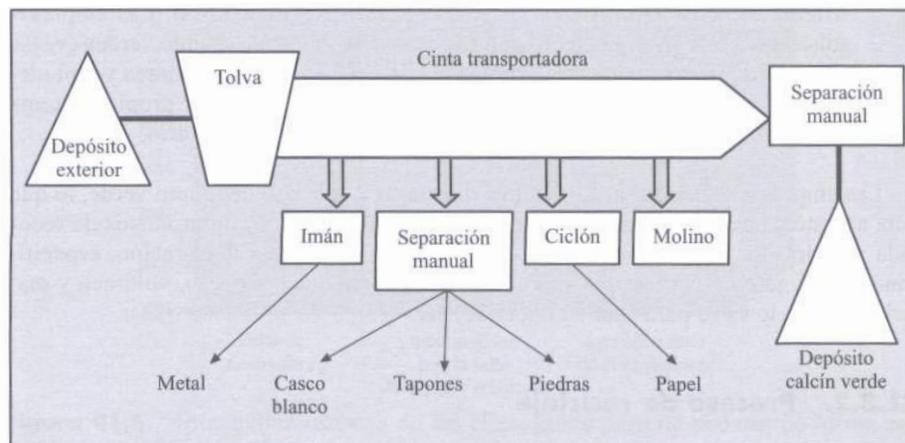


Figura III-4. Esquema del proceso de reciclaje del vidrio

Fuente: Díaz Fernández, A. / Álvarez Gil, M. / González Torre, P. y propia

- ✓ El material que ha sido transportado desde los contenedores de recogida selectiva o que procede de desechos de los procesos productivos (de la fabricación de envases o de roturas durante el embotellado) es depositado en parques exteriores de casco recuperado.
- ✓ La entrada al proceso de reciclaje se realiza mediante carretillas que llevan el casco hasta una tolva.
- ✓ La tolva dosifica el casco a una banda transportadora que va llevando el casco por distintas fases de separación.
- ✓ Tras las sucesivas separaciones realizadas, el casco es triturado en un molino.
- ✓ Nuevamente se procederá a su depósito hasta que sea requerido para algún fabricante de envases.

El principal interés del reciclaje de este material proviene de la propia industria vidriera, quienes utilizan en sus procesos 50% de vidrio reciclado, seguido de las botellas de re-uso con 33%.³⁶

3.3.1 Ventajas de reciclar el vidrio³⁷

“Más del 42 %, del vidrio reciclado procede del doméstico, siendo el sector principal de producción de vidrio recuperable”.

El reciclado de vidrio entraña beneficios sociales, ambientales y económicos, ya que genera un significativo ahorro energético. Por cada 3,000 botellas que se depositan en el horno se ahorran 130 kg. de combustible, debido a que el vidrio que se recicla funde a una temperatura más baja. La energía requerida para fundir la fórmula del vidrio, puede disminuir hasta la mitad, dependiendo de la cantidad de vidrio que se introduzca al horno. De hecho, el vidrio reciclado ahorra de un 25% a un 32% de la energía utilizada para producir vidrio nuevo.

Si se hiciera una extrapolación de datos para trasladar el ahorro energético a una situación doméstica podríamos afirmar que tan sólo con la energía que ahorra el reciclaje

³⁶ <http://www.planetaazul.com.mx>

³⁷ <http://www.infoecologia.com>

de una botella sería posible mantener encendida una bombilla de 100 vatios durante 4 horas.

Aunque el ahorro energético que se logra es importante, no es el único beneficio que produce la recogida selectiva de estos envases y de este material y su reciclado para su posterior reutilización. El ahorro de materias primas que está logrando el progresivo aumento de las cifras de recogida selectiva de vidrio evita la destrucción de terrenos por extracción y contribuye así a la preservación de los ecosistemas potencialmente afectados por esta industria: reciclando 3,000 botellas se ahorra una tonelada de materias primas. Utilizar vidrio reciclado supone usar menos recursos naturales, como la arena sílica, que debe extraerse de las minas en un proceso que, además, requiere un elevado consumo energético.

Asimismo, estas prácticas reducen la contaminación de los suelos, ya que no se puede obviar que 3,000 botellas depositadas en los contenedores de recogida selectiva equivalen a 1,000 kilos menos de basura.

Algo similar se puede decir de la incidencia del reciclado en la contaminación y la conservación de la calidad del agua. La contaminación del aire disminuye significativamente al reducir la quema de combustible y el consumo de agua disminuye a la mitad. Si durante la fabricación de vidrio utilizáramos la mitad del material reciclado y la otra mitad de materia prima, se ahorraría el 50 por ciento del agua que normalmente se utiliza y bajaría en un 20% la contaminación del aire.

Estas características y las indudables ventajas socioeconómicas, y por supuesto ambientales (ver tabla III-7) que conlleva el reciclado han facilitado una creciente sensibilización social en relación con esta cuestión.

Factor	Resultado
Energía	Se ahorra energía, ya que la temperatura de fusión del nuevo vidrio es inferior a la de la materia prima original.
Economía	El reciclaje supone un importante ahorro económico, ya que los tiraderos tardan en llenarse mucho más si cada trozo de vidrio se deposita en el contenedor
Materias Primas	El reciclaje de vidrio también supone un gran ahorro de materias primas. Por cada tonelada del nuevo se ahorran 1.200 kg de materias primas.

Tabla III-7: Ventajas del reciclaje del vidrio

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Estadísticas de reciclaje en México

En el informe final de resultados "Indicadores de desarrollo sustentable en México", realizado por el INEGI y el INE, publicado en 2000, se muestra un resumen del reciclado de desechos a nivel nacional; definen como Reciclado de Desechos a la proporción que se reutiliza o recicla del volumen de desechos generados por habitante, el objetivo de este indicador es medir el porcentaje de desechos sólidos que se reutilizan o reciclan. Ver tabla III-8.

Reciclaje de desechos generados a nivel nacional, 1991-1998
(Miles de toneladas)

Producto	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Papel, cartón y productos de papel								
Volumen de basura generada	2 963	3 090	3 952	4 146	4 292	4 496	4 118	4 298
Volumen de basura reciclada	61	63	81	85	88	92	84	88
Vidrio								
Volumen de basura generada	1 242	1 296	1 657	1 738	1 800	1 885	1 727	1 802
Volumen de basura reciclada	48	50	64	67	69	72	66	69
Metales (aluminio)								
Volumen de basura generada	336 997	351 480	449 433	471 559	488 154	511 350	468 154	488 808
Volumen de basura reciclada	19	19	25	26	27	28	26	27
Metales no ferrosos								
Volumen de basura generada	104 259	108 739	139 043	145 889	151 023	158 199	144 898	151 225
Volumen de basura reciclada	6	6	8	8	8	8	8	8
Metales ferrosos								
Volumen de basura generada	168 499	175 740	226 121	237 253	245 602	257 273	235 613	245 932
Volumen de basura reciclada	9	10	12	13	13	14	13	14
Plásticos								
Volumen de basura generada	922 530	962 178	1 230 322	1 290 893	1 336 321	1 339 822	1 282 132	1 338 112
Volumen de basura reciclada	0.20	0.20	0.30	0.30	0.40	0.40	0.30	0.40
Liantas usadas								
Volumen de basura generada	159 926	166 799	213 284	223 784	nd	nd	nd	nd
Volumen de basura reciclada	1	1	2	2				
Otros								
Volumen de basura generada	313 829	327 316	418 534	439 139	454 539	476 195	436 159	455 202
Volumen de basura reciclada	0.15	0.16	0.20	0.21	0.22	0.23	0.21	0.22

nd: No disponible.

Fuente: SEDESOL, Dirección de Residuos Sólidos, 2000.

Tabla III-8: Reciclaje de desechos generados a nivel nacional, 1991-1998

Fuente: Indicadores de Desarrollo Sustentable en México, INEGI /INE. 2000

Anualmente los rellenos sanitarios acumulan cerca de 213 mil toneladas de vidrio y 58 mil más se pierden en el proceso de incineración.

Después de Alemania, Holanda, Francia y España, México se coloca como el quinto lugar en el reciclaje de vidrio a nivel mundial.³⁸

3.3.3 Obstáculos para el reciclaje

El reciclaje tiene beneficios obvios, sin embargo también existen algunos obstáculos que hay que superar.

Tal vez, el principal problema al que se enfrentan las personas cuando quieren generar un proceso de reciclaje, es la falta de educación de la sociedad en general sobre este aspecto. Las sociedades en general no entienden lo que le está pasando al planeta, especialmente en lo que se refiere a los recursos naturales.

Los problemas sociales relacionados con el reciclaje no se solucionan solamente con la educación. Las sociedades tienden a resistirse a los cambios. El ciclo tradicional de adquirir - consumir - desechar es muy difícil de romper. Reciclar en la oficina o en el hogar requiere de un esfuerzo extra para separar los materiales. Siempre será más conveniente el hábito de arrojar todo hacia afuera.

La investigación ha hecho que sea posible la reducción de residuos, conduciendo al desarrollo de nuevas tecnologías, garantizando que el índice de recuperación y de reciclado de compuestos de cloro y productos derivados se incremente en el futuro. La instalación de varias plantas de reciclado de Materiales, da lugar a la creación de puestos de trabajo y un mejor empleo de los recursos en comparación a la incineración.

³⁸ <http://www.planetaazul.com.mx>

CAPITULO IV

PROPUESTA DE PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA PARA EMPRESAS RECUPERADORAS DE VIDRIO

4.1 Importancia de la estrategia de logística inversa.

Para poder comenzar a hablar del plan de logística inversa, se hace necesario identificar el factor estratégico que esta tiene en el entorno en la cual es introducida, de acuerdo con los resultados de la encuesta realizada por Rogers y Tibben Lemke³⁹ a 1,200 empresas norteamericanas (de los cuales respondieron en proporción a las categoría como se indica a continuación, productores 64%, mayoristas 29.9%, minoristas 28.9% y proveedores 9%) que ocupaban uno o más eslabones dentro de las distintas cadenas de suministro, en la que se planteaba la necesidad de conocer las características y mejores prácticas predominantes de la logística inversa, en la pregunta “¿Qué rol juegan los retornos en la estrategia de su empresa?, identifique los que aplique” Se identificaron los resultados que se muestran en la figura IV-1:

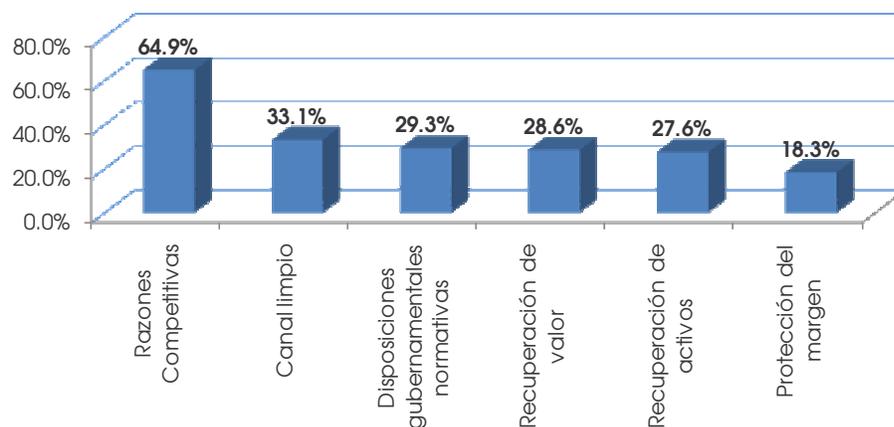


Figura IV-1. Rol de los retornos en la estrategia

Fuente: Rogers and Tibben

³⁹ Rogers, D.S. / Tibben-Lembke, R. S., "Going backwards: Reverse logistics trends and practices", Reverse Logistics Executive Council, 1999, pp.16 y 232

De acuerdo con estos resultados se resalta la necesidad de que sean implementados con mayor frecuencia programas de logística inversa, considerando en todos los casos, las características de producto y mercado y los criterios de retorno y diseño de la logística inversa, las cuales fueron resumidas por Harold Krikke⁴⁰ y se presentan en las tablas IV-1 y IV-2.

Características del producto	Retorno comercial	Retorno por fin de uso (con valor comercial)	Retorno por fin de uso (con valor de transformación)	Retorno por fin de vida	Retorno por unidades rellenables	Retorno por portadores reusables	Retorno por reparación
Tiempo de vida remanente	Alto	Moderado	Alto por algunos componentes	Bajo	Alto	Alto	Moderado-Alto
Riesgo de obsolescencia	Alto	Alto	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Legislación de recuperación	No	No	No	Responsabilidad extendida del productor	No	No	Garantías
Complejidad del producto	Bajo-Alto	Bajo	Alto	Bajo-Alto	Bajo	Bajo	Alto
Más común en	Mercado de consumidores	Mercado de consumidores	B2B, bienes de capital	Todos	Todos	B2B	Todos
Opción de recuperación	Reuso Reparación	Restauración Reparación	Remanufactura Canibalización	Canibalización Reciclaje	Reuso Reparación	Reuso Reparación	Reparación Restauración
Características del Mercado	Retorno comercial	Retorno por fin de uso (con valor comercial)	Retorno por fin de uso (con valor de transformación)	Retorno por fin de vida	Retorno por unidades rellenables	Retorno por portadores reusables	Retorno por reparación
Tasa de retorno como % de ventas	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto	Moderado
Incertidumbre de retorno	Bajo	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado
Precio de recompra	Crediticio	De mercado	Valor al fin del arriendo	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Crediticio
Demanda secundaria	Alto	Moderado-Alto	Moderado-Alto	Bajo	Alto	Alto	Moderado-Alto
Precio/valor secundario	Alto	Moderado	Alto	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
¿Compite con el mercado primario?	Si	No, mercados de segunda mano	Si	No, Mercado de materiales	Si	Si	Si
Rango de mercado	Nacional	Regional / Global	Regional	Nacional	Nacional / Regional	Regional / Global	Regional

Tabla IV-1. Características de producto y mercado para 7 retornos típicos (sumario)

Fuente: Krikke, H. / LeBlanc, I / Van de Velde, S.

⁴⁰ Krikke Harold, Le Blanc Ieke, Van de Velde Steff, (2003), Creating value from returns, Center Applied Research working paper no.2003-02, pp

Tipo de Retorno	Retorno comercial	Retorno por fin de uso (con valor comercial)	Retorno por fin de uso (con valor de transformación)	Retorno por fin de vida	Retorno por unidades rellenables	Retorno por portadores reusables	Retorno por reparación
Tipo de cadena inversa	Distribución inversa	Comercio - Reparación	Híbrido - (re) manufactura	Reciclaje	Reabasto cíclico	Carrusel	Servicio de reparación
Director	Distribuidor	Empresa o agente de especificación	Fabricante (OEM4)	alianzas / Socios de la cadena	Fabricante (OEM)	3PL	Fabricante (OEM)
Condición principal	Recuperación de valor económico	Recuperación de valor económico	Recuperación de valor económico	Objetivos de recuperación	Mezclado	Costos y espacio minorista	Valor económico y del cliente
Sistema colectivo	No	No	No	Si	No	Si	No
Clase de sistema (loop)	Cerrado	Abierto	Cerrado	Abierto	Cerrado	Cerrado	Cerrado
(De) Centralizado	Descentralizado	Descentralizado	Centralizado	Centralizado	Centralizado	Descentralizado	Centralizado
Enfoque de control	Obsolescencia	Consolidación	Rendimiento / calidad	Economías de escala	Economías de escala	Disponibilidad	Obsolescencia
Tiempo de abasto (lead time)	Días-semana	Días-semana	Semanas-meses	Semanas-meses	Semanas	Semanas	Semanas
Adquisición	Retornos por el cliente	Demanda por compra activa	Retornos por el cliente	Políticas y publicidad	Retornos por el cliente	Último usuario	Defecto
Colección	Socios de la cadena	Socios de la cadena	Socios de la cadena	Municipio/minorista	Minorista	Socios de la cadena	Socios de la cadena
Prueba / Separación	Centro de distribución	Empresas de especificación	Fabricante (OEM)	Empresas de especificación	Socios de la cadena	Depósito	Empresas de especificación
Recuperación	Centro de distribución	Empresas de especificación	Fabricante (OEM)	Empresas de especificación	Fabricante (OEM)	Depósito	Empresas de especificación
Ventas / redistribución	Canal Directo	Canales alternativos/socios de la cadena	Canal Directo	Mercado de materiales/socios de la cadena	Canal directo	Canal directo	Canal directo
IT usada comúnmente	Inventario manejado por el proveedor	Internet	ERP	?	?	Seguimiento y rastreo	?

Tabla IV-2: Comparación de la cadena inversa con los criterios de retorno y diseño (sumario)

Fuente: Krikke, H. / LeBlanc, L / Van de Velde, S.

4.2 Programa de logística inversa propuesto para empresas recuperadoras de vidrio

Como lo mencionamos en el capítulo II de esta tesis, para conceptualizar un programa aplicado a la logística Inversa para la gestión de residuos sólidos urbanos, se identifican varias etapas que se integran de acuerdo al criterio del autor que lo proponga.

Como ya se ha mencionado, debido al planteamiento de los nuevos elementos que integran el flujo logístico cuando este se invierte y dado el modelo matemático propuesto para una red de recolección de residuos sólidos de interés, en la figura VI-2 se muestra la propuesta para establecer el programa de logística inversa para la recolección de vidrio que pueden de utilizar las empresas recuperadoras de vidrio.

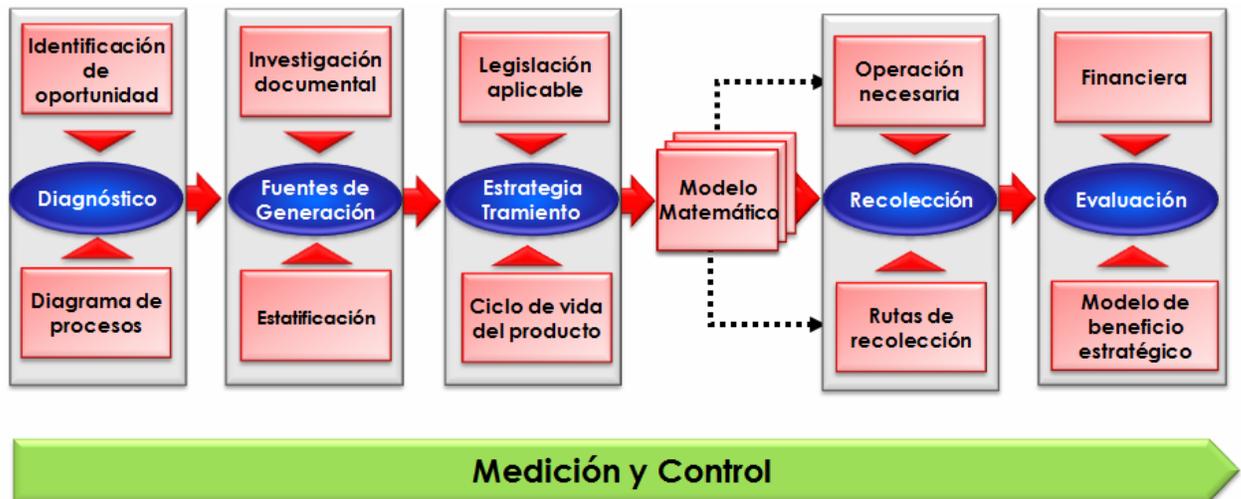


Figura IV-2. Propuesta para la elaboración de programa de logística inversa.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Diagnóstico

El diagnóstico es el "proceso que se realiza en un objeto determinado, generalmente para solucionar un problema. En el proceso de diagnóstico dicho problema experimenta cambios cuantitativos y cualitativos, los que tienden a la solución del problema. Consta de varias etapas, dialécticamente relacionadas, que son: - Evaluación - Procesamiento mental de la información - Intervención - Seguimiento"⁴¹.

⁴¹ <http://www.definicion.org/>

Los objetivos fundamentales de esta etapa son realizar un diagnóstico medioambiental de la situación actual de la entidad que es objeto de estudio a través de una inspección rigurosa, se analizan las pérdidas, residuos, desechos, se analizan las entradas al sistema y toda la información que lleva consigo dicha fase.

Identificación de la oportunidad

Para realizar la identificación de una oportunidad es necesario ser receptivos al entorno y las tendencias que a nivel regional, nacional y mundial se identifiquen de acuerdo con el tema seleccionado.

Diagramas de procesos

En la etapa de diagnóstico se debe definir el proceso que es sujeto de estudio, para realizar esto nos apoyaremos del diagrama de proceso, el cual es herramienta que representa gráficamente los pasos de un proceso.

“Existen diversas formas de representar la interrelación de los procesos dentro de una organización, pero antes de hacer dicha representación, lo más recomendable es aplicar el enfoque por procesos, utilizando el principio de aplicar un pensamiento de “derecha a izquierda”, es decir, de identificar primero los clientes, los productos, los requisitos que el cliente exige y con esto identificar los procesos que se requieren para producir los bienes y/o servicios. Lo anterior se debe hacer en perfecta coherencia con la misión de la empresa”⁴².

De manera breve, un diagrama de proceso se construye de la siguiente manera:

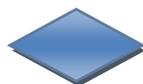
- Utilice símbolos para mostrar el flujo de las acciones y decisiones involucradas en el proceso de principio a fin. Los más comúnmente utilizados son:



Indica el inicio del proceso



Indica actividades en el proceso



Indica una toma de decisión



Indica el flujo del proceso

⁴² <http://gerenciaprosesos.comunidadcoomeva.com>

- Enliste todos los pasos del proceso como se están realizando. Mantenga tan simple como sea posible su descripción.
- Realice el flujo de los pasos del proceso
- Valide el diagrama con los propietarios o los que llevan a cabo el proceso y con los usuarios del mismo.

4.2.2 Fuentes de Generación

La generación de residuos abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin valor adicional o bien son descartados.

Las fuentes generadoras, ver figura IV-3, se clasifican en función de las actividades particulares que en ellas se desarrollan, las cuales dan origen a residuos sólidos que presentan cierta semejanza en cuanto a sus características intrínsecas, lo cual permite contar con indicadores que orienten a las diversas alternativas para su manejo, control y aprovechamiento.

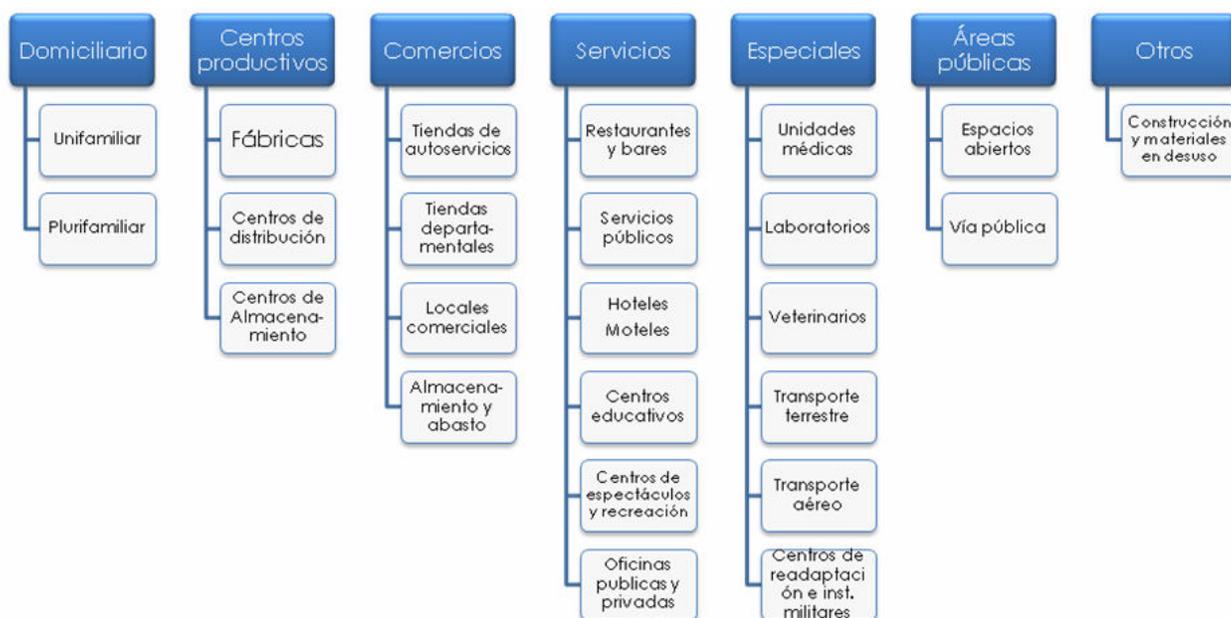


Figura IV-3. Fuentes de generación de residuos.

Fuente: Con base en Instituto Nacional de Ecología y propia

Investigación documental

Una vez que se tiene identificadas las diversas fuentes de generación de residuos, se deberá realizar la investigación documental de la información que exista de la zona de estudio que se haya especificado, esta búsqueda de información se debe apegar a la metodología de investigación⁴³

- Elaborar el planteamiento de la investigación;
- Elaborar una justificación y objetivos de la investigación;
- Elaborar un marco teórico;
- Definir el tipo de investigación;
- Establecer hipótesis;
- Elaborar el diseño de investigación;
- Seleccionar muestra (si es necesario);
- Recolectar los datos (en forma documental o de campo);
- Analizar los datos; y
- Presentar los resultados.

Las fuentes de información son variadas, pueden ser libros, revistas, periódicos, informes, estudios privados o gubernamentales, etc., es de estas fuentes de donde podemos obtener datos para llevar a cabo nuestra investigación.

Estratificación⁴⁴

La estratificación es la separación de datos en categorías o clases. Su utilización más frecuente es para identificar qué clases o tipos contribuyen al problema que hay que resolver. Podemos clasificar o separar una masa de datos en diferentes grupos o categorías. Los datos observados en un grupo dado comparten unas características comunes que definen la categoría. Este proceso de clasificación recibe el nombre de estratificación.

Para poder elaborar una estratificación es necesario seguir una serie de pasos, algunos de los cuales pueden ser:

- a. Seleccionar las variables de estratificación.
- b. Establecer las categorías que se utilizarán en cada variable de estratificación.

⁴³ Hernández Samieri, Roberto. "Metodología de la investigación", 2ª ed., Mc Graw-Hill, México, 1998. p. 26.

⁴⁴ <http://www.programaempresa.com/>

- c. Clasificar las observaciones dentro de las categorías de la variable de estratificación.
- d. Calcular el fenómeno que se está midiendo en cada categoría.
- e. Mostrar los resultados. Los gráficos de barras suelen ser los más eficaces.
- f. Preparar y exponer los resultados para otras variables de estratificación.
- g. Planificar una confirmación adicional.

Considerando pues la investigación documental y la estratificación de la información podemos empezar a hacer el planteamiento de la estrategia de tratamiento que utilizarnos de los residuos seleccionados.

4.2.3 Estrategia de tratamiento

En esta fase, se determina cuál es la estrategia en cuanto al tratamiento que debe seguir el residuo sólido urbano, es decir, con un grupo de especialistas y consultando todas las normativas existentes que rigen en el país y a nivel internacional, se propone cual es la mejor alternativa, sí reciclar, reutilizar, canibalizar, restaurar entre otras.

Legislación aplicable⁴⁵

Con respecto a la legislación vigente en México, se contemplan diversos instrumentos para la normatividad, prevención y gestión integral de los residuos:

- Ley General para la prevención y gestión integral de los residuos. Promulgada el 8 de octubre de 2003,
- Reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Promulgada el 30 de noviembre de 2006,
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental,
- Programa Nacional para la prevención y gestión integral de los residuos,
- Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales,
- Guía para el Cumplimiento Ambiental de las Empresas Mineras.

⁴⁵ Informe sobre la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, Semarnat, 2008 pp. 350

Complementan estos lineamientos los procedimientos y métodos de buenas prácticas de manejo, en el caso de los residuos peligrosos, así como la divulgación de información, la educación y la capacitación de quienes los manejan.

Asimismo, existen otras disposiciones convertidas en leyes como las contenidas en los convenios internacionales de los que México forma parte: el Convenio de Basilea sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su disposición, y el Convenio de Estocolmo, sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP).

Entre los principales objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012 en materia de residuos, se encuentran la culminación e instrumentación del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2008-2012, así como impulsar la creación de un Sistema Nacional de Información de Residuos que considere inventarios de generación y de la infraestructura existente para su manejo.

Otras disposiciones regulatorias son las normas que establecen las medidas a seguir para lograr un manejo seguro de los residuos, a la vez que fijan límites de exposición para reducir su volumen y peligrosidad. Entre las principales normas que regulan los residuos se encuentran:

Residuos sólidos urbanos y de manejo especial

- NOM-083-SEMARNAT-2003. Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial (DOF, 20-10-2004).

Residuos peligrosos

- NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos (DOF, 23-06-2006).
- NOM-133-SEMARNAT-2000. Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo (DOF, 23-04-2003).
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio (DOF, 02-03-2007).

- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación (DOF, 29-03-2005).
- PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio (DOF, 11-11-2005).
- NMX-AA-020-SCFI-2008. Residuos. Determinación de compuestos orgánicos semivolátiles en producto de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) (DOF, 18-06-2008).
- MX-AA-139-SCFI-2008. Residuos. Prueba de extracción para compuestos tóxicos (PECT) (DOF, 18-06-2008).
- NMX-AA-001-SCFI-2008. Residuos líquidos y/o soluciones acuosas. Corrosividad al acero al carbón (DOF, 18-06-2008).

Manejo de residuos peligrosos

- NOM-055-SEMARNAT-2003. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados (DOF, 03-11-2004).
- NOM-056-ECOL-1993. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).
- NOM-057-ECOL-1993. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado de residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).
- NOM-058-ECOL-1993. Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado para residuos peligrosos (DOF, 22-10-1993).
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los residuos peligrosos biológicos-infecciosos que se generan en establecimientos que presentan atención médica (DOF, 17-02-2003).
- NOM-133-ECOL-2000. Protección ambiental-bifenilos policlorados (BPC)-Especificaciones de manejo (DOF, 10-12-2001).
- NOM-040-SEMARNAT-2002. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control

de emisiones fugitivas, provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento (DOF, 18-12-2002). (Esta norma es aplicable a los hornos cementeros en los que se co-procesan residuos peligrosos como combustible alterno).

- NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes (DOF, 01-10-2004).

Análisis del ciclo de vida del producto⁴⁶

Las estrategias indicadas en la tabla IV-3 no serán apropiadas para cada aplicación y no son de ninguna manera exhaustivas. El Rediseño, por lo tanto, debe ser abordado con flexibilidad y apertura. Estas estrategias deberían considerarse como indicaciones para el desarrollo de técnicas de diseño apropiado para cada situación

Etapa	Daños a la tierra y el ecosistema	Consumo de energía	Emisiones al aire	Desechos vertidos al agua	Desechos sólidos
Extracción o recolección	✓				
Procesamiento de materia prima		✓	✓	✓	
Manufactura		✓	✓	✓	✓
Transporte		✓	✓		
Venta minorista					✓
Reuso		✓		✓	
Reciclado		✓	✓	✓	✓
Disposición		✓		✓	✓

Tabla IV-3. Mayores impactos de las diferentes etapas del ciclo de vida de un empaque

Fuente: Center for design at RMIT

En la gestión de residuos recientemente ha habido un gran énfasis en el reciclaje para reducir residuos, a pesar de que la jerarquía de gestión de residuos favorece la reducción de las fuentes y la reutilización por encima de reciclaje.

⁴⁶ Aiming for Sustainable Product Development: Packaging, Centre for Design at RMIT, Energy Research and Development Corporation, EcoRecycle, Australia, pp. 2

La jerarquía del manejo de desechos:

1. Reducción de la fuente.
2. Reuso.
3. Reciclado.
4. Disposición segura.

Aunque la jerarquía es una generalización y cada paso puede no ser aplicable en todos los casos, la reducción de fuentes debe ser considerado primero por los beneficios que aporta todo el ciclo de vida de un producto. En otras palabras:

- Menos material se extrae o recolecta.
- Menos materia prima y energía es necesitada en la fabricación
- Menos energía es usada en el transporte debido a la reducción de peso
- Menos residuos para su eliminación o reciclaje.

1. Reducción de la fuente

- Minimización del material requerido para contener, proteger y entregar los productos al consumidor.
- Reducir los espesores del empaque a través del rediseño.
- Minimizar el peso del paquete.
- Empacar productos en forma concentrada.
- Empacar productos a granel.
- Mantener el número de capas de empaque al mínimo.

2.- Reuso •

- Uso de materiales durables para prevenir daño durante el manejo del producto.
- Uso de identificaciones en molde en lugar de etiquetas de papel o plásticas que pueden ser desechadas.
- Establecer un sistema del retorno eficaz que aproveche las redes existentes y minimice el transporte.
- Uso de iniciativas, como los depósitos monetarios para recipientes, para animar la participación correcta en los sistemas de reuso.
- Uso de los paquetes ligeros de recambio para habilitar reuso de botellas, dentro del hogar.
- Considerar la posibilidad de prestar paquetes al cliente en lugar de venderlos.

Además de los beneficios ambientales de la transportación de envases reutilizables (prevención de residuos y conservación de los recursos), puede haber ahorro de costos en el transporte de mercancías, mano de obra, manipulación y almacenamiento.

Los sistemas de reutilización se pueden configurar a través de minoristas, como con el sistema de depósito y retorno que suministra líquido con cloro en las piscinas. Esto hace que el transporte de paquetes sea simple y asequible.

3.- Reciclado

- Recordar que aunque un material podría ser físicamente reciclable, no puede llamarse reciclable si no hay ninguna infraestructura y su correspondiente comercialización para procesarlo.
- Intentar usar un solo material compatible, para hacer el reciclaje simple.
- Evitar las láminas o películas no-reciclables dentro del empaque.
- Usar materiales que pueden reciclarse económicamente.
- Usar materiales que tienen un sistema de recolección y reciclado.
- Si no existe un sistema de recolección, evaluar la viabilidad de recolección que use: sistemas de colección selectiva, devolver a tiendas, a escuelas o a la comunidad y los expendedores automáticos inversos.
- Evitar el uso de etiquetas, adhesivos, capas y acabados que pueden contaminar el material reciclado. Realice el uso de etiquetas hechas en molde o etiquetas hechas del mismo material.
- Usar adhesivos solubles en agua para etiquetas.
- Uso íntegro (en molde) de terminados en lugar de capas o pinturas.
- Verificar que las tintas son compatibles con el reciclaje.
- Verificar que el consumidor este informado sobre la reciclabilidad del producto.
- Adoptar los sistemas de codificación de plásticos administrados por las asociaciones de Industrias Químicas. Este es un sistema voluntario dónde se usan los números específicos para identificar los tipos de polímeros diferentes.
- Especificación de los materiales reciclados en los paquetes dónde la higiene estricta o los requisitos de pureza no aplican.

4.- Consumo de energía •

- Evitar los componentes innecesarios en el empaquetado.
- Uso de materiales ligeros.

- Maximizar la eficacia de la energía del procesos de producción.
- Evitar o minimizar la necesidad por refrigeración (por ejemplo, a través del uso de asépticos o empaque al vacío).
- Diseñar programas de recolección eficientes para reuso o reciclado, para minimizar los impactos de transporte.
- Realizar una auditoría del ciclo de vida de la energía a través de la extracción, procesamiento, transporte, almacenamiento refrigerado (si es requerido), reciclado y disposición para determinar áreas de oportunidad.

Algunos productos usarán cantidades grandes de energía en alguna fase de su ciclo de vida pero lo recuperarán en otras fases. Si consideramos dos tipos diferentes de empaques de frijoles: una lata de acero y una bolsa de congelador plástica, el acero puede tomar aproximadamente tres veces más energía para producirse que la bolsa plástica, y la lata es aproximadamente seis veces más pesada al transportarse pero, dependiendo de cuánto tiempo se guardará, podría usar menos energía en su vida que la bolsa del congelador debido a que no necesitara refrigeración de almacenamiento, ni un transporte refrigerado.

5.- Disposición segura

- Usar cualquier técnica de reducción en la fuente apropiada.
- Minimizar la incidencia de desechos tóxicos por la selección cuidadosa de componentes.
- Contratar compañías de procesamiento o reciclaje de materiales tóxicos.
- Etiquetar los paquetes de materiales tóxicos con instrucciones para su disposición segura.
- Evitar el uso de tintas, tintes, pigmentos, estabilizadores y adhesivos dónde sea posible, por ejemplo, use etiquetas realizadas con el molde.

4.2.4 Integración del modelo seleccionado

Para poder hacer la integración del modelo seleccionado para el programa de logística inversa de empresas recuperadoras de vidrio se requieren conocer y delimitar el conjunto de datos que alimentaran dicho modelo, para esto se requiere:

4.2.4.1 Descripción de la problemática

De acuerdo con el objetivo general del presente trabajo de tesis que es “Generar una propuesta para la elaboración de un programa de logística inversa que incluya un modelo de red de logística inversa para optimizar los costos de las empresas dedicadas a la recuperación de vidrio” y el cuarto objetivo específico que es “Analizar un modelo de programación lineal que sirva para la elaboración de una red de logística inversa que optimice costos de empresas dedicadas a la recuperación de vidrio” y en conjunto con las estadísticas de generación de residuos sólidos urbanos, primeramente a nivel nacional y posteriormente a nivel Distrito Federal como una de las entidades federativas que contribuyen en mayor proporción a la generación de este tipo de residuos; se establece la necesidad de la creación de centros de recolección especializados para la colección de residuos sólidos en el Distrito Federal bajo las siguientes premisas:

- a. Las empresas recuperadoras de vidrio de la zona metropolitana de la Ciudad de México tienen dificultades para la obtención de vidrio en condiciones que permitan bajar sus costos de acondicionamiento.
- b. Los centros de recolección que existen actualmente en el Distrito Federal no tienen la suficiente capacidad para atender una demanda selectiva de los residuos sólidos.
- c. Los centros generadores de residuos sólidos tienen una alta concentración en la zona centro del Distrito Federal.

4.2.4.2 Generalidades del modelo

A lo largo del presente trabajo de tesis, se ha descrito la importancia de la logística inversa, su desarrollo y aplicaciones en las empresas, así como la factibilidad de implementar un programa de logística inversa, definición, elaboración y beneficios que aporta a la creación de valor dentro de las organizaciones. Asimismo, dentro de éste contexto, la necesidad de desarrollar y aplicar un modelo de recuperación de residuos sólidos, un caso particular, el vidrio como materia prima.

Se han mostrado las bondades del vidrio como envase y sobre todo las ventajas de reciclarlo, para generar alternativas de recuperación de residuos sólidos urbanos (vidrio, en particular) en el Distrito Federal.

La Investigación de Operaciones nos ofrece la fundamentación para desarrollar una propuesta de red de logística inversa, a través de la Teoría de Localización, la cual nos permitirá a su vez tener un parámetro para la toma de decisiones en la elaboración del programa de logística inversa para empresas recuperadoras de vidrio.

En términos generales, el objetivo de la Teoría de Localización puede resumirse en lo siguiente:

“Determinar la localización de uno o varios servicios que mejor se ajusten en algún sentido, a las necesidades de un conjunto de clientes”⁴⁷

Dependiendo de la instalación que se quiera ubicar, se consideraran diferentes variables y objetivos en el problema. Por ejemplo, en el caso de un supermercado, se requiere que exista una alta concentración poblacional para que pueda haber afluencia de consumidores que satisfagan su necesidad de abasto de alimentos y otros productos.

De acuerdo con la investigación de Andrés Aponte y Paula Rosas, un modelo de localización tiene cuatro características básicas:

1. Los clientes que se encuentran localizados en puntos o rutas dependiendo del caso.
2. Instalaciones que deben ser localizadas.
3. Un espacio en el que los clientes y las instalaciones deben ser localizadas.
4. Una métrica que indique las distancias, costos o tiempos entre los clientes y las instalaciones. Con estas características se espera que pueda responder a las siguientes cuatro preguntas:
 - a. ¿Cuántas instalaciones debo utilizar/localizar?
 - b. ¿Dónde deben ser ubicadas?
 - c. ¿Qué tamaño deben tener?
 - d. ¿Cuáles clientes debe atender cada instalación para minimizar los costos o tiempos totales?⁴⁸

⁴⁷ Hinojosa Berjillos, Y., “Algunos Problemas en Teoría de Localización”, Universidad de Sevilla, Facultad de Matemáticas, Sevilla España, Noviembre 1999. pp. vii

⁴⁸ Aponte Penagos, A / Rosas Castro, P., “Propuesta de solución al problema de localización de instalaciones bajándose en la meta-heurística GRASP”. Bogotá Colombia, 2009. pp.3

4.2.4.3 Selección del modelo a desarrollar

El modelo de logística inversa⁴⁹ que se presenta en la figura IV- 4, en el cual se observa que se tienen todos los eslabones de la cadena de logística hacia adelante y que se incorporan los eslabones de la logística hacia atrás, en esta relación de flujos se observa que se tienen muchos eslabones en común, sin embargo este último flujo se vuelve más complejo al momento de incorporar el eslabón de recogida y consolidación de los residuos sólidos urbanos seleccionados.

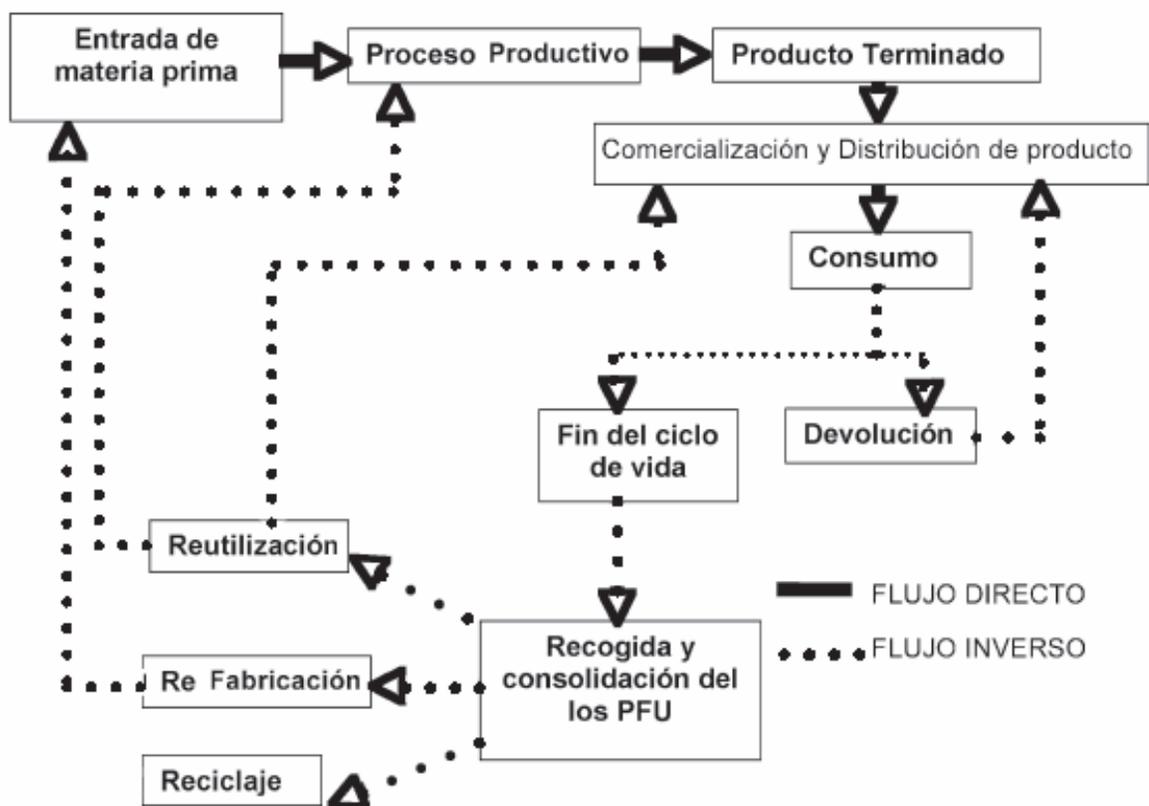


Figura IV-4. Modelo de Logística Inversa

Fuente: Lezama, H. /Rosas M. / Rodríguez M.A. / Castañeda, J.L. / Torres A.

La propuesta del diseño de la red para la recolección de residuos (vidrio) se fundamenta en el modelo de logística inversa descrito, que incorpora el eslabón de recogida y consolidación de los residuos sólidos urbanos seleccionados a través de un modelo matemático.

⁴⁹ Revista internacional de la Nueva Gestión Organizacional, Año 5, Num. 9, Julio-Diciembre, 2009, pp.16

4.2.4.4 Descripción del modelo matemático

Para el diseño de la red de logística inversa para la recuperación del vidrio se propone la utilización del problema de localización de instalaciones con capacidad ilimitada es referido por Daskin ya que es "un problema clásico de localización y forma la base de muchos modelos de localización que se han utilizado en el diseño de la cadena de suministros⁵⁰ y que es referido como Fixed Charge Facility Location Problem (FCFLP) ya que este puede asumir que las instalaciones tienen una capacidad ilimitada (unlimited), con lo que se adhiere una U y quedando como UFCFLP (por sus siglas en inglés).

El objetivo de este modelo es, proponer a un nivel estratégico una red de recolección de envases de vidrio en el Distrito Federal.

De acuerdo con Cruz Rivera, se sugiere la identificación de tres características principales del problema:

1. El número de posibles soluciones, o puntos en donde se pueden ubicar los centros de recolección de vidrio, el cual será igual al número de localidades en el Distrito Federal, por lo que dicho número es finito, y se identifica que es un problema de localización discreta dado el amplio rango de soluciones.
2. El objetivo principal del sistema de recolección en términos de cobertura, es decir, minimizar costos y satisfacer la máxima demanda de recolección.
3. Los costos y capacidad de cada centro de recolección, la cual se asume como ilimitada.

La definición formal del modelo se muestra a continuación.

4.2.4.5 Formulación del Modelo⁵¹

Como se definió anteriormente, la localización de instalaciones investiga dónde ubicar físicamente un conjunto de ubicaciones, a modo de satisfacer las demandas de un grupo de clientes (Hale & Moberg, 2003), todo esto, sujeto a una serie de restricciones, para seleccionar un conjunto óptimo de ubicaciones para instalar en los sitios

⁵⁰ Daskin, Mark S., "Facility Location in Supply Chain Design". Department of Industrial Engineering and Management Sciences Northwestern University, 2003. pp.5

⁵¹ Idem

candidatos, con la finalidad de optimizar una función objetivo. Se debe entender el término ubicación en su más amplio sentido, ya que puede incluir entidades como hospitales, industrias, colegios, puertos, etc.

Los modelos de localización son aplicados a casos específicos, esto es, su estructura (objetivos, restricciones y variables) depende de cada caso en estudio.

A continuación se define el modelo de localización, como un problema de minimizar o maximizar una función objetivo, en este caso particular, la minimización

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = \text{Costos fijos} + \text{Costos de Transporte}$$

4.2.4.5.1 Conjunto de Datos

- I Puntos generadores de residuos sólidos urbanos (vidrio), representados por i ,
- J Puntos candidatos para la localización de instalaciones (centros de recolección), representados por j
- f_j Costos fijos por establecer una instalación en el punto candidato $j \in J$,
- h_i Demanda (generación de residuos sólidos urbanos: vidrio) en el punto $i \in I$,
- d_{ij} Distancia del punto de demanda i al punto candidato j ,
- α Costo por distancia unitaria por unidad demandada.

4.2.4.5.2 Variables de Decisión

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si se instala centro de recolección en el punto candidato } j \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

- Y_{ij} Fracción de la demanda en el punto i , que es atendida por la instalación en el punto j .

4.2.4.5.3 Función Objetivo

A continuación se muestra la modelación del problema de localización de instalaciones de capacidad ilimitada con demanda fija (UFCFLP).

$$\text{Minimizar} \quad \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$X_i = 0,1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (5)$$

La función objetivo (1) minimiza los costos totales, los cuales son la suma de los costos fijos y costos de transporte (distancia total de demanda ponderada multiplicada por el costo de distancia unitaria por unidad demandada). La condición (2) fuerza cada punto de demanda i a ser atendido. La condición (3) asigna la demanda del punto i al punto j , sólo en caso de que una instalación sea ubicada en el punto j . Las condiciones (4) y (5) aseguran la continuidad y no negatividad del problema.

4.2.4.6 Utilización del modelo⁵²

Para la implementación del modelo seleccionado, se recurre a la utilización del programa de optimización SITATION®, el cual es uno de los programas existentes en el mercado que resuelven diferentes tipos de problemas de optimización y localización de nodos en las redes. Entre las principales razones para utilizar el programa de modelación antes mencionado es su alto nivel de manejo, la diversidad de algoritmos que puede resolver, la claridad en la presentación de los resultados y su posterior interpretación, así como la disponibilidad de acceso al mismo para realizar la modelación.

⁵²Con base en Cruz Rivera, R. / Ertel, J., "Propuesta de configuración de redes de recolección de autos al final de su vida útil en México", Rev. Int. Xontam. Ambiental 26 (2) 135-149, 2010

4.2.4.6.1 Escenario

La función objetivo definida en el punto 4.2.4.5.3, será resuelta en este caso particular para el escenario que tiene un 100% de cobertura de recolección y que se ofrece a la generación total de residuos sólidos de vidrio en el Distrito Federal.

4.2.4.6.2 Información requerida por el programa de optimización

En la figura IV-5 se muestran los datos que requiere el programa de modelación seleccionado; y a continuación se describen y contextualiza la aplicación de los mismos para la recolección de residuos sólidos de vidrio en el Distrito Federal,



Figura IV-5. Datos requeridos por SITATION®

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.6.3 Nodos Candidatos

De acuerdo a los datos estadísticos del INEGI, el Distrito Federal aporta el 10% de los residuos sólidos en el país, y de estos el 2.48% corresponden a vidrio.

El Distrito Federal se compone de 16 delegaciones políticas, las cuales dentro de la red serán tomadas en cuenta para la localización del o los centros de recolección, cada una de estas localidades es considerada como un punto de generación de residuos sólidos de vidrio, y al mismo tiempo, dichos puntos o nodos se consideran candidatos potenciales para la localización de un centro de recolección. La posición geográfica de cada localidad es definida por coordenadas geográficas (latitud y longitud en millas).

4.2.4.6.4 Latitud y longitud de los nodos candidatos

De acuerdo con el Marco Geoestadístico Nacional del INEGI, en su Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades, se pueden identificar entre otros datos las latitudes y longitudes de cada una de las delegaciones políticas del Distrito Federal, las cuales se muestran en la tabla IV-4

Delegación	Latitud	Longitud
Álvaro Obregón	19°24'00.000"N	099°12'00.000"O
Azcapotzalco	19°28'58.000"N	099°11'00.000"O
Benito Juárez	19°24'06.000"N	099°09'30.000"O
Coyoacán	19°21'00.000"N	099°09'42.000"O
Cuajimalpa de Morelos	19°22'28.000"N	099°17'05.000"O
Cuauhtémoc	19°26'35.000"N	099°08'40.000"O
Gustavo A. Madero	19°28'56.000"N	099°06'45.000"O
Iztacalco	19°23'43.000"N	099°05'52.000"O
Iztapalapa	19°21'30.000"N	099°05'35.000"O
La Magdalena Contreras	19°20'00.000"N	099°12'50.000"O
Miguel Hidalgo	19°24'24.000"N	099°11'28.000"O
Milpa Alta	19°11'32.000"N	099°01'23.000"O
Tláhuac	19°18'15.000"N	099°03'15.000"O
Tlalpan	19°18'30.000"N	099°13'30.000"O
Venustiano Carranza	19°25'00.000"N	099°06'50.000"O
Xochimilco	19°16'30.000"N	099°08'20.000"O

Tabla IV-4 Latitudes y Longitudes de las delegaciones del Distrito Federal

Fuente: Elaboración propia con base en Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades

4.2.4.6.5 Demanda de recolección de vidrio

La demanda para la recolección de residuos sólidos de vidrio es calculada con base en dos datos:

- El total de residuos sólidos urbanos por delegación del Distrito Federal (ver figura III-1).
- La composición física porcentual de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal (ver tabla III-6), en donde en el DF, el vidrio transparente y el vidrio de color representan el 2.48% de todos los residuos generados.

Con estos dos datos, se calcula la proporción de residuos sólidos de vidrio del total de residuos sólidos urbanos de cada delegación política del Distrito Federal, los resultados de demanda se identifican en la tabla IV-5.

Delegación	Total de residuos (Ton/día)	Demanda de recolección vidrio (Ton/día)
Álvaro Obregón	618	15.3
Azcapotzalco	509	12.6
Benito Juárez	825	20.5
Coyoacán	772	19.1
Cuajimalpa de Morelos	214	5.3
Cuauhtémoc	1,287	31.9
Gustavo A. Madero	1,663	41.2
Iztacalco	461	11.4
Iztapalapa	2,584	64.1
La Magdalena Contreras	231	5.7
Miguel Hidalgo	774	19.2
Tláhuac	337	8.4
Tlalpan	784	19.4
Venustiano Carranza	864	21.4
Villa Milpa Alta	102	2.5
Xochimilco	414	10.3
Total	12,439	308.5

Tabla IV-5 Demanda de recolección de residuos de vidrio por delegaciones del Distrito Federal

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Dirección General de Servicios Urbanos y el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal

4.2.4.6.6 Costos fijos

Para nuestro caso de estudio, se carece de datos de costos fijos para una instalación de este tipo en el Distrito Federal, sin embargo, los costos fijos de un centro de recolección en cualquier punto candidato se asume como \$ 266,250 pesos/ año (\$21,300 dólares/año). Dicha cifra se generaliza a cualquier zona del Distrito Federal.

En la tabla IV-6 se muestran los rubros que conforman el costo fijo de la instalación.

Concepto	Costo
Personal	158,250
Renta del local	96,000
Pago de servicios	12,000
TOTAL	266,250

Tabla IV-6 Costos fijos

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.6.7 Costos de transporte

El costo de transporte es asumido como \$12.5 pesos / Residuo sólido de vidrio-kilómetro recorrido (\$1 dólar / Residuo sólido de vidrio-kilómetro), y el radio de cobertura se establece en 6 unidades, que es el radio mínimo de cobertura requerido por el algoritmo para computar la solución óptima. Un radio mayor de cobertura no tiene ningún efecto en la solución óptima, y un radio menor tiene como consecuencia una cobertura menor al 100 % del total de la demanda.

Es importante señalar que cualquier cambio en los costos de transporte y en los costos fijos resultará en una modificación a la configuración de la red de recolección.

4.2.4.7 Resultados del modelo aplicado a la recuperación del vidrio en el Distrito Federal

La implementación del programa de optimización SITATION® facilitó la comprensión del comportamiento de los costos fijos, de transporte y de los costos totales en la configuración de la red de recolección. Como se observa en el mapa de solución del modelo, que muestra una salida gráfica y de fácil interpretación

Como resultado de la modelación se identificó que solo era necesario la instalación de un centro de recolección en el Distrito Federal específicamente en la delegación Benito Juárez, al analizar la configuración de esta red, se observó que esto elevaría los costos logísticos ya que es la única opción y esto hace que quede muy alejada a la delegación Milpa Alta dentro de la configuración de la Red.

Por lo anterior, se continuo simulando hasta encontrar una configuración de red óptima, los resultados indicaron que se deben establecer dos centros de recolección, uno en la delegación Benito Juárez y otro en la delegación Tláhuac, con un costo total de \$542,725 y una cobertura del 100% de recolección de residuos sólidos de vidrio, como se indica en la figura IV-6. y en su detalle en el anexo 2.

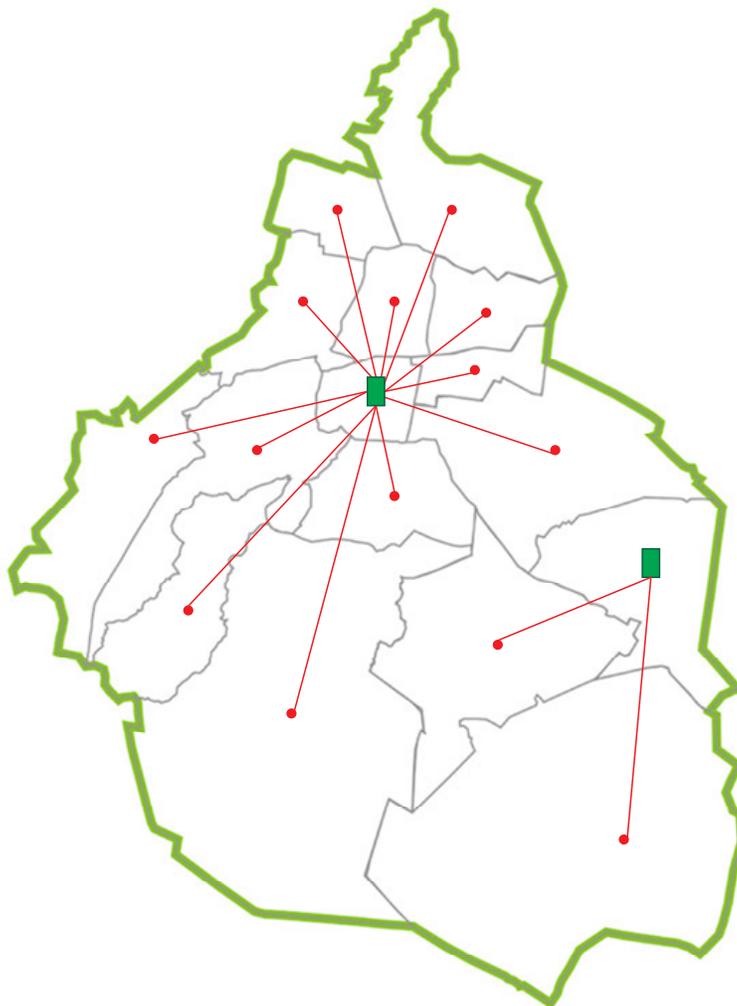


Figura IV-6. Localización de los centros de recolección de residuos sólidos de vidrio

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de SITATION®

Estos resultados se consideran favorables debido a que actualmente la delegación Benito Juárez es un punto estratégico para que las empresas recolectoras puedan ubicar un centro de recolección, ya que resulta conveniente por las distancias que deberán recorrerse entre los nodos y esto se traduce en una integración efectiva de la logística inversa de la empresa recolectora.

Así mismo, la localización del segundo centro en la delegación Tláhuac se favorece debido a las facilidades que otorga el gobierno de esa delegación para el establecimiento de un centro de recolección de este tipo, adicionalmente, esta ubicación resulta ser estratégica, ya que se encuentra muy cercana a la delegación Iztapalapa, que es la que contribuye en mayor proporción a la generación de residuos sólidos en el Distrito Federal, por lo que en determinado momento, aunque el modelo indica que los residuos de esta deberán recolectarse en Benito Juárez, pueden alternativamente enviarse a Tláhuac.

4.2.4.8 Limitaciones de uso del modelo

Con respecto al modelo y de acuerdo con Daskin, "Es sabido que al menos una solución óptima a este tipo de problemas consiste en la asignación de toda la demanda a cada punto generador $i \in I$ totalmente a la instalación abierta más cercana $j \in J$. En otras palabras, las variables de asignación, Y_{ij} , tomarán naturalmente valores enteros en la solución a este problema. Muchas empresas insisten o prefieren fuertemente este tipo de soluciones de abastecimiento único, ya que hacen que la gestión de la cadena de suministro sea considerablemente más simple. Las versiones habilitadas del problema de localización de capacidad limitada no presentan esta propiedad, implementar una sola fuente de abastecimiento es mucho más difícil en este caso.

Se han propuesto una serie de aproximaciones de solución para del problema de localización de instalaciones con capacidad ilimitada. Las técnicas heurísticas simples suelen comenzar con la construcción de una solución factible adicionando poco a poco o eliminando las instalaciones de la solución hasta que no se puedan obtener mejoras"⁵³

Ahora bien, con respecto a la red de logística inversa, como se puede apreciar en la figura IV-4, y de acuerdo con Martínez⁵⁴

1. "Los sistemas logísticos hacia adelante, 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 convergentes, con un número de fuentes

⁵³ Daskin, Mark S., "Facility Location in Supply Chain Design". Department of Industrial Engineering and Management Sciences Northwestern University, 2003. pp.6

⁵⁴ Martínez M., Héctor, "Logística Inversa: Red para la recuperación de polietilentereftalato , en tiendas de autoservicio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", 2005, pp. 51

(clientes) muy elevado y un número reducido de destinos (recuperadores). Esto sugiere que debe de 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 adelante es un sistema *pull* (jalar) en el que el cliente es el destino del flujo, una red de logística inversa es un sistema *push* (empujar), que depende del suministro del cliente, pero también puede darse el caso de que dentro de la logística inversa de recuperación se de el efecto *pull* debido a la demanda de los productos recuperados.
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 fácil saber cuántos serán los eslabones que se tendrán, y aún conociéndose, es difícil asignar parámetros asociados a la incertidumbre por parte de los clientes (suministradores de los residuos sólidos urbanos)".

4.2.5 Recolección

Esta etapa es en muchas ocasiones la que representa el mayor de los costos del programa de logística inversa; por lo que "es recomendable considerar para la selección de estrategias y acciones los siguientes aspectos:

- Las metas que la empresa quiere alcanzar (la separación de materiales reciclables requieren en general también una recolección separada: camión con áreas separadas o turnos por grupo de material, o bien la colocación de los contenedores especiales.
- Definir la participación del sector público, grupos de microempresas o grupos comunales, así como el sector privado para la operación.
- Analizar la posibilidad de introducir otros métodos de recolección (en función del tipo de zona donde se esté prestando el servicio).
- Lograr una mejor coordinación entre los servicios de almacenamiento temporal y la recolección primaria.
- Mejorar o rediseñar las rutas y horarios de recolección que hagan más eficiente el servicio y disminuyan costos.
- Elegir cuidadosamente el equipo de recolección requerido.
- Necesidad de establecer un programa de mantenimiento de vehículos.

- Considerar la capacitación del personal en todos niveles.
- Buscar alternativas para mejorar los aspectos de salud y seguridad en el trabajo.
- Plantear el cambio de organización para mejorar la operación (en caso necesario).
- Analizar la factibilidad de instalar una estación de transferencia.
- Establecer un monitoreo para la parte operativa y los indicadores de costos de esta etapa.
- Analizar las oportunidades reales de incrementar los niveles de recuperación de subproductos para su reciclaje
- Buscar el desarrollo de mercados potenciales para subproductos reciclables en la región.

Es en este punto donde se debe evaluar y especificar una participación más activa y directa por parte de la población”⁵⁵.

Operación necesaria

En esta parte de la fase de recolección se hace necesaria la planeación de la operación de los recursos necesarios que se deberán tomar en consideración para implementar esta fase de acuerdo a los resultados de la integración del modelo sugerido.

Los recursos necesarios pueden ser:

- Humanos.
- Vehículos.
- Tecnológicos.
- Cumplimiento de normatividades.

Rutas de recolección

Una vez que se cuentan con todos los recursos necesarios para la operación, se requiere la definición y planeación de las rutas de recolección que se determinaron con la integración del modelo propuesto en el programa de logística inversa, para hacer esto se deben de tomar en cuenta al menos los siguientes aspectos de acuerdo con García Arnulfo⁵⁶:

⁵⁵ Basado en Wehenpohl, G./ Hernández Barrios, C. p., “Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos”. 2006, pp.39

⁵⁶ García Olivares, A., “Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos”, UNAM, 2005, pp. 48

- **Coincidencias entre las rutas**

Los camiones de colección de diferentes rutas pasan por los mismos lugares, donde ya han ido colectadas las unidades por otro camión.

- **Localidades poco convenientes**

Localidades que, por distancia, accesibilidad u otras razones no encajan con la ruta a donde pertenecen deben ser cambiadas a otras rutas.

- **Tiempo de colección**

Dependiendo de las rutas, puede ser más económico que la colección se ejecute a la vuelta de localidades donde los camiones pasan dos veces (ida y vuelta a las localidades lejanas). Eso tiene la ventaja que el camión recorre las distancias largas con poco peso (ahorro de gasolina, menor desgaste, velocidades mayores). Generalmente se debe intentar que los camiones que se están llenando vayan acercándose al sitio de disposición final.

- **Hora de la recolección**

Depende de la estructura urbana (por ejemplo calles estrechas y con mucho movimiento en el centro) es importante de definir la hora exacta de la recolección para ser eficiente y para evitar la afectación del tránsito normal (por ejemplo durante la noche).

4.2.6 Evaluación

Evaluación financiera⁵⁷

Una vez que se planearon y se pusieron en práctica las estrategias de la cadena de suministros, los directivos desean conocer si éstas funcionan. Para comprobarlo son útiles tres mediciones: el flujo de efectivo, los ahorros y el rendimiento sobre la inversión. Si todos son positivos y sustanciales, tal vez las estrategias se encuentren trabajando bien. Estas mediciones financieras son de interés particular para la alta dirección.

Flujo de efectivo:

El flujo de efectivo es el dinero que genera una estrategia. Por ejemplo, si la estrategia es disminuir la cantidad de inventario dentro de la cadena de suministro, entonces el dinero liberado por el inventario mantenido como un activo se convierte en efectivo. Luego

⁵⁷ Ballou, R. H., "Logística Administración de la cadena de suministros", 5ª Edición, Pearson Prentice Hall, 2004, pp.57

este efectivo puede utilizar para pagar salarios o dividendos, o puede invertirse en otras áreas del negocio.

Ahorros:

Los ahorros se refieren al cambio en todos los costos relevantes asociados con una estrategia. Estos ahorros contribuyen a las utilidades del periodo del negocio. Una estrategia que modifica el número y la ubicación de los almacenes dentro de una red logística afectará a los costos de transportación, de manejo de inventarios, de almacenamiento y de producción/compras. Una adecuada estrategia de diseño de red producirá importante ahorros anuales de costos (o de forma alternativa, aparecerán como un mejor servicio al cliente que contribuye al crecimiento de ingresos). Estos ahorros, aparecerán como un mejoramiento de utilidades en el estado de resultados del negocio.

Rendimiento sobre la inversión:

El rendimiento sobre la inversión es la proporción de los ahorros anuales derivados de la estrategia contra la inversión requerida por la misma. Indica la eficiencia con la que se utiliza el capital. Las buenas estrategias deberán mostrar un rendimiento mayor o igual al rendimiento esperado sobre los proyectos de la compañía.

Modelo de beneficio estratégico⁵⁸

De acuerdo con "Una empresa podría estar perdiendo oportunidades reales si la logística inversa fuera solo vista como un ejercicio de minimización de costos. Usar el enfoque de Retorno Sobre los Activos (ROA) es una forma de evaluar la creación de valor a través del proceso de devolución. El análisis ROA es una medida de desempeño clave de la rentabilidad de una compañía y también un elemento clave para contribuir al valor de los accionistas.

En la figura IV-7, se muestran las diversas contribuciones que hace la gestión eficaz de la logística inversa para contribuir a mejorar el ROA.

⁵⁸ Mollenkopf, D. / Weathersby, H. "Creating Value Through Reverse Logistics" The Logistics Institute, Volume 9, Issue 3/4, Winter 2003-04, pp.20

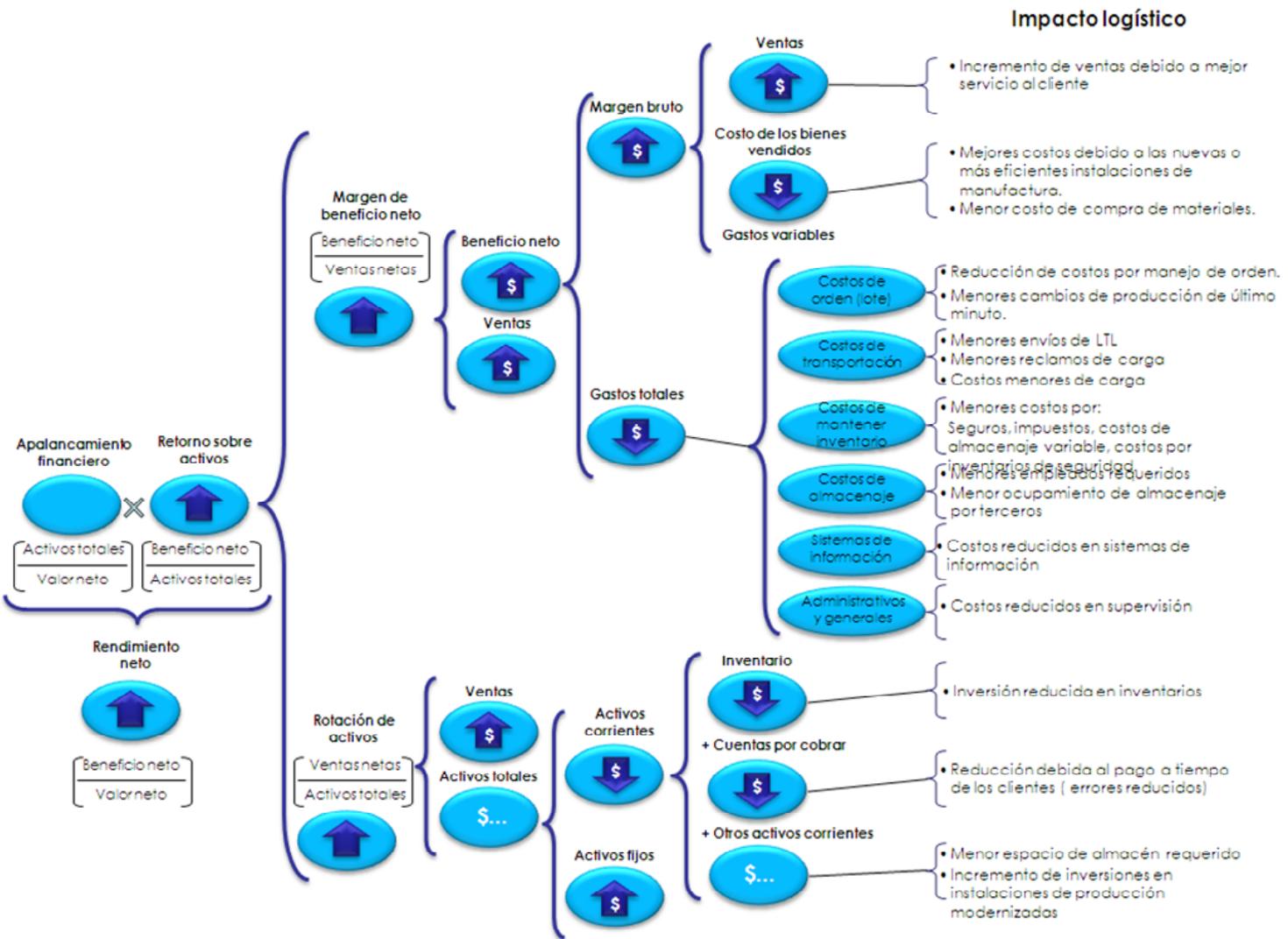


Figura IV-7. Modelo general de beneficio estratégico

Fuente: Lambert, Douglas M, and Renan Burdurgoglu (2000). "Measuring and Selling the Value of Logistics" *The International Journal of Logistics Management*, 11(1), 1-17.

4.2.7 Medición y control

“A pesar de que un gran número de medidas o indicadores de desempeño apropiados para las cadenas de suministro tradicionales han sido desarrollados, estas medidas o indicadores existentes son inadecuados para usarlos en la cadena de suministro extendida o inversa”⁵⁹.

Por lo que se hace necesaria la aplicación de medidas de desempeño más incluyentes para este tipo de logística inversa, considerando lo indicado en la tabla IV-7.

Clasificación de medidas de desempeño	Medida de desempeño (medida sobre producto y ciclo de vida del proceso, excepto cuando se indique)
Uso de los recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Energía total consumida • Material total consumido (ejemplo.- agua, madera, acero, etc...)
Recuperación de los productos	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo requerido para la recuperación del producto • Porcentaje de materiales reciclables/reusables (volumen o peso) disponible • Porcentaje de volumen o peso del producto recuperado y reusado • Pureza de los materiales recuperados reciclables • Porcentaje de materiales reciclados (peso o volumen) usados como materia prima para manufactura • Porcentaje de disposición o incineración de producto • Fracción de materiales de empaque o contenedores reciclados (numero de veces de reuso) • Tasa de recuperación del material (MRR: Material Recovery Rate) • Tasa de núcleo de retornos (CRR: Core Return Rate) • Razón de recursos vírgenes a reciclados • Razón de materiales reciclados a materiales potencialmente reciclables • Productividad de los materiales: Producción económica por unidad de material de entrada
Características del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil de operación del producto • Masa total de producto producido • Nivel de servicio
Emissiones y exposiciones de desechos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> • Total de materiales usados (tóxicos o peligrosos) • Total de desperdicios generados (tóxicos o peligrosos) • Emisiones de desechos sólidos • Porcentaje de producto (peso o volumen) dispuestos en rellenos sanitarios • Concentración de materiales peligrosos en productos y subproductos • Riesgo anual estimado de efectos adversos en humanos y medio ambiente • Razón de desperdicio (waste ratio): Razón de desechos a la producción total
Económicas	<ul style="list-style-type: none"> • Costo promedio del ciclo de vida incurridos por el fabricante • Costos de operación y compra incurridos por el cliente • Ahorro de costos totales del ciclo de vida asociados con las mejoras en los diseños
Económicas/Emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-eficiencia: Agregar el mayor valor con el menor uso de recursos y menor contaminación. Generalmente, “la habilidad de cumplir simultáneamente con costo, calidad y desempeño de objetivos, reduciendo los impactos ambientales, y conservando recursos valiosos”.

Tabla IV-7. Medidas de desempeño de la cadena de suministro extendida

Fuente: Beamon, B. 1999

⁵⁹ Beamon, Benita M. "Designing the Green Supply Chain", *Logistics Information Management*, Vol. 12, No. 4, 1999, pp.339

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de la investigación y desarrollo del presente trabajo de tesis se identifica lo complejo y basto que es la gestión de la logística inversa, hoy en día existen muchas aproximaciones, lineamientos y esfuerzos que motivan a las empresas a ser cada vez mas responsables con el manejo de los residuos, ya sea por cuestiones meramente económicas o por implementación de políticas verdes; asimismo los gobiernos locales promueven a través de las legislaciones que se implemente programas de logística inversa.

Con este trabajo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Dentro de la gestión de los residuos sólidos urbanos existe un nicho para aquellas empresas o entidades que estén dispuestas a invertir y recuperar valor de los envases y productos de vidrio, ya que estos materiales se puede reducir una proporción importante de la energía y costo de producción de vidrio, ya que estos materiales pueden reducir una proporción importante de la energía y costo de producción de vidrio.
- Se elaboró una propuesta documental de programa de logística inversa que puede ser utilizada por aquellas empresas cuyo objetivo sea la recuperación del vidrio, integran la variable de modelación matemática, que permitirá la mejor configuración del programa.
- Se indicaron pautas para poder medir la mejora de la rentabilidad de una empresa a través diversa herramientas para comprobar que se han generado ventajas competitivas, algunas de ellas son financieras y otras son de desempeño.
- Existe una amplia aplicación de los métodos de investigación de operaciones que ayudan a resolver problemas complejos dentro de la logística inversa, dependiendo del objetivo de la función que requiriera maximizar o minimizar se puede escoger dentro de una gama de estos métodos.
- Existe una gran área de oportunidad en México para que las empresas interesadas en los procesos de gestión de los residuos sólidos, incrementando este potencial a través de la normatividad gubernamental vigente en la materia y la participación más activa de la sociedad en general para implementar más redes de logística inversa.
- Se pudo hacer uso de un programa de optimización comercial como el SITATION®; el conocer cuáles son los datos de la información requeridos, la calidad de estos, cómo se ingresan al modelo, y sobre todo los resultados que arroja y su presentación.

- Se observó la necesidad de trabajar arduamente en la generación y recopilación estructurada y sistematizada de los datos necesarios para alimentar el modelo utilizado, y no sólo este modelo en particular. Ya que a mejor calidad y cantidad suficiente de información, mejores resultados obtendrá la alta dirección para la correcta toma de decisiones.

ANEXOS

Para estos anexos, se desarrollará la referencia correspondiente en el desarrollo de la tesis.

Anexo 1

El modelo actual de reciclado de vidrio en España⁶⁰

El reciclado de vidrio en España ha cumplido en 2002 su vigésimo aniversario. Fue en 1982 cuando comunidades autónomas, corporaciones locales y fabricantes de envases de vidrio comenzaron una colaboración para el reciclado de este material. Surgió de este modo el Programa Nacional de Reciclado de Vidrio que ha permitido que, desde su puesta en marcha, se hayan recogido más de cinco millones de vidrio.

Desde 1995, es una sociedad sin ánimo de lucro la que se encarga de gestionar la recogida selectiva de residuos de vidrio en España. Ecovidrio nació como un Sistema Integrado de Gestión de Residuos que continuaba con los programas medioambientales del sector del vidrio y que además estaba en consonancia con la necesidad de adaptar las estructuras del reciclado a las normativas europea y española.

La gestión de Ecovidrio comprende la recogida, transporte, almacenamiento y reciclado de los envases de vidrio, así como la vigilancia de las operaciones y los lugares de descarga. Asimismo, dota de identidad a los envases que recicla mediante el Punto Verde, que implica una "garantía de recuperación" e informa de que el envasador ha pagado para que ese envase se recicle o se valore. Precisamente son las más de 2.000 empresas envasadoras adheridas a Ecovidrio las que financian sus actividades, cumpliendo así con sus responsabilidades ambientales y legislativas.

La responsabilidad de Ecovidrio incluye la comunicación con los consumidores y con los colaboradores, así como la investigación en procesos de reciclado y la obtención de fondos.

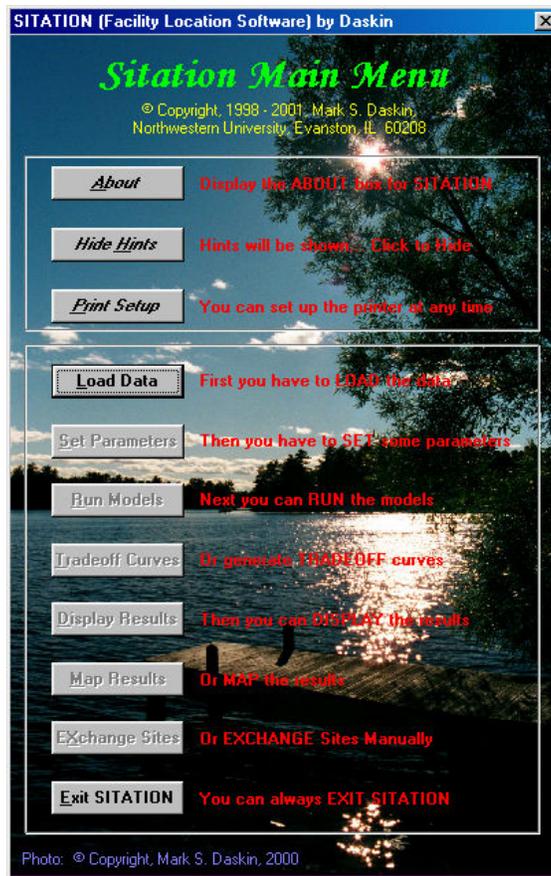
Podemos decir a modo de resumen que con el Sistema Integrado de Gestión de Residuos de Ecovidrio ganan los ciudadanos, que siempre tienen cerca de sus casas "iglúes" donde depositar los envases de vidrio; los empresarios quienes cumplen con la legislación debido a que financian el sistema; y los Ayuntamientos, a los que Ecovidrio paga la diferencia entre el coste de recogida tradicional y el nuevo sistema para la recogida selectiva de vidrio.

⁶⁰ <http://www.infoecologia.com>

Anexo 2

Utilización SITATION®

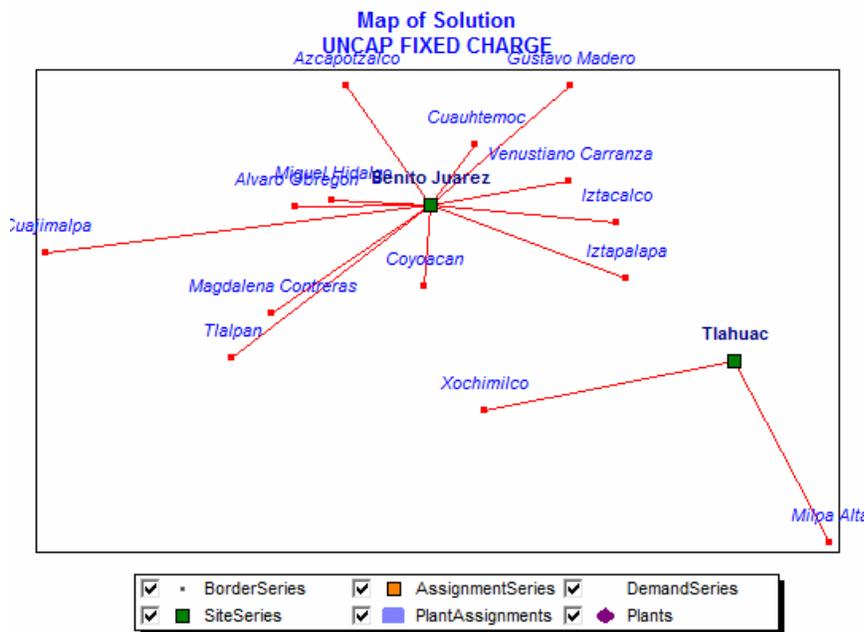
Lo primero que hay que realizar es la carga de los datos requeridos por el programa en la sección que corresponda



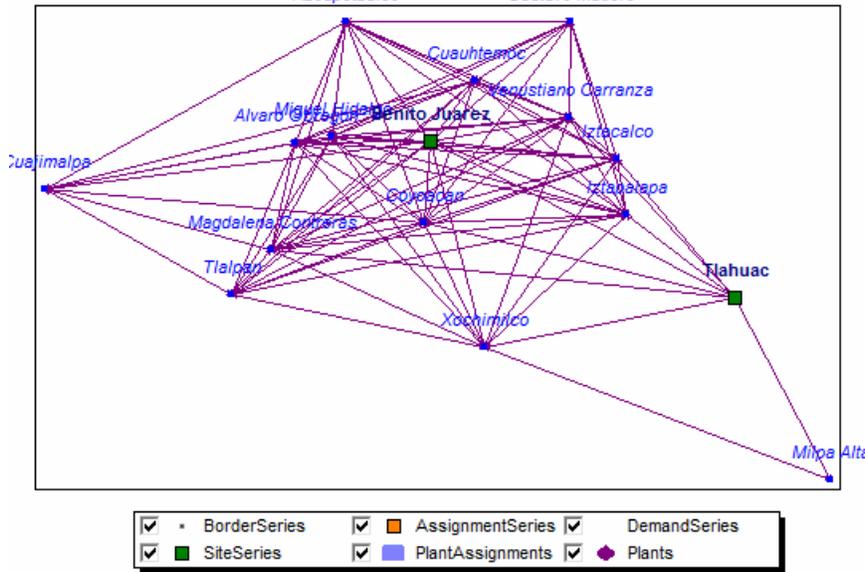
Una vez cargados los datos se resuelve el algoritmo y se obtienen los siguientes resultados particulares para la problemática propuesta.

ASSIGNMENT OF DEMANDS TO FACILITY SITES

Demand Area	(Population)	->	Facility
1	Alvaro Obregon (15)	->	3 Benito Juarez
2	Azcapotzalco (13)	->	3 Benito Juarez
3	Benito Juarez (21)	->	3 Benito Juarez
4	Coyoacan (19)	->	3 Benito Juarez
5	Cuajimalpa (5)	->	3 Benito Juarez
6	Cuauhtemoc (32)	->	3 Benito Juarez
7	Gustavo Madero (41)	->	3 Benito Juarez
8	Iztacalco (11)	->	3 Benito Juarez
9	Iztapalapa (64)	->	3 Benito Juarez
10	Magdalena Contreras (6)	->	3 Benito Juarez
11	Miguel Hidalgo (19)	->	3 Benito Juarez
12	Milpa Alta (3)	->	13 Tlahuac
13	Tlahuac (8)	->	13 Tlahuac
14	Tlalpan (19)	->	3 Benito Juarez
15	Venustiano Carranza (21)	->	3 Benito Juarez
16	Xochimilco (10)	->	13 Tlahuac



Map of Coverage Relationships
 COV DIST = 6.00 DIST. FILE = computed



EXTENDED LOCATION SUMMARY

# ==>	Node #	X-Loc	Y-Loc	Coverage	Name
1 ==>	3	99.09	19.24	306	Benito Juárez
2 ==>	13	99.03	19.18	163	Tlahuac

Total Covered Demands = 308
 Percent Covered Demands = 100.000000
 Average Weighted Distance = 2.65325981
 Average Covered Distance = 2.65325981
 Average Uncovered Distance = All Covered
 Total Cost = \$542,725.000
 Mileage Cost = \$10,225.000
 Fixed Cost = \$532,500.000

UNCOVERED DEMAND REPORT

No.	Node	X-Loc.	Y-Loc.	DEMAND	Name
-----	------	--------	--------	--------	------

<<< ALL NODES ARE COVERED >>>

ASSIGNMENT OF DEMAND TO SITES

Demand Area	Facility Site	Distance	Covered?	Demand	Dem*dist
1	3	2.0	YES	15	31
2	3	3.0	YES	13	38
3	3	0.0	YES	21	0
4	3	2.0	YES	19	38
5	3	5.0	YES	5	27
6	3	2.0	YES	32	64
7	3	4.0	YES	41	165
8	3	3.0	YES	11	34
9	3	3.0	YES	64	192
10	3	3.0	YES	6	17
11	3	1.0	YES	19	19
12	13	5.0	YES	3	13
13	13	0.0	YES	8	0
14	3	5.0	YES	19	97
15	3	2.0	YES	21	43
16	13	4.0	YES	10	41

Assignment of Demands to Sites
 COVERAGE DISTANCE = 6.00
 Total demand weighted distance = 818.00
 MAXIMUM DISTANCE = 5.00
 Message4

FIXED COST REPORT

Facility	Fixed Cost	Selected?
1	\$266,250.000	NO
2	\$266,250.000	NO
3	\$266,250.000	YES
4	\$266,250.000	NO
5	\$266,250.000	NO
6	\$266,250.000	NO
7	\$266,250.000	NO
8	\$266,250.000	NO
9	\$266,250.000	NO
10	\$266,250.000	NO
11	\$266,250.000	NO
12	\$266,250.000	NO
13	\$266,250.000	YES
14	\$266,250.000	NO
15	\$266,250.000	NO
16	\$266,250.000	NO

TOTAL FIXED COST = \$532,500.00

Glosario⁶¹

Dada la profusión de términos existentes referidos a las basuras, creemos conveniente establecer un pequeño diccionario de términos.

Basura. Se considera de forma genérica a los residuos sólidos sean urbanos, industriales, etc. Ver Residuos sólidos y Residuos sólidos urbanos.

Calcín. Chatarra de vidrio fragmentado, acondicionado o no para su fundición.

Clasificación de los residuos. Atendiendo al estado y al soporte en que se presentan, se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. La referencia al soporte se debe a la existencia de numerosos residuos aparentemente de un tipo, pero que están integrados por varios (gaseosos formados por partículas sólidas y líquidas, líquidos con partículas sólidas, etc.) por lo que se determina que su estado es el que presenta el soporte principal del residuo (gaseoso en el primer ejemplo, líquido en el segundo). Ver Residuos sólidos.

Compost o compuesto. Producto obtenido mediante el proceso de compostaje.

Compostaje. Reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

Chatarra. Restos producidos durante la fabricación o consumo de un material o producto. Se aplica tanto a objetos usados, enteros o no, como a fragmentos resultantes de la fabricación de un producto. Se utiliza fundamentalmente para metales y también para vidrio.

Escombros. Restos de derribos y de construcción de edificaciones, constituidos principalmente por tabiquería, cerámica, hormigón, hierros, madera, plásticos y otros, y tierras de excavación en las que se incluyen tierra vegetal y rocas del subsuelo.

Granza de plástico de recuperación. Producto obtenido de reciclar plásticos usados y que equivale a los productos plásticos de primera transformación o "granza virgen". Normalmente se presenta en forma de fino "macarrón" troceado.

Materia inerte. Vidrio (envases y plano), papel y cartón, tejidos (lana, trapos y ropa), metales (férricos y no férricos), plásticos, maderas, gomas, cueros, loza y cerámica, tierras, escorias, cenizas y otros. A pesar de que pueden fermentar el papel y cartón, así como la madera y en mucha menor medida ciertos tejidos naturales y el cuero, se consideran inertes por su gran estabilidad en comparación con la materia orgánica. Los plásticos son materia orgánica, pero no fermentable.

Reciclaje. Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. La palabra "reciclado" es un adjetivo, el estado final de un material que ha sufrido el proceso de reciclaje. En términos de absoluta propiedad se podría considerar el reciclaje puro sólo cuando el producto material se reincorpora a su ciclo natural y primitivo: materia orgánica que se incorpora al ciclo natural de la materia mediante el compostaje. Sin embargo y dado lo restrictivo de esta acepción pura, extendemos la definición del reciclaje a procesos más amplios. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

Recogida selectiva. Recogida de residuos separados y presentados aisladamente por su productor.

Recuperación. Sustracción de un residuo a su abandono definitivo. Un residuo recuperado pierde en este proceso su carácter de "material destinado a su abandono", por lo que deja de ser un residuo propiamente dicho, y mediante su nueva valoración adquiere el carácter de "materia prima secundaria".

⁶¹ Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo del Ministerio de Fomento de España.

Rechazo. Resto producido al reciclar algo.

Residuo. Todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar.

Residuos peligrosos. Sólidos, líquidos (más o menos espesos) y gases que contengan alguna(s) sustancia(s) que por su composición, presentación o posible mezcla o combinación puedan significar un peligro presente o futuro, directo o indirecto para la salud humana y el entorno.

Residuos sólidos. agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje.

Residuos sólidos urbanos (RSU). Son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño).

Reutilizar. Volver a usar un producto o material varias veces sin "tratamiento", equivale a un "reciclaje directo". El relleno de envases retornables, la utilización de paleas ("paillets") de madera en el transporte, etc., son algunos ejemplos.

Tep. Abreviatura de "Tonelada equivalente de petróleo". Se utiliza como unidad energética y sirve para comparar la cantidad de energía que contiene un material como carbón, plástico, agua embalsada, etc. con la que contiene una tonelada de petróleo, es decir que el petróleo se considera como patrón de medida, la unidad. Un Tep = 11.678,8 Kwh.

Tratamiento. Conjunto de operaciones por las que se alteran las propiedades físicas o químicas de los residuos.

Triar o destriar. Seleccionar o separar diversos componentes de la basura normalmente de forma manual.

Vertido. Deposición de los residuos en un espacio y condiciones determinadas. Según la rigurosidad de las condiciones y el espacio de vertido, en relación con la contaminación producida, se establecen los tres tipos siguientes.

Vertido controlado. Acondicionamiento de los residuos en un espacio destinado al efecto, de forma que no produzcan alteraciones en el mismo, que puedan significar un peligro presente o futuro, directo o indirecto, para la salud humana ni el entorno.

Vertido semicontrolado. Acondicionamiento de los residuos en un determinado espacio, que sólo evita de forma parcial la contaminación del entorno.

Vertido incontrolado o salvaje de residuos sin acondicionar, es aquel cuyos efectos contaminantes son desconocidos.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Aiming for Sustainable Product Development: Packaging, Centre for Design at RMIT, Energy Research and Development Corporation, EcoRecycle, Australia.
- ✓ Aponte Penagos, A / Rosas Castro, P., "Propuesta de solución al problema de localización de instalaciones bajándose en la meta-heurística GRASP". Bogotá Colombia, 2009.
- ✓ Ballou, R. H., "Logística Administración de la cadena de suministros", 5ª Edición, Pearson Prentice Hall, 2004.
- ✓ Beamon, Benita M. "Designing the Green Supply Chain", *Logistics Information Management*, Vol. 12, No. 4, 1999.
- ✓ Bowersox, Donald J./Closs, David J./Cooper, M. Bixby, "Supply Chain Logistics Management" McGraw-Hill, 2002.
- ✓ Chase, Richard B/Jacobs, F. Robert/Aquilano, Nicholas J., "Operations Management for Competitive Advantage", tenth edition, MCGraw-Hill, 2004.
- ✓ Cortinas de Nava, C. Situación de los Residuos sólidos en México,
- ✓ Cruz Rivera, R. / Ertel, J., "propuesta de configuración de redes de recolección de autos al final de su vida útil en México", *Rev. Int. Contam. Ambiental* 26 (2) 135-149, 2010.
- ✓ CSCMP. Supply Chain and Logistics Terms and Glossary. Definitions compiled by Kate Vitasek. Supply Chain Visions, October 2006.
- ✓ Daskin, Mark S., "Facility Location in Supply Chain Design". Department of Industrial Engineering and Management Sciences Northwestern University, 2003
- ✓ De Brito, Marisa P./Dekker, Rommert, "A Framework for Reverse Logistics", Erasmus University Rotterdam, Report series research in management ERS-2003-045-LIS, 2003, pp 6-8
- ✓ Díaz Fernández, A /Álvarez Gil, M / González Torre, P., "Logística Inversa y Medio Ambiente: Aspectos estratégicos y operativos", McGraw Hill, 2004,
- ✓ García Olivares, A., "Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos", UNAM, 2005
- ✓ Hernández Samieri, Roberto. "Metodología de la investigación", 2ª ed., Mc Graw-Hill, México, 1998.
- ✓ Hinojosa Berjillos, Y., "Algunos Problemas en Teoría de Localización" , Universidad de Sevilla, Facultad de Matemáticas, Sevilla España, Noviembre 1999.
- ✓ Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. Instituto Nacional de Geografía e Informática / Instituto Nacional de Ecología. 2000
- ✓ Informe sobre la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, Semarnat, 2008.

- ✓ Krikke, H. R./le Blanc, H. M./van de Velde, S., "Creating Value from Returns", CentER Applied Research working paper no. 2003-02, January 2003.
- ✓ Lambert, Douglas M./Stock, James R./Ellram, Lisa M. "Fundamentals of Logistic Management" Mc Graw-Hill, 1998.
- ✓ Martínez Martínez, H., "Logística inversa: Red para la recuperación de Polietilentereftalato, en tiendas de autoservicio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". 2005.
- ✓ Mollenkopf, D. / Weathersby, H. "Creating Value Through Reverse Logistics" The Logistics Institute, Volume 9, Issue 3/4, Winter 2003-04.
- ✓ ReVelle, C.S. & Eiselt, A.H., (2005). Location analysis: A synthesis and survey. European. Journal of Operational Research, p.165 1–19.
- ✓ Revista internacional de la Nueva Gestión Organizacional, Año 5, Num. 9, Julio-Diciembre, 2009.
- ✓ Rodriguez, Jean Paul/Slack, Brian/Comtois, Claude, "Green Logistics (The Paradoxes of)", The Handbook of Logistics and Supply Chain Management, Handbooks in Transport #2, London, 2001, ISBN:0-08-043593-9
- ✓ Rogers, D.S. / Tibben-Lembke, R. S., "Going backwards: Reverse logistics trends and practices", Reverse Logistics Executive Council, 1999.
- ✓ Subramaniam, Usha/ Bhadury, Joyendu/ Peng, H. Steve, "Reverse Logistics Strategies and Implementation: A Pedagogical Survey Journal of the Academy of Business and Economics", March, 2004.
- ✓ Stock James R., "Reverse Logistics in the supply chain", Global Purchasing & Supply Chain Strategies, 2001.
- ✓ Stock James R., "The 7 Deadly Sins of Reverse Logistics", Material Handling Management, Cleveland; 2001
- ✓ Wehenpohl, G./ Hernández Barrios, C. p., "Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos". 2006.
- ✓ Zepeda Porras, F., "HDT 44: Proyecto piloto de recolección de residuos sólidos con métodos no convencionales", Perú, 1988.

MESOGRAFÍA:

- *Asociación Nacional de empresas de fabricación automática de envases de vidrio:* <http://www.anfevi.com>
- *Benita M. Beamon, Ph. D.:* <http://faculty.washington.edu/benita/papers.html>
- *Council of Supply Chain Management Professionals:* <http://www.cscmp.org>
- *Definición.Org* <http://www.definicion.org/>
- *Emerald:* <http://www.emeraldinsight.com>
- *Erasmus University Rotterdam:* <http://www.eur.nl/>
- *Escuela de Ingeniería de Antioquia:* <http://www.eia.edu.co/>
- *Gerencia de Procesos* <http://gerenciaprosesos.comunidadcoomeva.com>
- *Gestión Integral de Residuos Sólidos:* <http://www.giresol.org>
- *Gobierno del Distrito Federal:* <http://www.df.gob.mx/ciudad/residuos/>
- *Instituto Nacional de Estadística y Geografía:* <http://www.inegi.org.mx/>
- *Planeta azul, periodismo ambiental:* <http://www.planetaazul.com.mx>
- *Programa de Mejora Competitiva* <http://www.programaempresa.com/>
- *Reverse Logistics Executive Council:* <http://www.rlec.org/glossary.html>
- *Revista electrónica de ecología y medio ambiente:* <http://www.infoecologia.com>
- *Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal* <http://www.sma.df.gob.mx/>
- *ScienceDirect:* <http://www.sciencedirect.com/>