



RESUMEN

La Economía Circular ha ido ganando importancia para el desarrollo de economías de escala y sobretodo el cuidado del medioambiente. El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo para la implementación de la Logística Inversa dentro de las empresas como eje principal de esta.

El modelo para la implementación de la Logística Inversa usa como base el SCOR, el cual permite identificar los procesos y costos genéricos de un sistema de este tipo, luego se identificaron tres empresas, que hoy en día ya utilizan sistemas de Logística Inversa, para determinar el impacto de este sistema dentro de las mismas.

Como resultado se obtuvo un modelo en donde, en primera instancia, se propone conocer el producto y el mercado en el cual se va a trabajar, para luego, tomar decisiones con respecto al tipo de red que se va a utilizar (reciclaje, reutilización y re-fabricación) y quien la va a gestionar. Por último, se propone que las empresas realicen un análisis costo-beneficio en base a los procesos genéricos propuestos.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER DE INGENIERÍA AVANZADA DE
PRODUCCIÓN, LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA COMO PARTE DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES

CURSO: 2014-2015

AUTOR: ANA CRISTINA VÁSQUEZ AGUILERA

TUTORES: PEDRO GÓMEZ-GASQUET
ÁNGEL ORTIZ BAS

Valencia, febrero de 2016



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER DE INGENIERÍA AVANZADA DE
PRODUCCIÓN, LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

**MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE LOGÍSTICA INVERSA COMO PARTE DE LA
ECONOMÍA CIRCULAR**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

CURSO: 2014 – 2015

AUTOR: ANA CRISTINA VÁSQUEZ AGUILERA

TUTORES: PEDRO GÓMEZ GASQUET

ÁNGEL ORTIZ BAS

Valencia, febrero del 2016

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
INTRODUCCIÓN	ix
OBJETIVOS.....	x
1. DEFINICIONES: ECONOMÍA CIRCULAR, CADENAS DE SUMINISTRO CERRADAS Y LOGÍSTICA INVERSA	2
1.1 Economía Circular	2
1.1.1 Principios básicos de la Economía Circular	3
1.1.2 Fuentes de creación de valor en la economía circular	4
1.1.3 Gobiernos y empresas reguladoras	5
1.1.4 Puntos de fuga	7
1.2 Cadenas de Suministro Cerradas.....	11
1.3 Logística Inversa.....	14
2. PROCESOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y EL MODELO SCOR	19
2.1 Procesos de la Logística Inversa	19
2.1.1 Reciclaje.....	21
2.1.2 Reutilización.....	21
2.1.3 Re-Fabricación.....	22
2.1.4 Comparación entre los distintos tipos de procesamiento	23
2.2 El modelo SCOR	24
2.2.1 Codificación de los procesos del Modelo SCOR.....	25
2.2.2 Procesos del Modelo SCOR	26
2.2.3 Procesos de referencia de tercer nivel de Make	27
2.2.4 Procesos de Referencia de tercer nivel de RETURN.....	29
2.3 Proceso Genérico de Logística Inversa	33
2.4 Costos de la Logística Inversa.....	34
3. MODELOS DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA INDUSTRIA	38
3.1 Modelo de Logística Inversa para la Industria del Automóvil	38

3.1.1 Antecedentes de la Industria.....	38
3.1.2 Procesos de la Logística Inversa para Vehículos.....	40
3.2 Modelo de Logística Inversa para la Industria de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	50
3.2.1 Antecedentes de la Industria.....	50
3.2.2 Procesos de la Logística Inversa para Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	51
3.2.3 Costos de la Logística Inversa para Aparatos Eléctricos y Electrónicos	53
3.3 Modelo de Logística Inversa para Empaques y Envases	57
3.3.1 Antecedentes de la Industria.....	57
3.3.2 Procesos de la Logística Inversa para envases	59
3.3.2.1 Industria de los envases de bebidas en lata	60
3.3.3 Costos de la Logística Inversa de los envases de bebidas en lata	61
4. MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA BASADO EN EL SCOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	67
4.1 Modelo AS-IS de la Industria de Electrónica y Eléctrica	68
4.2 Modelo TO-BE para la implementación de Logística Inversa para la industria de aparatos electrónicos y eléctricos.....	72
4.2.1 Escenario de Reciclaje.....	79
4.2.2 Herramientas.....	82
4.2.3 Escenario Reutilización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	87
4.2.4 Herramientas.....	90
5. APLICACIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA INDUSTRIA DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	96
5.1 Análisis DAFO para la Logística Inversa de Aparatos Eléctricos.....	97
5.2 Análisis Costo-Beneficio de los procesos del Sistema de Logística Inversa.....	99
5.2.1 Escenario de Reciclaje.....	100
5.2.2 Escenario de Reutilización	104
5.2.3 Escenario mixto de Reutilización y Reciclaje	107
5.3 Conclusiones de los Análisis	110
CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Logística Directa. Fuente: adaptado de (Díaz et al., 2004)	14
Figura 2 Flujo Logístico Directo e Inverso de una Empresa. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)	15
Figura 3 Organización de una Red de Logística Inversa. Fuente: (Aït-Kadi et al., 2012)	19
Figura 4 Proceso Genérico de la Logística Inversa	20
Figura 5 El Modelo SCOR. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)	24
Figura 6 Procesos del Modelo SCOR	26
Figura 7 Procesos de Make to Stock, Make to Order y Engineer to Order.....	28
Figura 8 Procesos de Source Return Defective Product, Source Return MRO product, Source Return en Excess Product.....	30
Figura 9 Procesos de Deliver Return Defective Product, Deliver Return MRO product, Deliver Return en Excess Product.....	30
Figura 10 Sistema Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR con los procesos de Make y Return.....	33
Figura 11 Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado para Vehículos. Fuente: (Cruz-Rivera & Ertel, 2009)	38
Figura 12 Flujo de Materiales para Reciclaje y Eliminación de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida (ELV) en la Unión Europea, porcentajes para el 2015. Fuente:(Cruz-Rivera & Ertel, 2009)	40
Figura 13 Flujo de Materiales de un sistema de tratamiento de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida. Fuente: (Kumar & Putnam, 2008).....	41
Figura 14 Procesos de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida según su opción de tratamiento	42
Figura 15 Proceso Genérico de Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos	44
Figura 16 Procesos de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos.....	52
Figura 17 Red Inversa para Envases de Bebidas para Reciclaje. Fuente: (Goldsby & Closs, 2000).....	58

Figura 18 Modelo Logístico de Logifruit. Fuente: (Logifruit, 2014)	59
Figura 19 Flujo de los Envases Retornables	59
Figura 20 Proceso Inverso para el Reciclaje de Bebidas en Lata	60
Figura 21 Proceso Genérico de Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos.....	69
Figura 22 Sistemas Relacionados con la Logística Inversa. Fuente:(Dowlatshahi, 1999)	72
Figura 23 Proceso Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR para Aparatos Electrónicos y Eléctricos	74
Figura 24 Proceso Genérico de Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos	80
Figura 25 Análisis DAFO para la Logística Inversa	83
Figura 26 Características Internas y Externas del DAFO para la Logística Inversa. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2005)	84
Figura 27 Análisis DAFO para un Sistema de Logística Inversa de Reciclaje Aparatos Eléctricos y Electrónicos	85
Figura 28 Proceso Genérico de Logística Inversa para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos	87
Figura 29 Análisis DAFO para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos.....	91
Figura 30 Análisis DAFO para la Logística Inversa de una Empresa de Aparatos Eléctricos.....	98
Figura 31 Sistema de Logística Inversa para el Reciclaje de Refrigeradores	100
Figura 32 Sistema de Logística Inversa para la Reutilización de Compresores de Refrigeradores.....	104
Figura 33 Sistema de Logística Inversa para un Escenario Mixto de los Refrigeradores	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principios básicos de la Economía Circular. Adaptado: (World Economic Forum, 2014).....	4
Tabla 2 Puntos de Fuga de la Economía Circular. Adaptado: (World Economic Forum, 2014).....	8
Tabla 3: Arquetipos de las Cadenas de Suministro y Bucles. Fuente: (World Economic Forum, 2014)	13
Tabla 4 Comparación entre los distintos tipos de procesamiento. Adaptado (Thierry et al., 1995)	24
Tabla 5 Niveles del Modelo SCOR. adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)	25
Tabla 6 Procesos de primer nivel de Make. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)	27
Tabla 7 sM1, sM2, sM3 Procesos de Make. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)	28
Tabla 8 Procesos de Primer Nivel de Return. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)	29
Tabla 9 Procesos sSR1 Devolución de Productos Defectuosos a la Fuente. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)	31
Tabla 10 sDR1 Proceso de Entrega del Producto Defectuoso. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010).....	31
Tabla 11 sSR2 Proceso de Devolución de Productos MRO a la Fuente. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)	32
Tabla 12 sDR2 Proceso de Entrega de la Devolución del Producto MRO. Adaptado(The Supply Chain Council, 2010)	32
Tabla 13 sSR3 Proceso de Devolución de Producto Defectuoso a la Fuente. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)	32
Tabla 14 sDR3 Proceso de Entrega de Devoluciones del Producto en Exceso. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)	33
Tabla 15 Proceso Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR	34
Tabla 16 Ingresos y costos de los Procesos. Adaptado: (Aït-Kadi et al., 2012) ...	35

Tabla 17 Costos de la Logística Inversa según el Modelo SCOR	35
Tabla 18 Costos del Proceso Genérico de la Logística Inversa según el Modelo SCOR.....	36
Tabla 19 Costos de la Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos, cantidad recolectada: 690 unidades. Datos:(Sasikumar et al., 2010).....	46
Tabla 20 Costos de la Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos, cantidad recolectada: 750 unidades. Datos: (Sasikumar et al., 2010).....	46
Tabla 21 Costos para el Rencauche y Reciclaje de Neumáticos. Cantidad recolectada: 690 unidades. Datos: (Sasikumar et al., 2010)	47
Tabla 22 Costos para el Rencauche y Reciclaje de Neumáticos. Cantidad recolectada: 750 unidades. Datos: (Sasikumar et al., 2010).....	48
Tabla 23 Comparación de los Costos del Modelo Genérico para Neumáticos	49
Tabla 24 Costos de Reciclaje y Disposición Final de los Aparatos Electrónicos, con tasa de recolección del 50% Fuente: (Shih, 2001)	55
Tabla 25 Costos de Reciclaje y Disposición final de los Aparatos Electrónicos, con tasa de recolección del 70%. Fuente: (Shih, 2001)	56
Tabla 26 Comparación de los Costos con el Modelo Genérico para Aparatos Electrónicos y Eléctricos	56
Tabla 27 Costo Total de Latas de Aluminio Nuevas.....	62
Tabla 28 Costo Total Latas de Aluminio Recicladas	62
Tabla 29 Costos de la Logística Inversa para el Distribuidor. Fuente:(Goldsby & Closs, 2000)	63
Tabla 30 Costos de la Logística Inversa para el Retailer. Fuente:(Goldsby & Closs, 2000)	63
Tabla 31 Diferencia de Costos de Latas Nuevas y Latas Recicladas	64
Tabla 32 Comparación de Costos con el Modelo Genérico para Envases de Lata	65
Tabla 33 Beneficios de la Logística Inversa. Fuente: (Harold Krikke, Bloemhof-Ruwaard, & Van Wassenhove, 2003)	67
Tabla 34 Fuentes de Retorno. Adaptado: Reverse Logistics Executive Council ..	68

Tabla 35 Consideraciones para diseñar un Sistema de Logística Inversa. Fuente:(Stock & Lambert, 2001)	68
Tabla 36 Descripción de los procesos y costos del modelo genérico basado en el SCOR.....	70
Tabla 37 Interacciones de los Sistemas con la Logística Inversa. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)	73
Tabla 38 Costos del Proceso Genérico de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos	75
Tabla 39 Características del Producto y Mercado para un Sistema de Logística Inversa. Fuente:(H Krikke, 2003).....	76
Tabla 40 Sistema de Logística Inversa según la Opción de Gestión. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003).....	77
Tabla 41 Características de los Sistemas de Logística Inversa según quien lo realiza. Fuente:(Rubio Lacoba, 2003)	78
Tabla 42 Costos de la Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos	81
Tabla 43 Beneficios Económicos de la Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos	82
Tabla 44 Análisis Costo-Beneficio para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos.....	86
Tabla 45 Costos de la Logística Inversa para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos	89
Tabla 46 Beneficios Económicos de la Logística Inversa para la Reutilización y el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos.....	90
Tabla 47 Análisis Costo Beneficio de la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos.....	92
Tabla 48 Comparación de los Sistemas de Logística Inversa para el Reciclaje y Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos	93
Tabla 49 Fuentes de Retorno de Aparatos Electrónicos	96
Tabla 50 Características del Producto y Mercado para un Sistema de Logística Inversa. Fuente: (H Krikke, 2003).....	97
Tabla 51 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio del Reciclaje	101

Tabla 52 Análisis de Costos del Sistema de Logística Inversa para el Proceso de Reciclaje.....	102
Tabla 53 Composición de un Frigorífico con sus precios por kilogramo. Fuente: (Izard Garcia, 2011)	103
Tabla 54 Precios Unitarios de los Componentes de un Frigorífico para el Reciclaje.....	103
Tabla 55 Análisis de Beneficios del Reciclaje de Frigoríficos.....	104
Tabla 56 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio de la Reutilización de Compresores.....	105
Tabla 57 Análisis de los Costos de la Logística Inversa para la Reutilización de Compresores en Frigoríficos	106
Tabla 58 Análisis de los Beneficios de la Reutilización de Compresores.....	107
Tabla 59 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio del Reciclaje y Reutilización	108
Tabla 60 Análisis de Costos de la Logística Inversa para el Reciclaje y Reutilización.....	109
Tabla 61 Análisis de los Beneficios del Reciclaje y la Reutilización, tasa de reciclaje y reutilización: 50%	109

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la importancia de la Logística Inversa como parte fundamental de la Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado y de la Economía Circular. Se puede decir que la Logística Inversa es el motor principal para el cambio de un sistema lineal a otro circular, además el hilo conductor que une el fin de la cadena con un nuevo inicio. Dentro de esta investigación se expone a la Economía Circular y su importancia tanto económica como medioambiental y la necesidad de sistemas eficientes que permitan a las empresas obtener los máximos beneficios, además se caracteriza a las Cadenas de Suministro de ciclo cerrado y por último la Logística Inversa y todas las implicaciones que conlleva implementar un sistema de esta índole.

La Economía Circular representa grandes cambios en las empresas y en su logística, por lo tanto es importante que se conozcan todos los beneficios y costos que esto conlleva. Las empresas deben dejar de pensar localmente y pensar a nivel global, es decir visualizar todos los efectos que causan sus productos en el medio ambiente y los beneficios que se podrían obtener si estas redes inversas se gestionan de la manera eficiente.

La gestión de las redes inversas es muy complicada y se deben considerar factores adicionales al de las redes directas como es la recolección de los productos de fin de ciclo de vida punto en el cual el cliente es el actor principal, por otro lado es importante la estandarización de los materiales que contienen los productos para su posterior gestión, es decir la logística inversa debe ser considerada desde el momento en el que el producto diseña, es decir nace.

La decisión de las empresas de implementar un sistema de logística inversa debe considerar los costos y los beneficios que este genera, además se debe tomar en cuenta los cambios que se deben realizar en los procesos productivos para reutilizar tanto materiales como componentes. El modelo SCOR presenta pautas genéricas de los procesos de reciclaje, reutilización y re-fabricación pero no son suficientes para caracterizar un proceso inverso aplicado a una industria en concreto, por lo tanto en este trabajo de investigación se presenta el modelo SCOR complementándolo con procesos característicos de varias industrias en concreto la automotriz, la electrónica y eléctrica y la industria de los empaques y envases.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un modelo para la implementación de un Sistema de Logística Inversa dentro de una empresa como parte fundamental de la Economía Circular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los conceptos de Economía Circular, Cadenas de Suministro Cerradas y Logística Inversa.
- Establecer los procesos característicos de la Logística Inversa complementándolos con el modelo SCOR.
- Caracterizar diferentes modelos de Logística Inversa con sus procesos, costos y beneficios propios de varios sectores de la industria.
- Elaborar y aplicar un modelo para la implementación de la Logística Inversa de la industria de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

CAPÍTULO 1

DEFINICIONES DE ECONOMÍA CIRCULAR, CADENAS DE SUMINISTRO CERRADAS Y LOGÍSTICA INVERSA

1. DEFINICIONES: ECONOMÍA CIRCULAR, CADENAS DE SUMINISTRO CERRADAS Y LOGÍSTICA INVERSA

En este capítulo se presenta un estado del arte de la Economía Circular, las Cadenas de Suministro Cerradas y la Logística Inversa, además se describe la importancia de estas para las empresas y su sostenibilidad a largo plazo, además de los beneficios para la sociedad y el medio ambiente.

1.1 Economía Circular

El futuro global económico y medioambiental se encuentra relacionado íntimamente con el uso racional de los recursos, según (Lett, 2014), los informes del Foro Económico Mundial indican escenarios de escasez de energía, el aumento de la población global con alto valor de la materias primas y una creciente brecha económica entre clases sociales y países pobres y ricos, el aumento del calentamiento global y el impacto de las catástrofes climáticas, las cuales se encuentran íntimamente ligadas con el uso irracional de los recursos.

De esta manera, es urgente realizar cambios para evitar el colapso de los recursos y alcanzar una economía sostenible a largo plazo mediante un modelo de economía circular que implica un rediseño de las industrias y del funcionamiento de la sociedad en sí.

El origen de la Economía Circular se encuentra en debate, ciertamente la idea ha existido por largo tiempo. En el año 1848, el primer presidente de la Real Sociedad de Química declaró: “una fábrica ideal de productos químicos no debe tener desperdicios, solo productos, cuanto mejor uso se haga de los desperdicios, mejor será la fábrica y los beneficios” (Murray, Skene, & Haynes, 2015)

Según (Liu, Li, Zuo, Zhang, & Wang, 2009), el concepto de Economía Circular es originario de China, este fue propuesto por los académicos en el año de 1998 y aceptado formalmente por el gobierno en el 2002 como una nueva estrategia de desarrollo teniendo como objetivo principal la protección del medio ambiente, la prevención de la contaminación y el desarrollo sostenible.

El concepto de Economía Circular se apoya en fundamentos de la escuela ecologista y propone un cambio al paradigma “reducir, reutilizar, reciclar” para una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente. Este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio, sea este de naturaleza orgánica o de origen tecnológico, en un modelo cíclico que imita a la naturaleza y se conecta con ella. Bajo este enfoque, el residuo pierde su condición de tal y se convierte en la materia prima de los ciclos naturales o se transforma para formar parte de nuevos productos tecnológicos, con un mínimo gasto energético. (Lett, 2014)

El reporte del Foro Económico Mundial del 2014 plantea el concepto Economía Circular como:

“Un sistema industrial que es restaurativo o regenerativo por intención y por diseño”. Se reemplaza el concepto de fin de ciclo de vida mediante la restauración a través del uso de energía renovable, eliminación del uso de químicos tóxicos que perjudican la reutilización y regresan a la biosfera y apunta a la eliminación del desperdicio a través de un diseño superior de los materiales, productos, sistemas y modelos de negocio.

Las palabras “restaurativo o regenerativo” tiene gran importancia dentro del concepto de Economía Circular debido a que esta no trata únicamente de la reducción o prevención de la contaminación sino también de reparar los daños causados anteriormente. El sistema de “Economía Circular” se basa en mejorar los diseños de los productos y servicios para optimizar el uso de los recursos.

Según (Murray et al., 2015), la Economía Circular representa el intento más reciente para conceptualizar la integración entre la actividad económica y el bienestar ambiental de una manera sustentable, los autores proponen como definición de Economía Circular al siguiente concepto:

“Un modelo económico en donde la planificación, el abastecimiento, la producción y los reprocesos están diseñados y gestionados, ya sea como procesos o como salidas, para maximizar el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano”.

El modelo que plantea la “Economía Circular” implica una nueva forma de hacer las cosas, desde la explotación de la materia prima, el diseño, la fabricación, las redes de distribución de los productos (tanto directas como inversas), el uso de los recursos energéticos, en donde se reduce la brecha entre el uso de la materia prima y los residuos que se obtienen luego del ciclo de vida de los productos. La Economía Circular es un concepto que permite disociar el crecimiento con las limitaciones de los recursos.

El concepto circular fomenta la generación de riqueza y empleo en el contexto de un uso inteligente de los recursos. Modelos de negocio circulares obtendrán ventajas competitivas cada vez mayores en los próximos años, debido a que se crea más valor de cada unidad de recurso que el modelo tradicional lineal 'take make-dispose'. (World Economic Forum, 2014)

1.1.1 Principios básicos de la Economía Circular

Según el Foro Económico Mundial, la Economía Circular está fundamentada en los siguientes principios:

Principios básicos de la Economía Circular

<p>1. Diseños eficientes de los productos: está basado en realizar diseños que apunten a la eliminación de desperdicios, desmontables y reutilizables.</p>	<p>2. Diferenciación de los materiales: este principio está basado en una estricta diferenciación de los materiales y los componentes de los productos tanto consumibles como duraderos.</p>	<p>3. Uso de energía renovable: el uso de energía renovable para reducir la dependencia de los recursos y aumentar la capacidad de recuperación de sistemas.</p>
---	---	---

Tabla 1 Principios básicos de la Economía Circular. Adaptado: (World Economic Forum, 2014)

1.1.2 Fuentes de creación de valor en la economía circular

Estos tres principios básicos conducen a oportunidades de arbitraje, es decir, obtener diferenciación en los precios entre los materiales usados y los materiales vírgenes.

- **El poder del círculo interno o inner circle:** Se refiere a minimizar los materiales que se utilizan frente al sistema de producción lineal. Cuanto más apretado el círculo, el producto tiene que ser menos cambiado en la reutilización, remodelación y re-fabricación y más rápido se vuelve a utilizar.
- **El poder de las vueltas más largas o circling longer:** se refiere a maximizar el número de ciclos consecutivos, ya sea mediante reparación, re-fabricación o reutilización y/o al tiempo de cada ciclo.
- **El poder del uso de los materiales en cascada:** se refiere a la diversificación de la reutilización de los materiales a través de la cadena de valor, es decir cuando la ropa de algodón se vuelve a utilizar como ropa de segunda mano, y luego cruza a la industria del mueble como relleno en tapicería en reemplazo a una entrada de materiales vírgenes.
- **El poder de entradas puras:** radica en el aumento de la recogida y redistribución del material no contaminado, manteniendo la calidad esto a su vez extiende la longevidad del producto y por lo tanto aumenta la productividad material.

Los principios definidos anteriormente aumentan la productividad de los materiales y a medida que se utilicen en determinada industria sus beneficios se harán cada vez más evidentes y se reducirá significativamente la explotación de nuevos recursos.

1.1.3 Gobiernos y empresas reguladoras

La preocupación de los gobiernos por el agotamiento de recursos, los crecientes problemas medio ambientales que la explotación de los recursos conlleva, ha obligado a tomar medidas regulatorias. Manifiesto de la Comisión Europea para una Europa que utilice eficazmente los recursos emitida en diciembre de 2012:

"En un mundo con una creciente presión sobre los recursos y el medio ambiente, la UE no tiene más remedio que ir a por la transición a una economía eficiente en recursos y, en definitiva regenerativa circular. Nuestros puestos de trabajo y competitividad futuras, como un gran importador de recursos, dependen de nuestra capacidad de obtener más valor añadido, y lograr el desacoplamiento total, a través de un cambio sistémico en el uso y recuperación de los recursos en la economía".(World Economic Forum, 2014)

Varios gobiernos en todo el mundo han comenzado a proporcionar estímulos positivos y recompensas para la adopción de modelos de negocio circulares. Los gobiernos han establecido precios más altos para productos con ciclo de vida lineal especialmente en rellenos sanitarios y recuperación de energía. Además han aumentado las oportunidades de arbitraje mediante opciones alternativas, por ejemplo en el uso de energías renovables.

Unión Europea

Según el informe del Foro Económico Mundial, en la Europa de hoy, las medidas de economía circular se pueden encontrar en diversas políticas medioambientales y económicas. La UE ha establecido objetivos de las políticas relacionadas con los recursos que se extienden al 2050 como parte de su estrategia Europa 2020. En muchos casos, estos objetivos están acompañados de metas e indicadores pertinentes para seguir la implementación.

En diciembre del 2014, el Parlamento Europeo adoptó el comunicado realizado por la Comisión Europea: Hacia la Economía Circular: un programa de cero desperdicios para Europa, y aunque existe resistencia por parte de algunos negocios, la adopción fue llevada a cabo. La intención para este tipo de enfoque es:

- Impulsar el reciclaje y prevenir la pérdida de materiales valiosos
- Crear puestos de trabajo y crecer económicamente
- Mostrar que los nuevos modelos de negocio, el eco diseño y la simbiosis industrial pueden avanzar hacia cero residuos, reducir las emisiones del efecto invernadero y los impactos ambientales. (Murray et al., 2015)

Los estados miembros de la Unión Europea han aumentado los costos de rellenos para el área de la construcción y demolición, lo cual ha impulsado la tasa de

reutilización y reciclaje de hormigón, madera y otros materiales de construcción, así como la mejora de los procesos de construcción para reducir los desperdicios.

En el Informe de Indicadores Ambientales de 2012, la Agencia Europea de Medio Ambiente realizó su primer análisis de los avances, parece sugerir que Europa ha logrado avances significativos en la mejora de eficiencia de los recursos, la calidad del aire, el uso del agua y el reciclaje.

Japón

Otro ejemplo de regulaciones gubernamentales para la aceleración de la economía circular es el caso de Japón, principalmente debido a que siempre ha tenido escasez de productos naturales, lo que le lleva al país a depender de las importaciones de energía.

Los japoneses han elegido tres enfoques:

1. Realizaron ajustes estructurales para reducir la dependencia del petróleo y optimizar la estructura industrial para mejorar la eficiencia de la utilización de la energía dentro de las industrias.
2. El segundo paso implicó la elaboración de regulaciones medio ambientales para la gestión de los residuos.
3. Como tercer enfoque, Japón realizó campañas de sensibilización y educación pública para aumentar la participación de la sociedad en los cambios.

Algunos ejemplos son la Ley para la Promoción del Uso Eficiente de los Recursos, ratificada en el año 2000 y dirigida a minimizar los residuos por tanto los productores como los consumidores, la ley cubre todo el ciclo de vida del producto desde aguas arriba hasta aguas abajo. La Ley de Re-utilización de Automóviles que han llegado al fin de su ciclo de la vida, que entró en vigor en 2002, también tuvo implicaciones significativas. Toda persona que compra un vehículo nuevo debe pagar un cargo de reciclaje en el momento de la compra. Todos los concesionarios y talleres de reparación actúan como recolectores de vehículos, estos a su vez los entregan a los trituradores que actúan como recicladores de vehículos. (World Economic Forum, 2014)

El AEHA (Asociación par Electrodomésticos Eléctricos) ha ideado un pasaporte para los electrodomésticos que se usan en casa con una masa permitida de 100grs de plástico, estándares y normas para el fácil desmontaje y separación, requerimientos químicos específicos y etiquetado, baterías recargables compactas y embalaje adecuado para el contenedor.

Este enfoque triple que Japón ha adoptado ha tenido bastante éxito, la tasa de reciclaje del metal es del 98%, mientras que, según datos del 2007, solo el 5% de los residuos en Japón terminan en un vertedero. La mayoría de los aparatos

electrónicos/productos eléctricos son reciclados y hasta un 89% de los materiales que contienen se recuperan. (World Economic Forum, 2014)

La idea de la economía circular es parte de la cultura y educación de los japoneses, lo que garantiza el éxito del modelo además de poner a este país como el líder dentro de la economía circular.

China

China es el país que se encuentra más avanzado en la adopción y el desarrollo de la Economía Circular, teniendo ya desarrollado un ambicioso proyecto de aplicación y seguimiento de la implementación del modelo en el año de 1973, cuando la Primera Conferencia Nacional para Protección del Medioambiente formuló políticas y directrices. (Murray et al., 2015)

Para demostrar la aplicabilidad y la eficiencia de estos proyectos, el estado chino realizó inversiones sustanciales en proyectos orientados a la economía circular, incluyendo la aplicación de sistemas de producción más limpia en sectores específicos y desarrollos eco industriales tanto municipal como regionalmente.

China realizó un plan para 5 años para promover la producción más limpia, la reducción de la contaminación y el control de desperdicios. En el 2009, la Ley de la Economía Circular se hizo efectiva, con el objetivo de mejorar la eficiencia de utilización de los recursos, proteger el medio ambiente dando como resultado desarrollo sustentable para el país. La promulgación de la ley está diseñada para influenciar el comportamiento en todos los niveles, desde el nivel micro o individual al nivel macro o nacional, mediante la promoción de ciudades ecológicas y la producción y el consumo responsable, con el fin de promover sociedades orientadas al reciclaje. (Murray et al., 2015)

1.1.4 Puntos de fuga

Los puntos de fuga se refieren a las barreras que la economía circular puede encontrar para cerrar los ciclos de materiales, tanto en flujos de productos como en materiales fragmentados.

Puntos de fuga	Pérdidas debido a la dispersión geográfica		
	Taxonomía de las cadenas de suministro	Bucles cerrados geográficamente	Bucles cerrados locales o regionales Bucles cerrados globales
		Bucles geográficos parcialmente abiertos	
		Cascadas abiertas	
		Cadenas abiertas o lineares	
	Complejidad y proliferación de materiales		
	Atrapados en un sistema lineal	Incentivos no alineados	
		Mercados de escala	
		Capacidades e infraestructura inversas limitadas	
		Falta de facilitadores	

Tabla 2 Puntos de Fuga de la Economía Circular. Adaptado: (World Economic Forum, 2014)

A. Pérdidas debido a la dispersión geográfica

Los productos en su mayoría se encuentran compuestos por varios tipos de materiales y componentes con materias primas provenientes de distintos países. La globalización ha creado un crecimiento económico mediante la maximización de las oportunidades de arbitraje de materiales y costos de los productos. Para la economía circular, la dispersión geográfica deberá ser analizada en todos los niveles para cerrar los bucles de la cadena de suministros. (World Economic Forum, 2014)

La economía circular se basa en el cierre de bucles tanto para los materiales como para los productos para crear flujos balanceados y estables. Existen ejemplos exitosos y rentables a nivel de empresa, pero a nivel global, las configuraciones de la cadena de suministro son cada vez más complejas y frágiles.

B. Taxonomía de las cadenas de suministro y bucles actuales

El valor de los productos que alcanzan el fin de su primer ciclo de vida se encuentra sujeto a la distancia y a los costos de transporte. Según el Foro Económico Mundial se determinaron 4 tipos de cadenas de suministro:

1. Bucles cerrados geográficamente:
2. Bucles geográficos parcialmente abiertos
3. Cascadas abiertas geográficamente
4. Cadenas lineares abiertas “take, make, dispose”

C. Fugas debido a la complejidad y proliferación de materiales

La proliferación de materiales se ha dado debido a la continua búsqueda de las empresas por generar una mayor creación de valor en sus materiales y productos, un ejemplo común es la gran variedad de plásticos que existen hoy en día en la industria, la mayoría de estos creados por la combinación de varios polímeros con químicos para agregar características como resistencia al calor, resistencia a impactos, etc.

Esta complejidad de los materiales hace difícil e incluso muy costoso para los fabricantes desarrollar procesos para la separación de las materias primas, además estos procesos no aseguran la calidad y la pureza de los mismos, convirtiéndose esta característica en un punto de fuga o un limitante para el desarrollo de la economía circular.

La proliferación de materiales ha convertido en un verdadero desafío la implementación de la economía circular y esta continua en aumento debido a la necesidad de creación de nuevos materiales como respuesta a la escasez de otros. Hacer frente a este reto requerirá esfuerzos conjuntos a través de los ciclos inversos de las diferentes industrias. La mejora de un material muy probablemente tendrá efectos positivos en otro.

D. Atrapado en un sistema lineal

Algunas barreras adicionales necesitan ser superadas para escapar de un sistema lineal. Las barreras más importantes caen sobre cuatro principales objetivos: (World Economic Forum, 2014)

1. Incentivos no alineados
2. Mercados de escala
3. Capacidades inversas e infraestructura limitadas
4. Falta de facilitadores en la transición

1. **Incentivos no alineados:** Ocurren cuando las empresas miembros de la cadena de suministros no persiguen los mismos objetivos
2. **Mercados de escala:** Estos mercados crean valor porque son confiables y capaces de proveer materiales, componentes y productos y de responder a las fluctuaciones de la demanda. Sin embargo, estos mercados a escala industrial aún no existen para muchos materiales adecuados para ciclos inversos, lo que hace difícil para las empresas asegurar el suministro de materiales secundarios para complementar o reemplazar las existencias primarias.
3. **Capacidades inversas de infraestructura y logística:** son esenciales para cerrar el ciclo entre los puntos de producción, uso y re-fabricación.

- 4. Falta de Facilitadores en la transición:** se necesitan facilitadores en varias áreas para hacer el camino para nuevos modelos circulares. Muchas empresas han adoptado modelos de negocio de acceso sobre la propiedad para cambiar la mentalidad de los consumidores y beneficiarse del uso de la capacidad ociosa.

La cantidad de puntos de fuga y las barreras que existen en la economía circular determinan la velocidad de implementación del modelo. Se deben buscar soluciones a los principales problemas como es la dispersión geográfica, la complejidad y la gran cantidad de materiales y romper con el esquema típico del sistema lineal “take, make, dispose”.

Soluciones a los puntos de fuga

Los obstáculos de una economía circular son los puntos de fuga y barreras que evitan que se cierre el ciclo de los materiales, por lo tanto es importante superar estos puntos para acelerar la implementación del modelo circular. El Foro Económico Mundial propone las siguientes soluciones:

- Configurar redes inversas globales de productos y componentes
- Establecer un sistema de escala
- Reorganizar y racionalizar los flujos de materiales puros
- Innovar modelos de negocio en el lado de la demanda

a. Configurar redes inversas globales

Este punto se centra en crear cadenas de suministro inversas eficientes para vencer la dispersión geográfica. Las redes inversas tanto de materiales como de productos son de igual importancia que las directas y deben tener la misma eficiencia y rentabilidad para que los beneficios de la economía circular se hagan visibles.

b. Establecer un sistema a escala

Para establecer un sistema a escala es importante que las compañías trabajen con sus socios en los diferentes ciclos directos e inversos, es importante que todos evalúen las oportunidades de arbitraje. La obtención de valor de los flujos inversos de productos depende del diseño eficiente de la red inversa, que debería tener la misma sofisticación que las redes de suministro directas.

c. Reorganizar y racionalizar los flujos de materiales puros

El objetivo de la economía circular es cerrar los bucles en un nivel global a través de los stakeholders, industrias y diferentes geografías; para obtener

los beneficios del cierre de bucles los flujos de materiales que son puros deberán realizarse mediante cambios en toda la cadena de suministros y en todas las industrias para contribuir a la protección de los materiales puros.

d. Innovar modelos de negocio en el lado de la demanda

La modificación de los modelos de negocio es un aspecto clave para la superación de problemas de dispersión geográfica y de pérdida de calidad. Los nuevos sistemas deberán facilitar el acceso a los productos, componentes, materiales dentro de los bucles y post-uso, estos modelos deberán integrar relaciones B2B y B2C y captar de la mejor manera el valor generado por el nuevo sistema circular.

1.2 Cadenas de Suministro Cerradas

La velocidad de desarrollo de la Economía Circular depende de la creación de Cadenas de Suministro Circulares o Cerradas, cada vez es más la necesidad de implementar sistemas sostenibles que cierren los ciclos de producción y hagan uso eficiente de los recursos anticipándose a las necesidades medioambientales y facilitando los ciclos inversos.

Las cadenas de suministro son la unidad fundamental de actuación para el correcto funcionamiento de la economía circular, y actuarán como impulsadoras del cambio. En su manifestación más extrema, la economía global es una cinta transportadora masiva de materiales y de energía de los países ricos en recursos a la casa de máquinas de fabricación China, y luego a los mercados de destino en Europa y América, donde se depositan los materiales. (World Economic Forum, 2014)

Cada vez más son los fabricantes que están desarrollando sistemas de producción y distribución viables que facilitan la re-fabricación de los productos usados en paralelo con la producción de nuevas unidades. (Savaskan, Bhattacharya, & Van Wassenhove, 2004)

Para entender el concepto de Cadena de Suministro, es necesario realizar una clara diferenciación con el concepto de Logística, la cual es entendida como: “el proceso de planeación, instrumentación y control eficiente, efectivo para el almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo final de acuerdo con los requerimientos del consumidor”, según (Jiménez Sánchez & Hernández García, 2002)

Por otro lado, a una Cadena de Suministro se le entiende como la integración de los procesos de aprovisionamiento, producción y distribución formando una red de empresas, convirtiendo al fabricante como cliente de las empresas proveedoras y

esta a su vez como proveedora de los distribuidores y mayoristas, y así de los minoristas y clientes. Por lo tanto, a una Cadena de Suministro se le entiende como una red de múltiples relaciones entre diferentes unidades de negocio.

Consecuentemente, se puede decir que la Logística es el hilo que une las operaciones pertenecientes a la Cadena de Suministro, además de la administración de los materiales e información a través de la empresa.

A continuación se presentan algunas definiciones de Cadena de Suministro:

- La cadena de suministro es la entrega al cliente de valor económico por medio de la administración sincronizada del flujo físico de bienes con información asociada de las fuentes de consumo. (La Londe & Masters, 1994)
- La cadena de suministro involucra todas las actividades asociadas con la transformación y el flujo de bienes y servicios, incluidos el flujo de información, desde las fuentes de materia prima hasta los consumidores. Para una coordinación continua existe la necesidad de poder medir, identificar y capturar los grandes beneficios y costos de la cadena creando mecanismos para distribuir la información y ganancias de la colaboración a todos los miembros de la misma. (Ballou, 2004)
- La cadena de suministro es la red de organizaciones que están involucradas a través de uniones aguas arriba y aguas abajo en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios para los clientes finales.(Christopher, 1998)

Por lo tanto, las Cadenas de Suministro son elementos fundamentales para la Economía Circular, debido a que integran toda la red de proveedores, fabricantes, distribuidores, minoristas y clientes facilitando el cierre de los ciclos de producción para pasar de una economía lineal a una circular en donde la reutilización, la re-fabricación y el reciclaje son la clave para un modelo económico sostenible a largo plazo.

Las Cadenas de Suministro dentro de la Economía Circular juegan un papel fundamental. Las cadenas deben determinar los puntos de fuga de materiales y romper con las barreras que se presentan para la incorporación de materiales a los flujos circulares dentro de una economía globalizada.

Según el informe del Foro Económico Mundial: “Towards Circular Economy: Accelerating the scale up across global Supply Chains” publicado en enero del 2014, el manejo de las cadenas de suministro circulares requieren la comprensión de las tres barreras principales en un modelo circular:

1. La dispersión geográfica
2. La complejidad de los materiales
3. El bloqueo lineal

Clasificación de las Cadenas de Suministro

El Foro Económico Mundial ha propuesto una clasificación de las Cadenas de Suministro de acuerdo a los tipos de materiales y componentes que las mismas manejan, de esta manera se asientan guías para la implementación de la Economía Circular. En la siguiente gráfica se muestra esta clasificación, con las principales características, puntos de fuga de materiales y ejemplos de casos de distintas empresas:

	China ¹	Europe ²	Description	Case examples
1 Closed global/ local/ regional loop			Global closed loops <ul style="list-style-type: none"> End-of-use products or components are collected and returned to the countries where they were manufactured to be used in production of the same or similar products, largely at recycled material level 	Flooh used plastics return H&M respinning of fibres for jeans Airplane jet engines for reuse
			Regional closed loop <ul style="list-style-type: none"> Products are mostly maintained in countries where usage takes place Some end-of-use/pre-owned products are collected, re-engineered/remanufactured regionally, and sold into local markets 	SAB Miller bottled beer distribution Desso closed-loop carpet tile
2 Partially open local/ regional loop			<ul style="list-style-type: none"> End-of-use products or components are collected and returned to manufacturing facilities in the same regions to be used in the production of the same or similar products 	Renault engine and gearbox refurbishment B&Q power drill repairs
3 Open cascade			<ul style="list-style-type: none"> For some valuable products, end-of-use materials are collected and sold to secondary markets, where material flows/end-of-use are not regulated, resulting in significant leakages 	Brightstar used mobile phone distribution t:CO sale of used clothes
4 Linear			<ul style="list-style-type: none"> End-of-use products are discarded in landfills or incinerators of countries where consumption takes place 	Relevant for 80% of materials used in FMCGs

¹ Or other manufacturing countries; ² Analogous to the US and other importing regions
 Source: World Economic Forum and Ellen MacArthur Foundation circular economy team

Tabla 3: Arquetipos de las Cadenas de Suministro y Bucles. Fuente: (World Economic Forum, 2014)

1. Bucles cerrados geográficamente: estos bucles se benefician de grandes cantidades de materiales y componentes que han sido regresados desde su punto de uso hasta el punto de manufactura para reducir la cantidad requerida de materia prima virgen.

- **Bucles cerrados locales y regionales:** se basan en la proximidad entre el punto de uso y el punto de fabricación. Las cadenas de suministro pueden realizarse con bajos costos logísticos y sin tener que cruzar fronteras internacionales.
- **Bucles cerrados globales:** para que estos bucles sean viables se requiere que los productos tengan un alto valor, como por ejemplo; la reutilización del motor de un avión. Debido al bajo costo del transporte, el reciclaje puede realizarse de forma global, representando a los bucles externos de la economía circular como una oportunidad de arbitraje. A medida que el costo de las materias primas aumenta, los bucles cerrados globales irán mejorando, junto con la eficiencia de las cadenas de suministro inversas y el transporte marítimo internacional.

2. Bucles geográficos parcialmente abiertos: este tipo de bucle tiene una cadena suministro parcialmente lineal (es decir, extracción de materias primas para la fabricación de productos), seguido de bucles cerrados regionales o locales para el mantenimiento y re-fabricación, o la recolección de componentes locales.

3. Cascadas abiertas geográficamente: una vez que los productos cumplen su ciclo de vida inicial, los productos, componentes y materiales son trasladados a diferentes mercados o segmentos.

4. Cadenas lineares abiertas “take, make, dispose”: este tipo de cadena de suministro es la más común todavía. Una vez que los productos son utilizados son desechados en vertederos..

1.3 Logística Inversa

La Logística Inversa (LI) es una parte importante de las Cadenas de Suministros debido a que es el flujo de retorno de los materiales desde los clientes, para definir a la Logística Inversa es importante iniciar con el concepto de Logística Directa (LD):

Según (Díaz, Álvarez, & González, 2004); la Logística Directa consiste en organizar adecuadamente todo el proceso desde la extracción de materias primas hasta la entrega del producto terminado al cliente en el lugar apropiado, el momento oportuno y el modo adecuado, como se muestra en la siguiente figura:

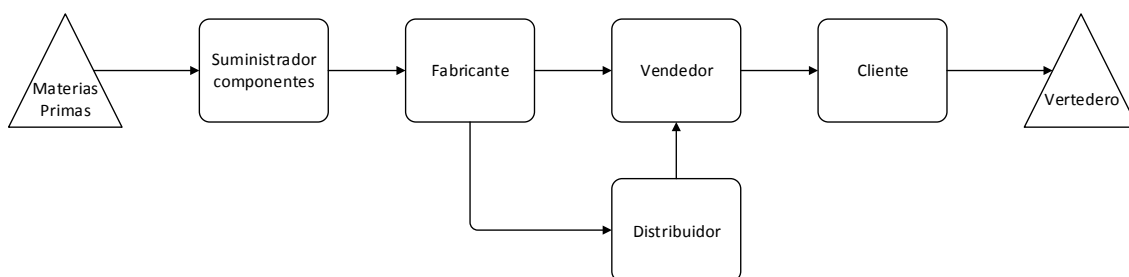


Figura 1 Logística Directa. Fuente: adaptado de (Díaz et al., 2004)

Por lo tanto, se puede decir que la Logística Directa incluye todos los procesos necesarios para que los productos y servicios lleguen al cliente. Por el contrario, la Logística Inversa corresponde al flujo de materiales desde el cliente hasta el punto en el que los productos fuera de uso son recuperados. A continuación se muestran algunos conceptos de Logística Inversa:

- La Logística Inversa puede referirse al conjunto de actividades logísticas necesarias para recuperar y aprovechar económicamente los productos fuera de uso. La recuperación económica requiere el diseño, desarrollo y control eficiente de un sistema logístico capaz de recoger el producto fuera de uso y conducirlo hasta el recuperador, el cual aplicará la opción de gestión más adecuada para un óptimo aprovechamiento. Este sistema

logístico fluye en sentido contrario al existente en los sistemas logísticos tradicionales, de productor hacia consumidor (Rubio Lacoba, 2003)

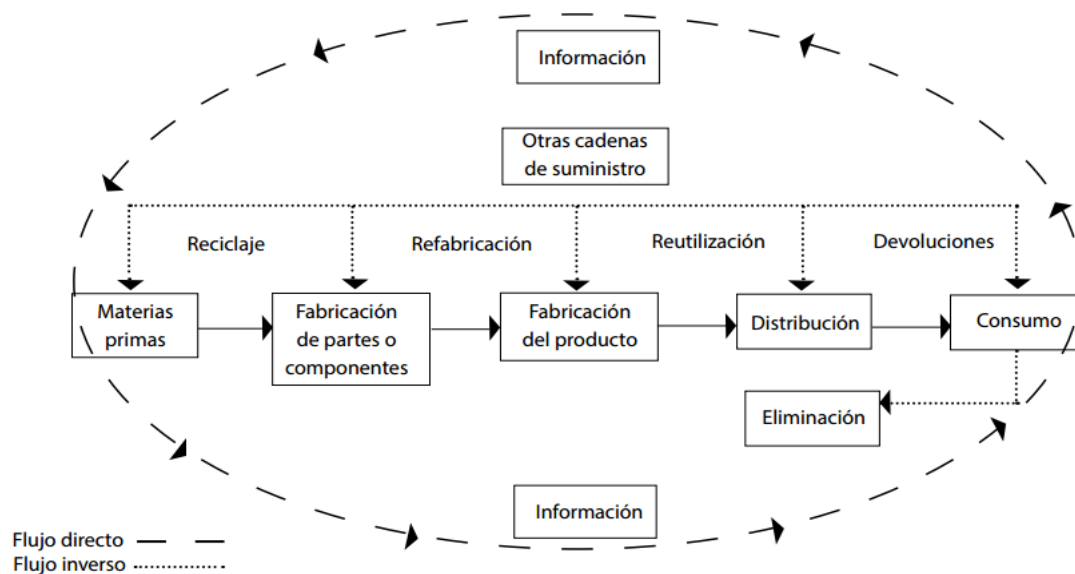


Figura 2 Flujo Logístico Directo e Inverso de una Empresa. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)

- Según (Herrán, Orbegozo, & Merino, 2002) define a la Logística Inversa como el proceso para la reutilización y el reciclaje de materiales, lo cual en la actualidad se ha convertido en las principales cuestiones de muchas industrias. En términos económicos, la Logística Inversa se presenta como una oportunidad estratégica para las empresas. Las actividades propias de la Logística Inversa son consideradas como actividades de valor estratégico y con un potencial de crecimiento significativo.
- Según (Thierry, Salomon, Van Nunen, & Van Wassenhove, 1995), aborda la Logística Inversa bajo el concepto de Gestión para la Recuperación de Productos de la siguiente manera: “La gestión de todos los productos, componentes y materiales usados o descartados caen dentro de la responsabilidad de la empresa de fabricación. El objetivo de la Gestión para la Recuperación de Productos es el de recuperar la mayor cantidad valor económico y ecológico como sea razonablemente posible, reduciendo así la cantidad de residuos provocados”.
- El proceso de planificar, implementar y controlar eficientemente el flujo efectivo de materias primas, inventario semi procesado, bienes terminados e información referida a los mismos, desde el punto de consumo al punto de origen con el objetivo de obtener valor o su correcta descomposición. (Tibben-Lembke & Rogers, 2002)

Por lo tanto, la Logística Inversa se ocupa del flujo de materiales desde los consumidores hacia el punto en donde los productos van a ser gestionados. Los flujos inversos de materiales son claves para las Cadenas de Suministro circulares y la Economía Circular debido a que permiten la recuperación de los productos para su gestión, es decir para su reciclaje, re-fabricación o re-utilización.

Clasificación de la Logística Inversa según el Tipo de Gestión

(Mortiz Fleischmann, Krikke, Dekker, & Flapper, 2000) proponen la siguiente clasificación de la Logística Inversa según el tipo de gestión a realizarse en los productos que llegan a su fin de ciclo de vida:

1. Redes para el Reciclaje

- Sistema simple, centralizado
- Estandarizado
- Productos de escaso valor y poca tecnología
- Recuperación del material de productos fuera de uso
- Los productos una vez reciclados son utilizados en un mercado diferente
- Los productos reciclados pierden su identidad original durante el proceso de reciclaje

Ejemplo: Reciclaje de arena, de vidrio, papel, cartón, latas

2. Redes para la Re-fabricación de productos

- Recuperación de partes y componentes de productos con alto valor añadido, de manera que los nuevos productos realizados con componentes recuperados sea la misma que la de los productos con componentes originales
- Red multinivel, de carácter descentralizado, para la que se suelen buscar sinergias con el canal directo.
- Producto alto valor añadido y alta tecnología
- El proceso presenta elevados costos operativos
- La re-fabricación de productos ocasiona costos un 30% a 50% inferiores a los originales.
- Se obtiene productos de la misma calidad que los originales

Ejemplos: Fotocopadoras, teléfonos móviles, cámaras fotográficas

3. Redes de Productos Reutilizables

- Los productos recuperados se reintroducen en la cadena de suministro una vez realizadas las necesarias operaciones de limpieza y mantenimiento.
- Estructuras descentralizadas por las que circulan simultáneamente productos originales y reutilizados

- Costo de transporte aparece como el más significativo
- Productos de escasa tecnología
- Los productos recuperados se utilizan en el mismo mercado
- Existe un aprovechamiento integral del producto recuperado una vez realizadas las operaciones de mantenimiento y limpieza
- La calidad de los productos recuperados es generalmente la mismas que los originales pero tienen un número limitado de reutilizaciones

Ejemplos: Envases y embalajes

Este capítulo se introdujo los conceptos más significativos del trabajo de investigación, de manera que se entienda la importancia de la Logística Inversa como parte fundamental de las Cadenas de Suministro de Ciclo Cerrado, dando como resultado Economías Circulares en donde se realice el mejor uso posible de los recursos no solo para preservar el medio ambiente sino como un camino hacia la sostenibilidad a largo plazo y al desarrollo de economías de escala.

CAPÍTULO 2

PROCESOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y EL MODELO SCOR

2. PROCESOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y EL MODELO SCOR

El capítulo 2 de esta investigación está conformado por tres partes, en la primera se definen los conceptos del Reciclaje, la Reutilización y la Re-fabricación y en la segunda parte se encuentra definido el Modelo SCOR para luego establecer un Proceso de Logística Inversa Genérico, es decir aplicable para todo tipo de industria, con consideración de los tres tipos diferentes de gestión. La parte final de este capítulo establece una matriz de costos que se generan a partir de la Logística Inversa, los mismos que también están determinados dentro del SCOR.

2.1 Procesos de la Logística Inversa

En la Logística Inversa existen algunos procesos genéricos que se encuentran en la mayoría de las industrias. Estos procesos han sido tomados del libro “Sustainable Reverse Logistics Network: Engineering and Management” de (Aït-Kadi, Chouinard, Marcotte, & Riopel, 2012). Por otro lado el modelo SCOR define actividades dentro de la cadena de suministro las cuales son usadas por los procesos de Logística Inversa. En este capítulo se definirá las principales actividades que se realizan para llevar a cabo un proceso de Logística Inversa, con especial atención al reciclaje, reutilización y re-fabricación.

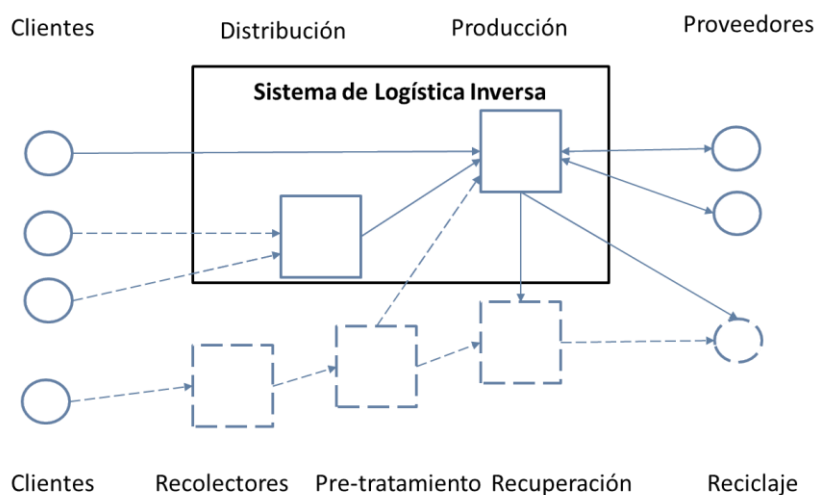


Figura 3 Organización de una Red de Logística Inversa. Fuente: (Aït-Kadi et al., 2012)

La complejidad de las diferentes redes inversas varía de acuerdo al tipo de industria, en la figura anterior se muestra las diferentes relaciones entre los stakeholders que la Logística Inversa implica.

Los stakeholders de la red son los clientes, centros de distribución, unidades de producción y proveedores. Otros stakeholders (que se muestran con líneas entrecortadas) están relacionados con el sistema de Logística Inversa: recolección, procesamiento, centros de redistribución que pueden ser unidades de negocio de la empresa o ser subcontratados a terceros. Las flechas entrecortadas

indican relaciones independientes del proceso genérico sugerido, que muestran relaciones paralelas con otros actores de la red.

La Logística Inversa engloba los procesos de retorno de los productos como son devoluciones por defectos de calidad, retorno de los productos que cumplen con su ciclo de vida, etc., por motivos de estudio, en esta investigación se tomarán en cuenta los procesos de retorno de los productos para el reciclaje, la reutilización y la re-fabricación.

La etapa de Recolección se refiere a la recuperación y al transporte de los productos. La responsabilidad de la recolección puede ser apoyada por los clientes, los distribuidores, los minoristas o por terceros. En el caso de productos muy costosos, las empresas generalmente implementan una red de reparación o distribución con el fin de servir a los distintos mercados y que el proceso de recolección se realice directamente. (Aït-Kadi et al., 2012)

El transporte de los productos recolectados se realizará dependiendo del producto y de la complejidad de la red, en algunos casos primero se deberá realizar una clasificación de los productos y componentes en el punto de recolección mientras que en otros casos la clasificación se realizará luego del transporte al lugar en donde los materiales van a ser recuperados.

La etapa de Clasificación consiste en revisar el estado en el que se encuentran los productos y los componentes. De esta etapa depende la decisión del tipo de tratamiento que se les dará a los productos, de reciclar, re-fabricar o reutilizar. La complejidad de esta etapa dependerá del tamaño de la red de negocio.

El Tratamiento o Procesamiento está compuesto por 3 procesos principales de acuerdo al estado en el que se encuentren los productos: reciclaje, reutilización y re-fabricación, los cuales se encuentran definidos a continuación.

La Redistribución es el proceso final de la Logística Inversa en el cual los productos están listos para su nuevo ciclo de vida.

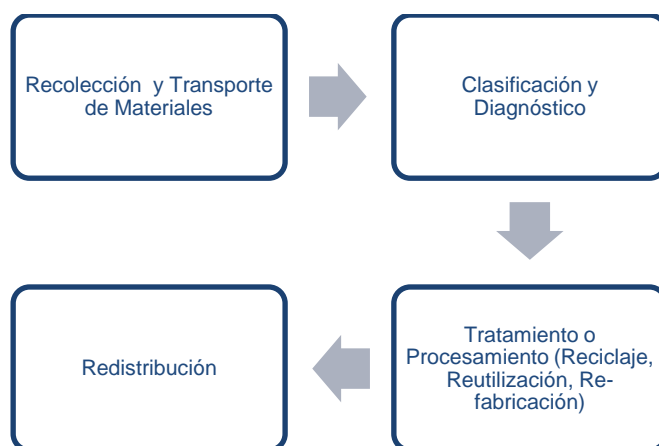


Figura 4 Proceso Genérico de la Logística Inversa

2.1.1 Reciclaje

Reciclar significa separar o extraer materiales del flujo de desechos y acondicionarlos para su comercialización de modo que puedan ser usados como materias primas en sustitución de materiales vírgenes. El reciclaje es ampliamente considerado como una opción a incentivar debido a sus beneficios ambientales ya que mitiga la escasez de recursos naturales vírgenes, disminuye los riesgos de enfermedades y de alteración de ecosistemas, reduce la demanda de espacio en vertederos y generalmente involucra ahorros en el consumo de energía. (Martínez, 2001)

Según (Boada Ortiz, 2003), reciclaje se entiende como cualquier proceso donde los materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

Por lo tanto, se puede decir que el reciclaje es el proceso mediante el cual los materiales que han alcanzado su fin de ciclo de vida son transformados en materias primas o nuevos materiales para ser introducidos nuevamente a la cadena de suministro.

El beneficio más importante que se obtiene a partir del reciclaje es la reducción del uso de materias primas, debido a que mediante este proceso se intenta regresar a su estado original a los materiales utilizados en los distintos procesos. Los materiales obtenidos del proceso de reciclaje pueden ser utilizados en la producción de partes originales si es que la calidad de los materiales es alta, o en la producción de otras partes.

2.1.2 Reutilización

La *Reutilización* como su palabra lo indica significa usar los productos nuevamente en su forma original, como por ejemplo: los envases retornables. La reutilización significa ahorros de energía, de mano de obra, de materiales y reducción de la contaminación.

Se puede clasificar la reutilización se puede clasificar de la siguiente manera:

- Rempaquetado
- Reparación
- Actualización o Modernización

1. Rempaquetado: Consiste en colocar el producto en un nuevo empaque, generalmente se realiza cuando ha existido devoluciones comerciales. El principal objetivo de este proceso es de colocar el producto nuevamente en el mercado lo antes posible para su reventa. En muchos de los casos y dependiendo el

producto, es necesario realizar una inspección de calidad para luego empaquetar y colocar el producto en el mercado.

2. Reparación: Este tipo de re-utilización consiste en poner los productos dañados o no operativos en funcionamiento. La primera etapa de este proceso consiste en comprobar el estado en el que se encuentra el producto. Dependiendo del estado del producto, los productos pueden ser no reparables o puede que su reparación no sea rentable. En este caso, los productos deberán pasar a otra opción de procesamiento. Para los que son reparables, una vez realizada la operación, se deberá verificar el nivel de calidad obtenido para luego empaquetarlos para ser devueltos al cliente o puestos a la venta en mercados secundarios. (Aït-Kadi et al., 2012)

Generalmente, la calidad de los productos reparados es inferior a la de los productos nuevos. La reparación de un producto indica arreglar o reemplazar las partes dañadas, el resto de partes básicamente no son afectadas. Este proceso se puede realizar en las instalaciones del cliente o en centros de reparación del fabricante. (Thierry et al., 1995). Los productos sujetos a reparación son productos de larga duración como computadoras, teléfonos móviles, etc.

3. Actualización o modernización: consiste en tomar un producto de una versión anterior y actualizarlo o modernizarlo. Modernizar implica añadir una nueva funcionalidad al producto mediante la sustitución de piezas, componentes o módulos. La actualización, sin embargo requiere un reemplazo más completo de la tecnología. Por lo tanto, un producto viejo puede beneficiarse de las mejoras y aumentar su valor de reventa. (Aït-Kadi et al., 2012)

2.1.3 Re-Fabricación

Según (Lu & Bostel, 2007), la Re-fabricación está definida como uno de los métodos de recuperación mediante el cual los productos o componentes usados o defectuosos pueden ser recuperados al mismo estado de calidad de un producto nuevo y pueden ser incluidos con los nuevos para la reventa en el mismo mercado. Las actividades de re-fabricación generalmente son realizadas por el fabricante original debido a la necesidad de un conocimiento específico.

La *Re-Fabricación* consiste en la re-elaboración de un módulo o componente o de productos enteros como preparación para su reutilización, con el fin de obtener productos en un estado equivalente al de un producto nuevo. Este proceso es similar al de reparación, excepto por el siguiente aspecto: la re-fabricación permite reemplazar sistemáticamente un gran número de piezas dañadas o defectuosas y se revisa la integridad de los subconjuntos. (Aït-Kadi et al., 2012)

Una vez que los productos son recolectados y transportados es importante realizar un diagnóstico del estado del producto, en algunos casos los productos no estarán en condiciones empezar con el proceso de re-fabricación. Cuando el

proceso de re-fabricación es exitoso, los productos son empacados, ya sea para ser colocados nuevamente a la venta o para ser devueltos a los clientes.

El objetivo del proceso de re-fabricación es el de obtener productos de igual calidad que un producto totalmente nuevo. Los productos usados son desmontados y todos los componentes y módulos son inspeccionados por completo. Las partes desgastadas o desactualizadas son reemplazadas y las partes que pueden ser reparadas son arregladas y se inspeccionan rigurosamente. La re-fabricación puede ser combinada con la modernización y actualización de los productos.(Thierry et al., 1995)

Los costos de los productos re-fabricados son del 40 al 60% menores de los costos que se incurren durante la entrega de productos totalmente nuevos, esto se da por que la mayor parte de la materia prima ya existe en su forma final y solo una parte va a través del procesado de materiales y fabricación. (Kumar & Putnam, 2008). En el trabajo realizado por Giutini y Gaydette, “Remanufacturing: The Next Great Opportunity for Boosting US Productivity”, los autores establecieron que la re-fabricación ahorra el 85% de la energía necesaria de empezar de cero. (Giutini & Gaudette, 2003)

2.1.4 Comparación entre los distintos tipos de procesamiento

En la siguiente tabla indica los niveles en los que se centra cada tipo de procesamiento, el reciclaje está enfocado en la recuperación de materiales para la elaboración de nuevos productos, mientras que la re-fabricación se centra en elaborar nuevos productos con componentes de productos usados, obteniendo productos de alta calidad similar a la de productos nuevos. Por otro lado, la reutilización (que puede ser reparación, repaquetado o actualización) se enfoca en restaurar el producto y dejarlo operativo arreglando solo las partes dañadas.

La elección de tratamiento de los productos que llegan al final del ciclo de vida depende de la factibilidad tecnológica, del adecuado suministro de productos y componentes usados, de la demanda de productos, componentes y materiales reprocesados y de los costos y beneficios económicos y medioambientales. (Thierry et al., 1995)

Tipo de Tratamiento	Nivel de Desmontaje	Requerimientos de Calidad	Producto Resultante
Reciclaje	A nivel de material	Materiales necesarios para la producción de partes originales	Los materiales son reusados para nuevos productos
Reutilización	A nivel de product	Restaurar el producto a niveles operativos Inspeccionar todos los módulos críticos y actualizar al nivel de calidad requerido	Algunas partes son reemplazadas y otras reparadas Algunas partes son actualizadas

Re-fabricación	A nivel de partes	Inspeccionar todos los módulos y partes y actualizarlos a una calidad "como nuevo"	Partes y módulos usados y nuevos combinados en un nuevo producto; actualización potencial
----------------	-------------------	--	---

Tabla 4 Comparación entre los distintos tipos de procesamiento. Adaptado (Thierry et al., 1995)

2.2 El modelo SCOR

Un modelo de referencia de la cadena de suministro es el modelo SCOR, el cual ha sido desarrollado para describir los procesos de negocio de la cadena de suministro asociadas con todas las fases necesarias para satisfacer la demanda del cliente. El modelo en sí está compuesto por varias secciones y está organizado alrededor de cinco procesos primarios de gestión: Planificación (Plan), Aprovechamiento (Source), Manufactura (Make), Distribución (Deliver) y Retorno (Return) como se muestran en la siguiente figura: (The Supply Chain Council, 2010)

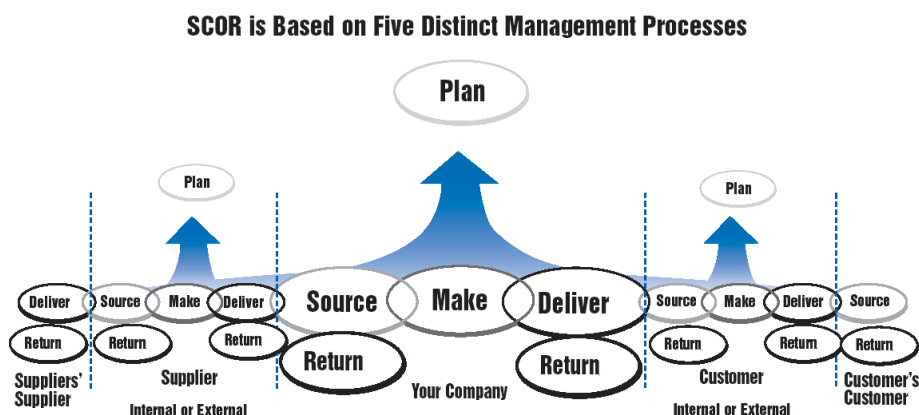


Figura 5 El Modelo SCOR. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)

El modelo abarca:

- las interacciones con los clientes (desde el ingreso del pedido hasta el pago de la factura),
- todas las transacciones físicas de los materiales (desde el proveedor del proveedor, incluyendo los equipos, suministros, piezas de repuesto, software, etc.),
- las interacciones del mercado (desde el entendimiento de la demanda agregada hasta el cumplimiento de las órdenes)

El modelo de referencia SCOR no está enfocado en las ventas y el marketing, el desarrollo del producto, investigación y desarrollo y algunas actividades de atención al cliente luego de la entrega del producto.

SCOR está diseñado como un modelo de soporte para diferentes cadenas de suministro de diferente complejidad y de diferentes industrias. El modelo propone tres niveles de procesos que se muestran en la siguiente tabla:

Nivel		Comentarios
#	Descripción	
1.	Nivel Superior (Tipos de Procesos)	El nivel 1 define el alcance y los contenidos de para las operaciones del modelo de referencia de cadena de suministro. Aquí se definen las bases para medir el desempeño.
2.	Nivel de Configuración (Categorías de Procesos)	La cadena de suministro de una compañía puede ser configurada "bajo pedido" en este nivel desde la configuración de los procesos principales. Las estrategias de operaciones de las compañías son implementadas a través de la configuración elegida para la cadena de suministro.
3.	Nivel de los Elementos del Proceso (Descomposición de los Procesos)	El nivel 3 define la habilidad de una compañía de competir exitosamente en el mercado seleccionado y consiste en: - Definición de los elementos del proceso - Información acerca de las entradas y salidas de los procesos - Métricas de rendimiento del proceso - Mejores prácticas, en donde sean aplicables - Capacidad del sistema para apoyar a estas mejores prácticas - Sistemas/herramientas.

Tabla 5 Niveles del Modelo SCOR. adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)

El nivel 4 del Modelo SCOR sería la implementación del modelo, que es específico de cada compañía. En este nivel se definirían las prácticas necesarias para alcanzar ventajas competitivas y adaptar al negocio a las condiciones cambiantes.

2.2.1 Codificación de los procesos del Modelo SCOR

Antes de identificar los procesos es importante explicar la nomenclatura que el modelo SCOR utiliza. La codificación de los procesos difiere del nivel en el que se encuentran. Los procesos de primer nivel están representados por una letra mayúscula precedida por la letra "s" en minúscula de la siguiente manera:

- sP para Plan
- sS para Source
- sM para Make
- sD para Deliver
- sR para Return

En el nivel 2 se añade un número, por ejemplo: sD1 para Deliver Stocked Products, sP3 para Plan Make. En el tercer nivel se añade un punto seguido por un número único: sD1.1 para Process Inquiry and Quote.

Debido a que el proceso de Return está dividido en dos procesos, la codificación se realiza de la siguiente manera: sSR para Source Return y sDR para Deliver Return, de esta forma se podrá identificar fácilmente los distintos procesos.

2.2.2 Procesos del Modelo SCOR

El modelo SCOR propone un conjunto de procesos predefinidos para actividades que la mayoría de empresas realizan en una cadena de suministro eficiente. Los procesos de primer nivel o primarios son los mencionados anteriormente: Plan, Source, Make, Deliver y Return.

En el nivel 2, el modelo indica el alcance de cada uno de los procesos dentro de la cadena de suministro. Los procesos claves del segundo nivel son:

- Make to stock vs. Make to order vs. Engineer to order for Source
- Procesos de Source y Deliver
- Procesos de productos defectuosos vs. MRO vs. en exceso para el procesos de Return

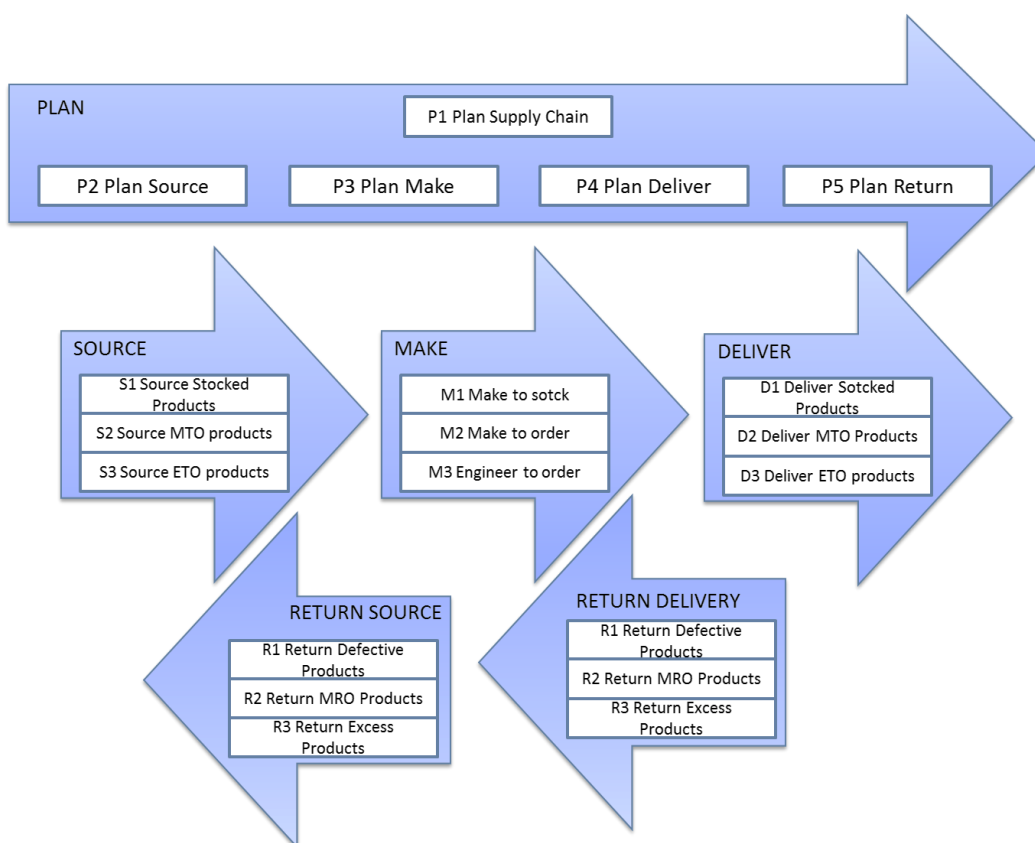


Figura 6 Procesos del Modelo SCOR

El nivel 3, muestra pasos de los procesos que son realizados en una determinada secuencia con el fin de planificar las actividades de la cadena de suministros: aprovisionamiento de materiales, fabricación de productos, entrega de bienes y servicios y manejo de retornos de productos.

El proceso de retorno (Return) está dividido en dos tipos: Source Return y Delivery Return para diferenciar si el retorno es interno o si el retorno es realizado por los clientes.

Por motivos de esta investigación, los procesos en los cuales se va enfocar este trabajo son los Make y Return porque estos tratan temas de reciclaje, re-fabricación, reutilización y en el proceso de Return se dedica al flujo inverso de productos.

2.2.3 Procesos de referencia de tercer nivel de Make

Según el modelo SCOR, Make o Fabricar describe las actividades relacionadas con la transformación de los materiales en productos o la creación de servicios. Transformación se refiere a los procesos de: Ensamblaje, Procesos Químicos, Mantenimiento, Reparación, Revisión, Reciclaje, Restauración, Re-fabricación y otro tipo de actividades involucradas en la transformación de materiales en productos.

sM1: Make to stock	El proceso de manufactura en un ambiente make to stock agrega valor a los productos a través de la mezcla, separación, formación, mecanizado y procesos químicos. Los productos Make to Stock tienen la intención de ser enviados de los bienes terminados o fuera de la plataforma, pueden ser completados previo a la recepción de la orden del cliente y son generalmente producidos con un calendario establecido de acuerdo al pronóstico de ventas. Los clientes no ponen especificaciones o detalles en órdenes de los productos.
sM2: Make to Order	Dados los planes de producción para partes o productos específicos en cantidades específicas y la disponibilidad planificada de los recursos, la programación de las operaciones deberá ser ejecutada de acuerdo a este plan. La programación incluye la secuencia, y dependiendo del layout de la fábrica, las configuraciones estándar y la producción en sí. En general, las actividades intermedias de producción son coordinadas previamente a la programación de las operaciones que deben realizarse para producir un bien terminado.
sM3: Engineer to Order	El proceso de desarrollar, diseñar, validar y por último utilizar un proceso de manufactura para la elaboración de productos o servicios basándose en los requerimientos de un cliente específico. En general, Engineer to Order requiere que las instrucciones de trabajo sean definidas y que las rutas de los materiales sean modificadas de acuerdo a las necesidades del cliente.

Tabla 6 Procesos de Primer Nivel de Make. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)

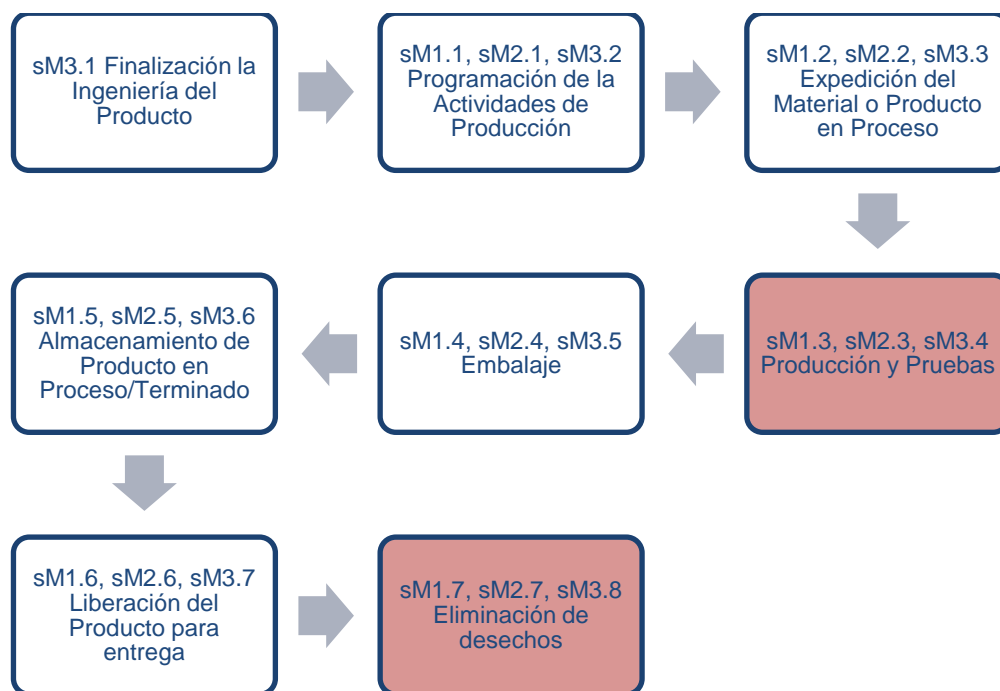


Figura 7 Procesos de Make to Stock, Make to Order y Engineer to Order

Los procesos dentro de Make que interesan para esta investigación se encuentran en color rojo y están descritos a continuación:

sM1: Make to Stock, sM2: Make to Order, sM3: Engineer to Order		
Costos de la CS: Costos Energéticos Costos de los Bienes Vendidos Costos de Fabricar		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sM1.3, sM2.3, sM3.4 Fabricación y Pruebas (Produce and Test):	Es importante describir esta actividad debido a que dentro de los procesos de Reciclaje, Re-fabricación y Reutilización existe procesos de producción y pruebas necesarios para reingresar a los productos dentro de sus respectivas cadenas de suministro. (Produce and Test) se define como: una serie de actividades realizadas en el producto para convertirlo de materia prima a un estado de producto semi terminado o terminado por completo con valor añadido. .	Desperdicios peligrosos generados como % del total de desperdicios generados Emisiones a la atmósfera Consumo de energía Costo de producción y pruebas % de desperdicios sólidos que se generan del embalaje % de desperdicio producido en relación con los productos fabricados
sM1.7, sM2.7, sM3.8 Eliminación de Desechos (Waste Disposal)	Hace referencia a las actividades asociadas con la recolección y el manejo de los desperdicios producidos durante el proceso de producción y pruebas incluyendo el scrap y productos no conformes.	% de almacenamiento de desperdicios en relación con el % total de los costos de Make

Tabla 7 sM1, sM2, sM3 Procesos de Make. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)

En la Logística Inversa, el proceso de “Fabricación y Pruebas” hace referencia a las actividades necesarias para llevar a cabo el reciclaje, la re-fabricación y la

reutilización de los productos. Por lo tanto, se podría referir a la Logística Inversa como reciclaje, reutilización o re-fabricación.

2.2.4 Procesos de Referencia de tercer nivel de RETURN

El proceso de Return en SCOR define a las actividades asociadas con los flujos inversos de los productos. El concepto de Return incluye la identificación de la necesidad de retorno, la toma de decisión de la disposición del producto, la programación del retorno y el envío.

sSR1: Source Return Defective Product:	El retorno y la determinación de la disposición de los productos defectuosos como está definido en la garantía, productos no conformes o alguna política similar incluyendo el reemplazo apropiado. El Retorno de Productos Defectuosos incluye cualquier tipo de productos no conformes con las especificaciones que las reglas de la compañía han determinado como defectuosos.
sSR2: Source Return MRO Product:	El retorno de productos o bienes de la compañía para mantenimiento, reparación o revisión, como se encuentra definido en los planes de mantenimiento o la ocurrencia o anticipación de un riesgo de falla.
sSR3: Source Return Excess Product:	El retorno de productos antiguos, en exceso u obsoletos están definidos por los términos y condiciones de los contratos clientes/proveedores. La intención de los retornos de productos defectuosos es de redistribuir el inventario en una ubicación u organización que pueda vender los productos que se consideran en exceso en la ubicación actual.
sDR1: Deliver Return Defective Product:	La recepción y la disposición de los productos defectuosos como está definido en la garantía, productos no conformes o alguna política similar incluyendo el reemplazo apropiado. El Retorno de Productos Defectuosos incluye cualquier tipo de productos no conformes con las especificaciones que las reglas de la compañía han determinado como defectuosos.
sDR2: Deliver Return MRO Product:	La recepción de productos o bienes de la compañía para Mantenimiento, Reparación y Revisión (MRO: maintenance, repair and overhaul) como se define en los planes de mantenimiento o la ocurrencia o anticipación de un riesgo de falla.
sDR3: Deliver Return Excess Product:	La recepción de productos antiguos, en exceso u obsoletos están definidos por los términos y condiciones de los contratos clientes/proveedores. La intención de los retornos de productos defectuosos es de redistribuir el inventario en una ubicación u organización que pueda vender los productos que se consideran en exceso en la ubicación actual.

Tabla 8 Procesos de Primer Nivel de Return. Fuente: (The Supply Chain Council, 2010)

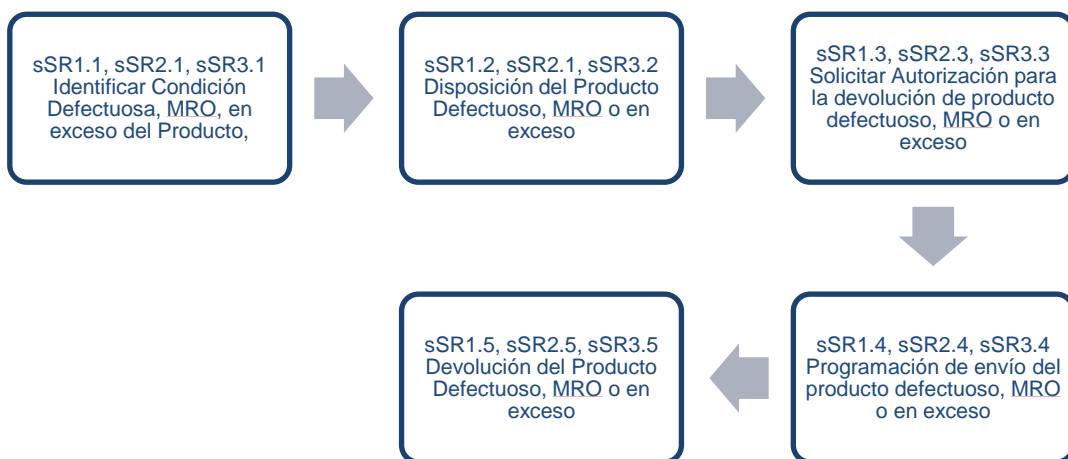


Figura 8 Procesos de Source Return Defective Product, Source Return MRO product, Source Return in Excess Product

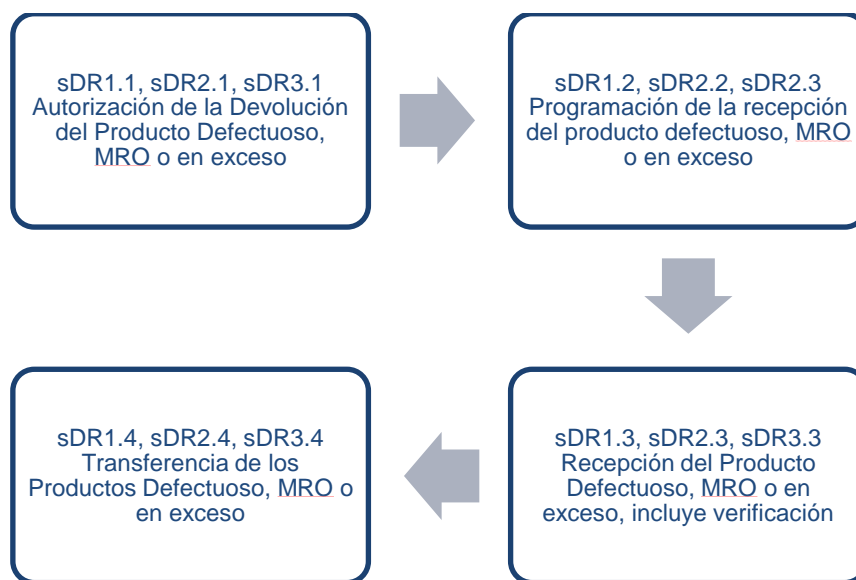


Figura 9 Procesos de Deliver Return Defective Product, Deliver Return MRO product, Deliver Return in Excess Product

A continuación se describen los procesos de interés para un Sistema Genérico de Logística Inversa para distintos tipos de productos:

sSR1 Source Return Defective Product		
Costos de la CS: Costo de Devolución a la Fuente (Source)		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sSR1.1 Identificar Condición Defectuosa del Producto (Identify Defective Product Condition)	Es el proceso en donde el cliente utiliza las políticas, reglas de negocio, condiciones operativas como criterio para identificar y confirmar que el material excede los requerimientos defectuosos	Costo de Identificar la condición defectuosa como % del total del costo del recurso (Source)
sSR1.2 Disposición del Producto Defectuoso (Disposition Defective Product)	Es el proceso en donde el cliente determina en donde devolver el ítem defectuoso y la autorización de devolución apropiada para el recurso.	Costos de la Disposición del Producto Defectuoso como % del total de los costos de Source Return (Retorno de la Fuente)

sSR1.4 Programación de envío del producto defectuoso	El proceso en el cual el cliente desarrolla un programa para el cargador para recoger el producto defectuoso. Las actividades incluyen la selección del cargador y las tasas, la preparación del ítem para la transferencia, la preparación de la documentación y la administración de toda la programación en general.	% de costo de programación de producto defectuoso sobre el total del costo de devoluciones de la fuente (Source Return)
sSR1.5 Devolución del Producto Defectuoso (Return Defective Product)	El proceso en el cual el cliente empaqueta y manipula el producto defectuoso como preparación para el envío de acuerdo a las condiciones predeterminadas. Luego, el producto es entregado por el cliente al cargador quien realiza el transporte y la documentación asociada hasta el último portador conocido o al centro de devoluciones designado.	Costos de transportar las devoluciones Costo de solicitar la autorización

Tabla 9 Procesos sSR1 Devolución de Productos Defectuosos a la Fuente. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)

sDR1 Deliver Return Defective Product		
Costos de la CS: Costo de entregar la devolución		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sDR1.3 Recepción del Producto Defectuoso, incluye verificación (Receive Defective Product):	El proceso en donde el último portador conocido o el centro de devoluciones designado reciben y verifica el producto defectuoso junto con la autorización de devolución y otra documentación y prepara el ítem para la transferencia.	Costo de la Recepción de Productos Defectuosos Costos de Energía
sDR1.4 Transferencia de los Productos Defectuoso (Transfer Defective Product)	El proceso en donde el último portador conocido o el centro de devoluciones designado transfieren el producto defectuoso para el proceso apropiado para implementar la decisión de la disposición.	Costo de realizar la transferencia del producto defectuoso

Tabla 10 sDR1 Proceso de Entrega del Producto Defectuoso. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)

sSR2 Source Return MRO Product		
Costos de la CS: Costo total de devoluciones a la fuente		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sSR2.1 Identificar la condición del producto MRO (Identify MRO Product Condition)	El proceso en donde el cliente utiliza las políticas predeterminadas de productos MRO, reglas de negocio y condiciones operativas del producto como criterio para identificar y confirmar que el ítem requiere mantenimiento, reparación, revisión o eliminación. Incluye fallas operativas y requerimientos de mantenimiento planificados.	Costo de identificar la condición MRO como % del costo total de devoluciones de la fuente
sSR2.2 Disposición del Producto MRO (Disposition MRO Product)	El proceso en donde el cliente determina si el ítem necesita servicio, que servicio necesita y quien es el apropiado para dar el servicio al ítem. Las salidas incluyen la decisión de: (1) enviar una solicitud de autorización de devolución al proveedor del servicio, (2) enviar el producto al servicio sin solicitar autorización de devolución, (3) descartar el ítem.	Costos de disposición MRO como % del total de costos de Source

sSR2.5 Devolución del Producto MRO (Return MRO Product):	El proceso en donde el cliente empaca y manipula el producto MRO como preparación para el envío de acuerdo a las condiciones preestablecidas. El producto luego es entregado al cargador quien lo transporta al proveedor de servicio.	Costo por solicitud de autorización Costos de transporte de la devolución
--	--	--

Tabla 11 sSR2 Proceso de Devolución de Productos MRO a la Fuente. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)

sDR2 Deliver Return MRO Product		
Costos de la CS: Costos de Entregar la Devolución		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sDR2.3 Recepción del Producto MRO (Receipt MRO Product)	El proceso en donde el proveedor del servicio recibe y verifica el producto MRO junto con la autorización de devolución y otra documentación y prepara el ítem para la transferencia.	Costo de recibir productos MRO
sDR2.4 Transferencia de los Productos MRO (Transfer MRO Product)	El proceso en donde el proveedor del servicio transfiere el producto MRO para el proceso apropiado para implementar la decisión de la disposición.	Costo de realizar la transferencia del producto MRO Costos energéticos

Tabla 12 sDR2 Proceso de Entrega de la Devolución del Producto MRO. Adaptado:(The Supply Chain Council, 2010)

sSR3 Source Return Excess Product		
Costos de la CS: Costos Totales de Devolución de Materiales en Exceso		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sSR3.1 Identificar condición de Producto en Exceso (Identify Excess Product Condition)	El proceso en donde el cliente utiliza las políticas predeterminadas, las reglas de negocio y la inspección del producto como criterio para identificar y confirmar que el material se encuentra en exceso según los requerimientos actuales.	Costo de identificar la condición de materiales en exceso cómo % del costo total de la fuente
sSR3.2 Disposición del Material en Exceso (Disposition Excess Product)	El proceso en donde el cliente determina si devolver el material en exceso e identificar el centro de devoluciones designado.	Costos de Disposición del Producto en Exceso como % del costo total de la fuente
sSR3.5 Devolución del Producto en Exceso (Return Excess Product)	El proceso en donde el cliente empaca y manipula el producto en exceso como preparación para el envío de acuerdo a las condiciones preestablecidas. El producto luego es entregado al cargador quien lo transporta al último portador conocido o al centro de devoluciones designado.	Costo por solicitud de autorización Costos de transporte de la devolución

Tabla 13 sSR3 Proceso de Devolución de Producto Defectuoso a la Fuente. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)

sDR3 Deliver Return Excess Product		
Costos de la CS: Costos No Identificados		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
sDR3.3 Recepción del Producto en Exceso (Receive Excess Product)	El proceso en donde el centro de devoluciones designado recibe y verifica el producto en exceso junto con la autorización de devolución y otra documentación y prepara el ítem para la transferencia. En este punto, se gestiona cualquier discrepancia que pueda surgir.	Costo de recibir los productos en exceso
sDR3.4 Transferencia de los Productos en Exceso (Transfer Excess Product)	El proceso en donde el centro designado para la devolución transfiere el producto en exceso para el proceso apropiado para implementar la decisión de la disposición.	Costo de realizar la transferencia del producto en exceso

Tabla 14 sDR3 Proceso de Entrega de Devoluciones del Producto en Exceso. Adaptado: (The Supply Chain Council, 2010)

2.3 Proceso Genérico de Logística Inversa

Por lo tanto, en la siguiente figura se propone un Sistema de Logística Inversa Genérico para cualquier tipo de industria tomando en cuenta los procesos descritos por el SCOR adicionalmente de los procesos de reciclaje, reutilización y re-fabricación descritos en el punto 2.1

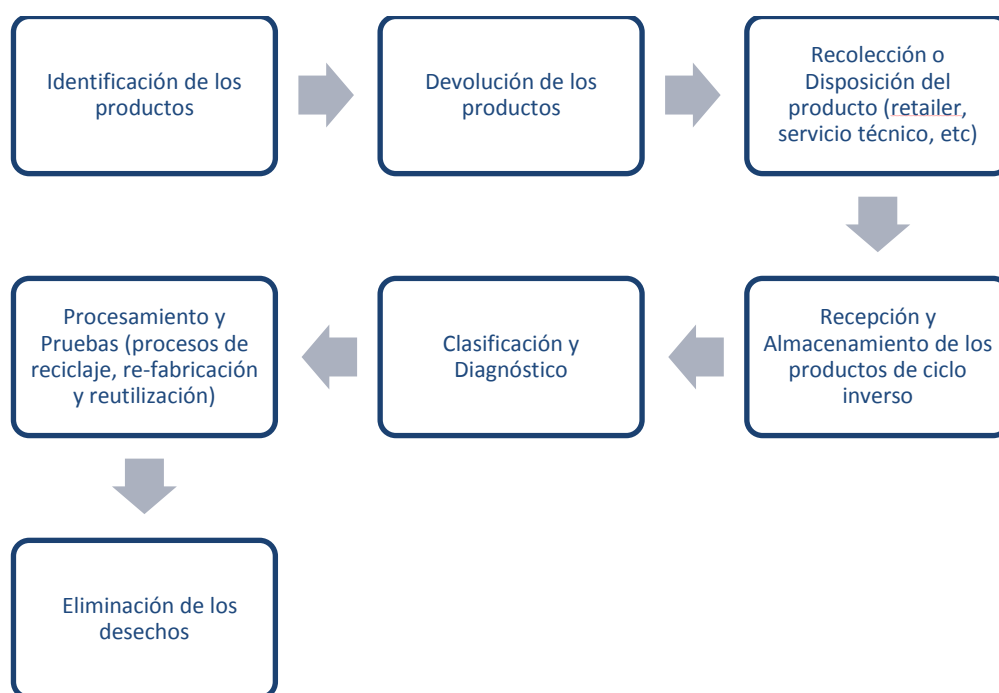


Figura 10 Sistema Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR con los procesos de Make y Return

Proceso Genérico de la Logística Inversa según el Modelo SCOR		
Costos de la CS: Costo Total del Proceso Inverso		
Proceso	Descripción	Costos de la CS
Identificación de los productos	Esta fase es donde se determina la ubicación de los productos a recolectar y la cantidad aproximada	Costos de Identificar los productos
Devolución de los productos	Es la fase en la cual el cliente entrega el producto al centro de recolección o a la entidad encargada para esta actividad.	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	La etapa de recolección se refiere a la recuperación y al transporte de los productos, la responsabilidad puede ser apoyada por los clientes, distribuidores, los retailers o terceros. En el caso del transporte, se realizará de acuerdo a la complejidad de la red, en algunos casos se realizará antes del almacenamiento para luego realizar la clasificación de los productos o viceversa.	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Es la actividad en la cual se reciben y se verifican los productos en un lugar designado, puede ser un centro de devoluciones, una planta de tratamiento, etc.	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos
Clasificación y Diagnóstico	Consiste en revisar el estado en el que se encuentran los productos y componentes. De esta etapa depende la decisión del tipo de tratamiento que se le dará a los productos. La complejidad de este proceso dependerá del tamaño de la red.	Costos de Clasificación y Pruebas de Diagnóstico de los productos
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	Esta etapa es el más importante de la Logística Inversa debido a que agrega valor a los productos recolectados, dentro de este proceso se incluyen las actividades necesarias para reingresar los productos a la cadena de suministros ya sea como materia prima, producto semi terminado o terminado por completo con valor añadido	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	Esta etapa hace referencia a las actividades asociadas con la recolección y el manejo de los desperdicios producidos durante el proceso de producción y pruebas incluyendo el scrap y productos no conformes	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa

Tabla 15 Proceso Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR

2.4 Costos de la Logística Inversa

Los costos de la Logística Inversa dentro de la industria son difíciles de estimar, debido a que muchas compañías no realizan un seguimiento exhaustivo de los mismos. Según un estudio realizado por (Rogers & Tibben-Lembke, 2001), la Logística Inversa representa el 4% de los costos logísticos de las empresas encuestadas. El tamaño, el alcance y el impacto de la Logística Inversa varían de industria en industria y del tipo de canal de distribución. Lo que seguramente está claro es que el impacto de las actividades económicas realizadas por la Logística Inversa es alto y se encuentra en crecimiento.

En la siguiente tabla, adaptada de (Aït-Kadi et al., 2012) se muestran los potenciales ingresos y los costos asociados con cada opción de gestión. Para cada actividad, salvo la disposición final, se han establecido los costos asociados

con el proceso, los costos de eliminación evitados y los montos ahorrados, ya sea mediante la venta, donación o reutilización de los productos. Los costos de las actividades dependerán también del estado en el que se encuentren los productos, el volumen y la naturaleza. Por otra parte, los beneficios ambientales y el nivel de servicio al cliente no son considerados en la tabla.

Actividad	Ingresos/Costos Asociados	Con respecto a
Reciclaje	Venta de Materiales Costos de las actividades Costos de eliminación de desechos evitados	Trabajo necesario para separar los materiales Volumen a ser procesado Peso
Reutilización	Rempaquetado	Reventa del producto Costos de las actividades Costos de eliminación de desechos evitados
	Reparación	Demanda Volumen a ser procesado Estado del producto
	Actualización o Modernización	Precio de reventa incrementado Costos de las actividades Costos de eliminación de desechos evitados
	Refabricación	Ahorros en la reutilización de los materiales Costos de las actividades Costos de eliminación de desechos evitados
	Precio de reventa incrementado Costos de las actividades Costos de eliminación de desechos evitados	Estado del producto Volumen a ser procesado

Tabla 16 Ingresos y Costos de los Procesos. Adaptado: (Ait-Kadi et al., 2012)

Según el modelo SCOR los costos principales que influyen en la cadena de suministro y luego se intentarán determinar para cada uno de los modelos de Logística Inversa (sector del automóvil, aparatos electrónicos y eléctricos y envases retornables) se muestran en la siguiente tabla:

1	Costos de Transporte
2	Costos de Producción y Pruebas
3	Costos Energéticos
4	Costo de la Eliminación de Desechos
5	Costos de clasificación y pruebas de diagnóstico
7	Costo de almacenamiento de productos terminados o material reciclado
8	Costo de distribución de los productos terminados
9	Costos de Devolución de los Productos
10	Costo de identificar los productos defectuosos, MRO o en exceso
11	Costo de transportar los retornos o devoluciones

Tabla 17 Costos de la Logística Inversa según el Modelo SCOR

En la siguiente tabla se muestran las actividades del proceso genérico de Logística Inversa con sus costos asociados:

Costos del Proceso Genérico de la Logística Inversa según el Modelo SCOR	
Costos de la CS: Costo Total del Proceso Inverso	
Proceso	Costos de la CS
Identificación de los productos	Costos de Identificar los productos
Devolución de los productos	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos
Clasificación y Diagnóstico	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa

Tabla 18 Costos del Proceso Genérico de la Logística Inversa según el Modelo SCOR

Una vez determinados los costos genéricos que influyen en un sistema de Logística Inversa, se caracterizarán tres tipos de industrias cada una con sus procesos típicos y además se propone una estructura con los principales costos que afectan a las cadenas de suministro y a su vez se demuestra la importancia de la gestión eficiente de la Logística Inversa dentro de una Economía Circular.

En este capítulo se realizó un análisis de los procesos de Logística Inversa propuesto por algunos autores y se le adiciona los procesos del Make y el Return del modelo SCOR, obteniendo como resultado un Modelo Genérico de Logística Inversa, como una guía para la implementación en cualquier sector de la industria. Adicionalmente, se realizó un estudio de los costos que genera cada proceso, de esta manera se visualiza el peso de cada actividad dentro del sistema inverso.

CAPÍTULO 3

MODELOS DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA INDUSTRIA

3. MODELOS DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA INDUSTRIA

En el capítulo 3 se presentan modelos de Logística Inversa de tres sectores de la industria: la industria del automóvil, la industria de los aparatos electrónicos y eléctricos y la industria de los envases de lata; en los cuales se muestran los procesos característicos de cada sector y las opciones de gestión más utilizadas, además se presentan ejemplos de costos y beneficios para cada una de ellas.

Cada modelo está contenido por los antecedentes del tipo de industria, para luego destacar los procesos genéricos de la Logística Inversa que se deben realizar, como último enunciado y de acuerdo a los procesos se realiza una tabla de costos de la Logística Inversa para cada sector de la industria.

3.1 Modelo de Logística Inversa para la Industria del Automóvil

3.1.1 Antecedentes de la Industria

Los fabricantes de automóviles alrededor del mundo han empezado a enfrentarse a nuevo retos debido a nuevas regulaciones medioambientales para sus productos. En la Unión Europea, los fabricantes de automóviles deben garantizar y financiar el retorno del producto y el reciclaje. (Schultmann, Zumkeller, & Rentz, 2006).

Una cadena de suministro de ciclo cerrado de automóviles de ciclo se puede representar de la siguiente manera:

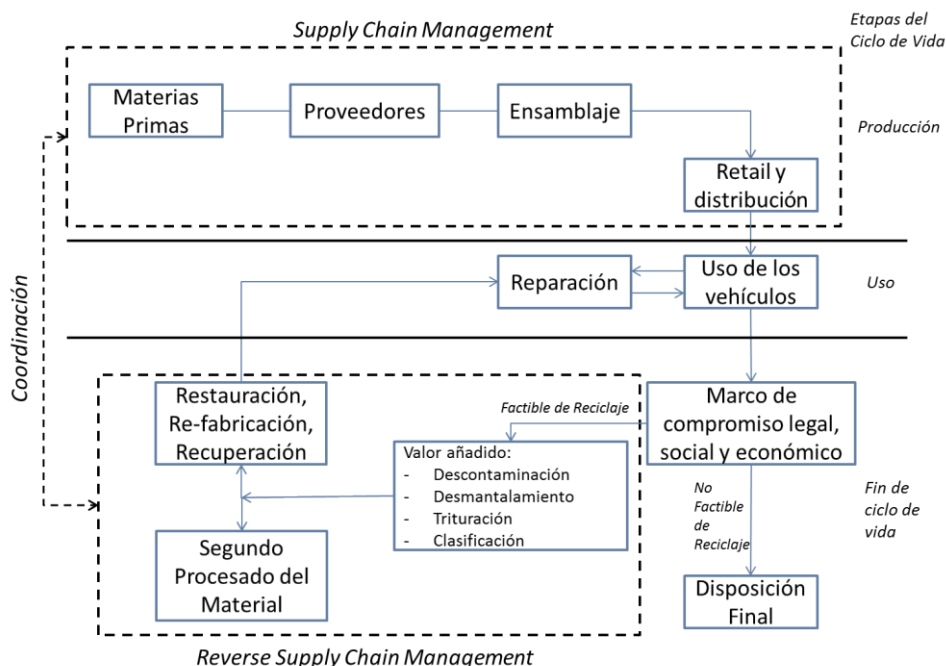


Figura 11 Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado para Vehículos. Fuente: (Cruz-Rivera & Ertel, 2009)

La Figura 11 indica la Cadena de Suministro para los Automóviles en donde se puede visualizar las etapas del ciclo de vida de los productos: producción, uso y fin de ciclo de vida con las actividades correspondientes a cada fase. Las líneas entrecortadas indican los procesos relacionados con la gestión de la cadena de suministros directa y los de la cadena de suministro inversa, además se indica que debe existir coordinación entre las dos para cerrar el ciclo de la cadena de suministros.

El interés de realizar la Logística Inversa en la industria del automóvil ha crecido por cuatro razones principales:

1. Beneficios económicos
2. Razones legales
3. Imagen corporativa y sostenibilidad empresarial
4. Incremento de los costos de vertederos de basura y rellenos

En la Unión Europea existen regulaciones que tienen como objetivo la prevención los desperdicios de los vehículos, el mejoramiento del desmontaje y reciclaje para fabricar los vehículos más amigables con el medio ambiente, además de objetivos cuantificables para la reutilización, reciclaje y tasas de recuperación de los vehículos y sus componentes y la promoción del mejoramiento medioambiental para todos los implicados en la cadena.

Una característica importante del sector automotriz es que cada uno de los coches está compuesto por una gran cantidad de materiales, los cuales se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Metales
- Plásticos
- Fluidos (aceite, refrigerantes, combustible)
- Otros (llantas, vidrios)

Cada tipo de material tiene diferentes procesos para la recuperación y disposición final, en la siguiente figura se muestra las diferentes opciones de tratamiento según el tipo de material, los porcentajes son estimados de la Unión Europea para el año 2015.

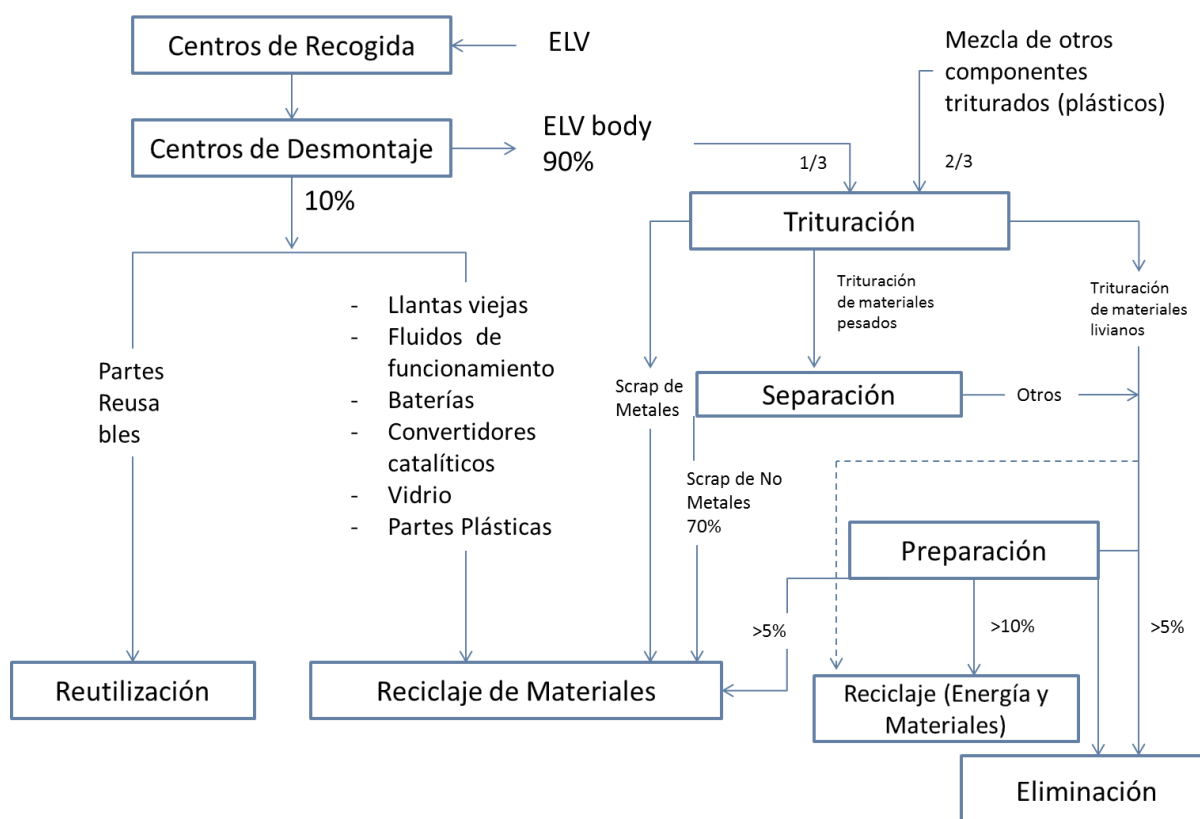


Figura 12 Flujo de Materiales para Reciclaje y Eliminación de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida (ELV) en la Unión Europea, porcentajes para el 2015. Fuente:(Cruz-Rivera & Ertel, 2009)

En la figura anterior se muestra el flujo de materiales de los vehículos de fin de ciclo de vida, el proceso inicia en los puntos de recogida para luego pasar a centros de desmontaje en donde el vehículo se divide básicamente en el cuerpo del vehículo (90%) y otras partes (10%), llantas, baterías, vidrio, partes reusables, etc. El cuerpo del vehículo pasa por procesos de trituración y separación para luego ser reciclados y de esta manera obtener las materias primas. Por otro lado, el 10% de vehículo pasa directamente a los procesos de reutilización y reciclaje.

El reciclaje de vehículos que llegan al fin de ciclo de vida en Estados Unidos es un negocio rentable. El Instituto de Reciclaje de Acero reportó que en el 2003 las tasas de reciclaje fueron del 103%. Las tasas de reciclaje se calculan mediante la comparación del acero total utilizado para la producción de nuevos vehículos versus el total de acero recuperado de los vehículos viejos. (Kumar & Putnam, 2008). Debido al valor del acero y otros componentes que se encuentran en los automóviles, el proceso de reciclaje se encuentra más avanzado que en otros sectores de la industria.

3.1.2 Procesos de la Logística Inversa para Vehículos

En Alemania, el proceso de reciclaje de vehículos de fin de ciclo de vida puede ser descrito de la siguiente manera según (Schultmann et al., 2006):

- Antes de empezar cualquier proceso de recuperación, todos los vehículos necesitan ser drenados con el fin de remover todos los fluidos como aceite, combustible, refrigerantes, etc. Además de evitar el riesgo de demarrar sustancias peligrosas durante el proceso posterior de desmontaje.
- Las partes de los vehículos que tienen un valor significativo de reventa son desmontadas primero. Los vehículos más utilizados para este paso son los accidentados y los vehículos de edad media de modelos comunes, como fuente de repuestos.
- Luego de la recuperación de los componentes, se continúa con la recuperación de materiales valiosos: los componentes que no pueden ser revendidos pero que consisten en materiales que sirven para el reciclaje (como cobre, PVC de los arneses de cableado o platino de los convertidores catalíticos).
- Los vehículos de fin de ciclo de vida canibalizados son enviados para la trituración con el fin de recuperar las partes metálicas. Los metales que no se pueden recuperar son enviados a los vertederos.

Vehículo de Fin de Ciclo de Vida

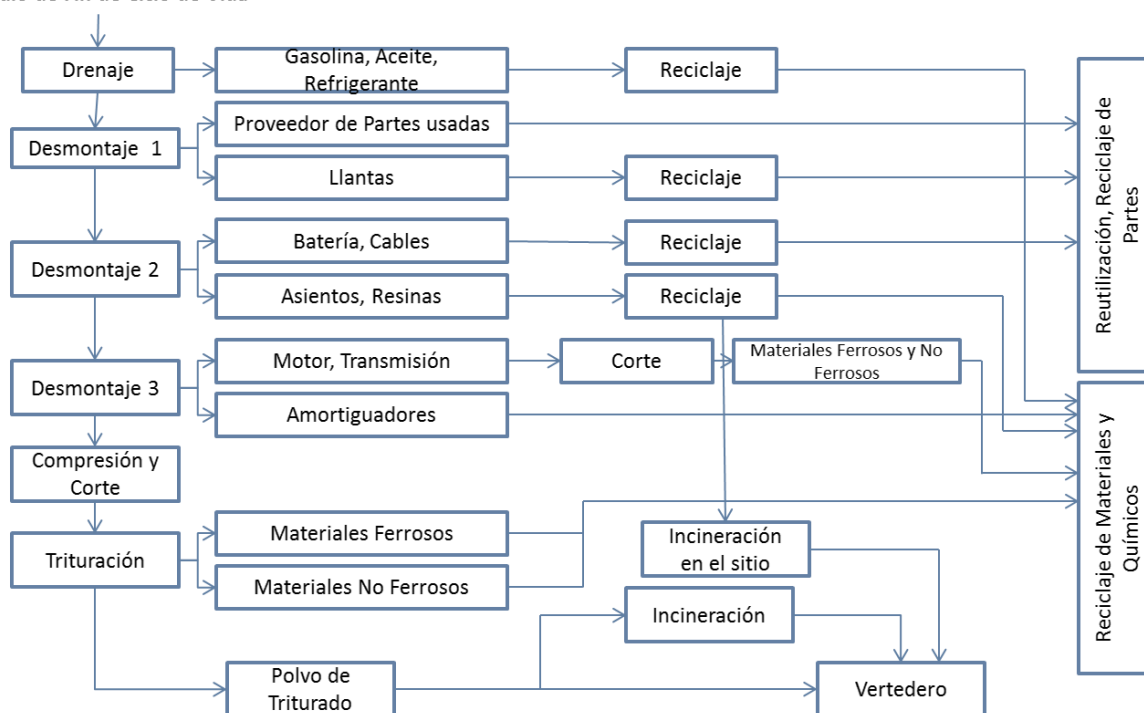


Figura 13 Flujo de Materiales de un sistema de tratamiento de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida. Fuente: (Kumar & Putnam, 2008)

En julio de 1997, la Comisión Europea presentó una propuesta para los vehículos que llegan al fin del ciclo de vida, en donde se explica los términos y responsabilidades para cada miembro del sector del automóvil:

- La reutilización es cualquier operación mediante la cual un componente de un vehículo de fin de ciclo de vida es usada para el mismo propósito para el cual fue fabricado.

- El reciclaje es el reproceso de los materiales de desecho para su propósito original o para otros procesos excluyendo el uso de los materiales para la generación de energía.
- La recuperación es una operación que incluye la siguiente:
 - o Regeneración de ácidos o bases
 - o Recuperación de componentes del catalizador
 - o Uso principalmente como combustible u otras formas de generación de energía

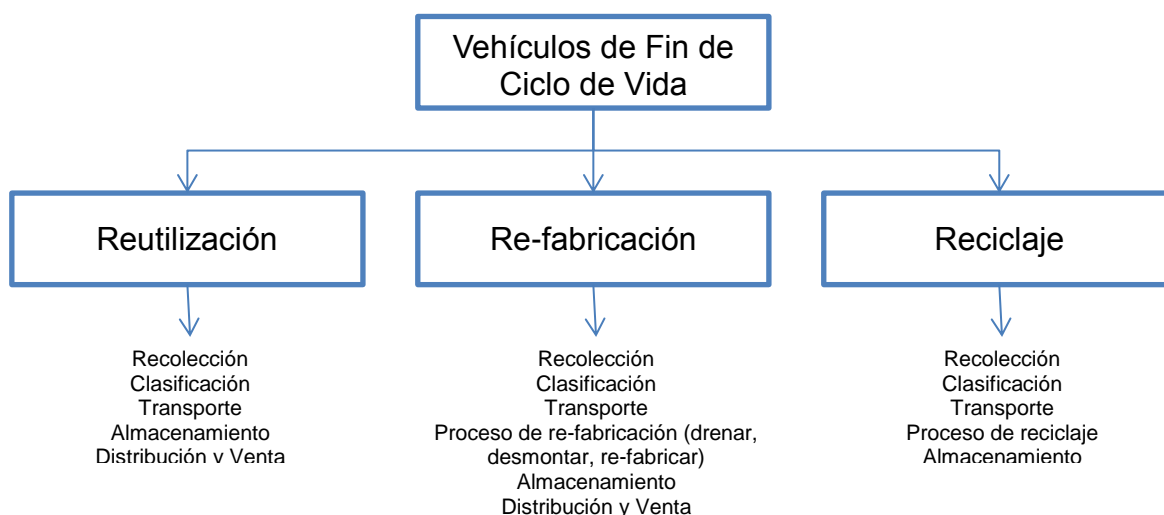


Figura 14 Procesos de los Vehículos de Fin de Ciclo de Vida según su opción de tratamiento

En el *PROCESO DE RECOLECCIÓN* existen dos fuentes principales de vehículos de fin de ciclo de vida: los clientes individuales que llevan el vehículo al centro de recolección por un pago ofrecido y grandes corporaciones como empresas aseguradoras, autoridades locales o la policía. (Ferguson & Browne, 2001). Generalmente los recolectores ofrecen un pago por el vehículo establecido de acuerdo a la experiencia y el estado en el que se encuentre el vehículo.

El *PROCESO DE CLASIFICACIÓN* incluye el desguace y la remoción de partes y materiales del vehículo. Esta operación es realizada por un operador especializado. Una investigación realizada por la Ford sugiere que si el proceso de clasificación sobrepasa los 30 minutos entonces el costo proceso de clasificación excede el valor del material en el caso de los plásticos. (Ferguson & Browne, 2001)

El *TRANSPORTE* representa un porcentaje alto del costo total de reciclaje, este dependerá de la cantidad de material recolectado, por lo tanto baja densidad de materiales causan condiciones ineficientes de transporte. Para estimar el costo del transporte de los vehículos que llegan al fin de su ciclo de vida se deben tener en consideración las siguientes condiciones (Schultmann et al., 2006):

- La mayoría de situaciones de productos que llegan al fin de su ciclo de vida están demarcados por una amplia área de ocurrencia en combinación

como pocos centros de reciclaje para el reproceso. Con el fin de asegurar un aprovisionamiento continuo para estos centros de reciclaje se requiere de un transporte periódico de los vehículos. En consecuencia, la cantidad de productos recolectados por fuente y por periodo es baja, por ejemplo, envíos de camiones de productos y componentes incompletos se requieren en la mayoría de los casos. La planificación del transporte para este tipo de redes necesita ser realizada mediante ruteo para asegurar la eficiencia económica. Las estrategias de transporte de los vehículos recolectados deberán ser adaptadas a cada caso en particular.

- Debido a que la cantidad, calidad y el momento en que los materiales son retornados es altamente variable, la gestión de los flujos deberá hacer frente a varias incertidumbres.

El *ALMACENAMIENTO* de los vehículos de fin de ciclo de vida se puede realizar antes o después del reproceso de reciclaje o re-fabricación para luego seguir con su posterior distribución y venta. Según (Ferguson & Browne, 2001) existen 3 tipos de instalaciones de almacenamiento requeridas: almacenes para residuos peligrosos, para scrap de metal y para partes y piezas de coches.

El proceso de *DISTRIBUCIÓN Y VENTA* es la interface entre el comprador y la venta de partes y materiales que se encuentran en los almacenes. Generalmente, el proceso de venta ocurre en la ubicación del desmantelador. La venta de las partes es impredecible y difícil de pronosticar.

3.1.2.1 Proceso de Logística Inversa para los Neumáticos

En la industria del automóvil el reciclaje y la re-fabricación se realiza principalmente en los neumáticos, por lo tanto dentro de esta investigación es importante describir la Logística Inversa para este componente. En el año 2001, se generaron en los Estados Unidos 281 millones de neumáticos para el desecho. Aproximadamente el 75% de estos neumáticos fueron usados en mercados secundarios (Sunthonpagasit & Duffey, 2004).

Una vez que los neumáticos cumplen el ciclo de vida una opción de re-fabricación es el rencauche. Es importante mencionar que los neumáticos rencauchados se venden en mercados secundarios a un precio de 30% a 50% menor al de los neumáticos originales pero se pueden utilizar casi el mismo kilometraje que los totalmente nuevos. (Sasikumar, Kannan, & Haq, 2010)

Un neumático está compuesto por un rodamiento o banda de rodaje, el cual se encuentra en contacto con la calzada y una camisa o estructura interna que consiste en caucho reforzado con cables de acero. Una vez que el neumático ha sido utilizado el rodamiento ya no sirve, pero la estructura interna muchas veces se encuentra en buen estado (Sasikumar et al., 2010). El rencauche de neumáticos es el proceso en el cual se reemplaza el rodamiento usado por uno nuevo.

Aparte del rencauche, el principal uso de los neumáticos reciclados es como combustible (Tire Derived Fuel), principalmente en los hornos de cemento o plantas termoeléctricas (probablemente el 33% de los neumáticos reciclados). Los neumáticos también son usados en la ingeniería civil, como recolectores de lixiviados en los rellenos sanitarios y como relleno de terraplenes en las carreteras, (estos usos se llevan un 15% de los neumáticos de fin de ciclo de vida). El tercer uso es como polvo neumático o también conocido como caucho molido (aproximadamente un 12%), utilizado para las superficies de equipos deportivos, asfalto, mezclas de plásticos, productos moldeado y productos automotrices, aplicaciones en la construcción, etc. (Sasikumar et al., 2010).

El proceso de rencauche de neumáticos está compuesto por las siguientes actividades, según (Eldin & Piekarski, 1993):

1. Recolección de los neumáticos usados de los distribuidores, propietarios y recolectores
2. Clasificación y diagnóstico del estado de los neumáticos
3. Transporte de los neumáticos recolectados a un almacén o centro de devoluciones
4. Proceso de rencauche de los neumáticos
5. Distribución y venta de los neumáticos en mercados secundarios o recicladores (en el caso de que los productos tengan defectos para uso en otras industrias)

Según el modelo genérico el proceso inverso para el rencauche de neumáticos es el siguiente:

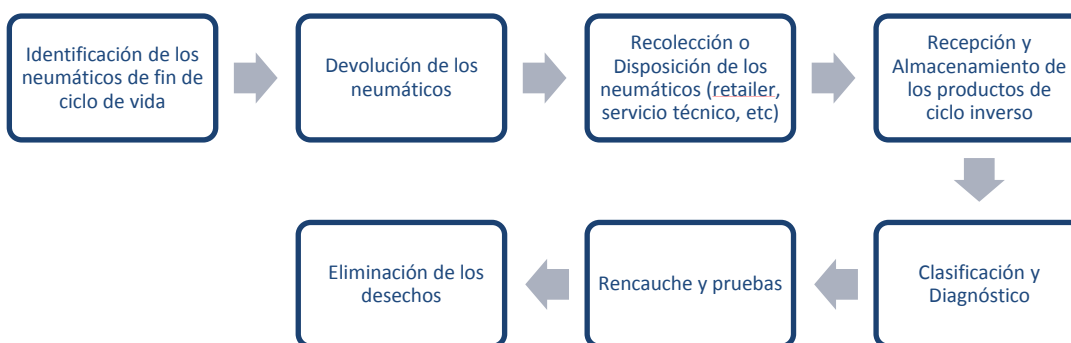


Figura 15 Proceso Genérico de Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos

El modelo genérico en comparación con el modelo presentado por (Eldin & Piekarski, 1993) introduce algunos procesos adicionales como son:

- La identificación de los neumáticos de fin de ciclo de vida, en el cual se determina la ubicación de los productos a recolectar y la cantidad aproximada.

- El proceso de devolución, en el cual el cliente entrega los neumáticos al centro de recolección.
- El proceso de recolección genérico integra al proceso de transporte por lo que no está mencionado en el modelo genérico como un proceso adicional.
- En el proceso de recepción se admiten y se verifican la cantidad de neumáticos en un lugar designado, este puede ser una planta de tratamiento o un centro de devoluciones.
- En el proceso de clasificación y diagnóstico se revisan que los neumáticos se encuentren en buen estado para el rencauche, caso contrario estos serán vendidos a recicladores.
- El proceso de rencauche y pruebas es el corazón de este modelo y se encuentra tanto en el modelo genérico como en el modelo de (Eldin & Piekarski, 1993)
- El proceso de eliminación de desechos puede tomarse como la venta de los neumáticos que no pueden ser rencauchados a recicladores o por otro lado la eliminación del scrap ocasionado por el mismo proceso de rencauche.

3.1.2.2 Costos de la Logística Inversa para los Neumáticos

(Sasikumar et al., 2010) realiza un estudio de las variables involucradas dentro de la Logística Inversa para el rencauche de neumáticos de una empresa ubicada al sur de la India, la investigación involucra la cantidad de instalaciones necesarias, su ubicación de acuerdo al flujo de los neumáticos, etc.

Para propósitos de esta investigación el costo de re-fabricación incluye: los costos de desmontaje, inspección, calidad y re-fabricación, Además se considera que todos los neumáticos que no pueden ser rencauchados son vendidos a recicladores para el uso del polvo neumático en otras industrias. Del total de neumáticos recolectados mensualmente el 98% son rencauchados y el 2% no cumplen con las características de calidad por lo tanto son vendidos a recicladores.

La empresa tiene ocho plantas de rencauche en diferentes ciudades. Cada una tiene una capacidad promedio de rencauche de 20 a 25 neumáticos por día. En promedio la materia prima (nuevo rodamiento) requerida es de 25kg por neumático con un costo de 2,12€ por kg. La compañía se concentra principalmente en el rencauche de neumáticos de camión que tienen mayor demanda en mercados secundarios, en la tabla de costos de Logística Inversa para el rencauche de neumáticos se asume que todos los neumáticos re-fabricados son vendidos.

Los puntos de recolección iniciales son talleres, tiendas de aceites, tiendas de repuestos, etc. En este punto se generan costos como son el arrendamiento de espacio para el almacenamiento de los neumáticos recolectados. Dentro del

costo de re-fabricación o rencauche se encuentran los costos asociados con el desmontaje y la inspección de los neumáticos.

COSTOS PARA EL RENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (RE-FABRICACIÓN)			
Cantidad mensual recolectada	690		
Costos	Valor Mensual	Valor Unitario	%
Costos de Recolección	27.557,05 €	39,94 €	52,77%
Costos de Transporte del punto de recolección a la central de devoluciones	49,76 €	0,07 €	0,09%
Costo de transporte de la central de devoluciones a la planta de rencauche	33,98 €	0,05 €	0,07%
Costos de Rencauche o Re-fabricación	24.543,57 €	35,57 €	47,00%
Costo de Distribución y Transporte del neumático	32,27 €	0,05 €	0,07%
Costo Total de la LI	52.216,63 €	75,68 €	100%
Ventas totales del producto re-fabricado	58.904,56 €	85,37 €	
Ganancias de los neumáticos rencauchados	6.687,93 €	9,69 €	

Tabla 19 Costos de la Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos, cantidad recolectada: 690 unidades. Datos:(Sasikumar et al., 2010)

En la siguiente tabla aumenta la cantidad recolectada a 750 unidades al mes, de esta manera se puede observar con varían los costos en relación a la tasa de recolección.

COSTOS PARA EL RENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (RE-FABRICACIÓN)			
Cantidad mensual recolectada	750		
Costos	Valor Mensual	Valor Unitario	%
Costos de Recolección	29.953,32 €	43,41 €	52,78%
Costos de Transporte del punto de recolección a la central de devoluciones	49,84 €	0,07 €	0,09%
Costo de transporte de la central de devoluciones a la planta de rencauche	36,31 €	0,05 €	0,06%
Costos de Rencauche o Re-fabricación	26.685,68 €	38,68 €	47,02%
Costo de Distribución y Transporte del neumático	33,84 €	0,05 €	0,06%
Costo Total de la LI	56.758,99 €	75,68 €	100,00%
Ventas totales del producto re-fabricado	64.045,64 €	85,39 €	
Ganancias de los neumáticos rencauchados	7.286,65 €	9,72 €	

Tabla 20 Costos de la Logística Inversa para el Rencauche de Neumáticos, cantidad recolectada: 750 unidades. Datos: (Sasikumar et al., 2010)

Como se puede observar en la Tabla 19 y en la Tabla 20 los costos más significativos son los de recolección y los de re-fabricación o rencauche. Por otro lado, los costos de transporte permanecen casi constantes a medida que la cantidad recolectada de productos aumenta. Es importante mencionar que las ganancias aumentan a medida que la cantidad recolectada también aumenta.

En las siguientes tablas se presentan dos nuevos escenarios en donde se consideran que el 2% de los neumáticos no están aptos para el rencauche y por lo tanto son entregados a recicladores, evitando así el costo de disposición final de los neumáticos; con las mismas cantidades de recolección de 690 y 750 neumáticos de los escenarios anteriores.

COSTOS PARA EL RENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (RE-FABRICACIÓN)			
Cantidad mensual recolectada	690		
Cantidad mensual apta para rencauche (98%)	676		
Cantidad mensual para recicladores (2%)	14		
Costos	Valor Mensual	Valor Unitario	%
Costos de Recolección	27.005,91 €	39,94 €	52,77%
Costos de Transporte del punto de recolección a la central de devoluciones	48,76 €	0,07 €	0,09%
Costo de transporte de la central de devoluciones a la planta de rencauche	33,30 €	0,05 €	0,07%
Costos de Rencauche (incluye desmontaje e inspección)	24.052,70 €	35,57 €	47,00%
Costo de Distribución del neumático rencauchado	31,62 €	0,05 €	0,07%
Costo Total de la Logística Inversa	51.172,29 €	75,68 €	100,00%
Ventas totales del producto re-fabricado	57.726,47 €	85,37 €	
Ganancias de los neumáticos rencauchados	6.554,17 €	9,69 €	
Costo de Transporte de la planta de rencauche al reciclador	3,07 €	0,22 €	5,31%
Ingresos del Reciclador	60,13 €	4,36 €	
Ganancias de los neumáticos reciclados	57,06 €	4,14 €	
Ganancias de los neumáticos rencauchados + reciclados	6.611,23 €		

Tabla 21 Costos para el Rencauche y Reciclaje de Neumáticos. Cantidad recolectada: 690 unidades.
Datos: (Sasikumar et al., 2010)

El costo de transporte de la planta de rencauche al reciclador corresponde a un 5,31% de las ganancias obtenidas de los neumáticos vendidos a los reciclados, pero no se consideran dentro de los costos de la Logística Inversa debido a que son pagados por los compradores de los neumáticos.

COSTOS PARA EL RENCAUCHE DE NEUMÁTICOS (RE-FABRICACIÓN)			
Cantidad mensual recolectada	750		
Cantidad mensual apta para rencauche (98%)	735		
Cantidad mensual para recicladores (2%)	15		
Costos	Valor Mensual	Valor Unitario	%
Costos de Recolección	31.906,80 €	43,41 €	52,77%
Costos de Transporte del punto de recolección a la central de devoluciones	53,09 €	0,07 €	0,09%
Costo de transporte de la central de devoluciones a la planta de rencauche	38,68 €	0,05 €	0,06%
Costos de Rencauche (incluye desmontaje e inspección)	28.426,05 €	38,67 €	47,02%
Costo de Distribución del neumático rencauchado	36,05 €	0,05 €	0,06%
Costo Total de la LI	55.623,81 €	82,26 €	100,00%
Ventas totales del producto re-fabricado	62.764,73 €	85,39 €	
Ganancias de los neumáticos reencauchados	7.140,92 €	9,72 €	
Costo de Transporte de la planta de rencauche al reciclador	3,12 €	0,21 €	5,06%
Ingresos del Reciclador	65,35 €	4,36 €	
Ganancias de los neumáticos reciclados	62,23 €	4,15 €	
Ganancias de los neumáticos rencauchados + reciclados	7.203,15 €		

Tabla 22 Costos para el Rencauche y Reciclaje de Neumáticos. Cantidad recolectada: 750 unidades. Datos: (Sasikumar et al., 2010)

Por lo tanto, es importante mencionar que mientras más alto sea el porcentaje de neumáticos que no se encuentran aptos para el rencauche las ganancias bajan debido a que los costos de recolección y transporte permanecen constantes. Por otro lado, la compañía rencauchadora se evita los gastos de disposición final del producto al venderlo a los recicladores.

A continuación se realiza una comparación de los costos propuestos en el modelo genérico con los costos utilizados por (Sasikumar et al., 2010):

Proceso Genérico de la Logística Inversa para los Neumáticos		
Proceso del Modelo Genérico	Costos del Modelo Genérico	Costos Sasikumar et al, 2010
Identificación de los productos	Costos de Identificar los productos	
Devolución de los productos	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)	

Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte	Costos de Recolección Costos de Transporte del punto de recolección a la central de devoluciones Costos de Transporte de la Central de devoluciones a la planta de rencauche
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos	
Clasificación y Diagnóstico	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos	
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos	Costo de Rencauche o Re-fabricación, incluye las pruebas Costo de Transporte de la planta de rencauche al reciclador
Eliminación de los Desechos	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa	

Tabla 23 Comparación de los Costos del Modelo Genérico para Neumáticos

Como se puede observar en la comparación de la Tabla 23 los costos asociados a la identificación, devolución, recepción y almacenamiento, clasificación y diagnóstico y eliminación de desechos no genera costos, por lo contrario generan ganancias por la venta a recicladores. Por otro lado el modelo genérico considera el costo de recolección de los productos como uno solo con el costo de transporte, siendo este uno de los más significativos para el modelo.

Dentro del proceso de recolección de los productos se consideran los costos de transporte, en el modelo de Sasikumar los costos de transporte están divididos en dos rubros, el primero el costo de transporte desde el punto de recolección a la central y el segundo desde la central hasta la planta de rencauche, estos costos dependerán de cada empresa debido a que se puede o no tener un centro de devoluciones o por otro lado este centro puede estar ubicado en la misma planta de rencauche.

En la fase de fabricación y pruebas se colocó además del costo de rencauche al costo de transporte de la planta de rencauche al reciclador debido a que en este caso se considera como un costo de reutilización. Por último, un costo que no está considerado dentro del modelo de genérico es el de distribución, debido a que una vez que el producto se encuentra listo para reintroducirse en la cadena de suministros los costos son los del proceso directo y por lo tanto no se deben tomar en cuenta en un sistema inverso.

3.2 Modelo de Logística Inversa para la Industria de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

3.2.1 Antecedentes de la Industria

La Logística Inversa juega un rol muy importante dentro de la industria electrónica de los países desarrollados, particularmente luego de la implementación del WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) y del RoHS (Restriction of Hazardous Substance en la Comunidad Europea. (Hung Lau & Wang, 2009)

En la actualidad, los productos de fin de ciclo de vida son generalmente recolectados por el OEM (Original Equipment Manufacturer) debido a las nuevas legislaciones, obligaciones contractuales (arrendamiento o leasing de los productos) o fallas técnicas, además del creciente interés medioambiental de los consumidores.(H. R. Krikke, van Harten, & Schuur, 1999)

Las empresas dedicadas a la producción de aparatos electrónicos han invertido grandes cantidades de dinero en investigación y desarrollo tecnológico para hacer posible la recolección de los productos y componentes para su reutilización o re-fabricación convirtiendo este aspecto en una estrategia de negocio.

En la industria de los aparatos electrónicos existen varias empresas interesadas en programas de reciclaje, reutilización y re-fabricación. Uno de los ejemplos más comunes es la de las copiadoras Xerox que son arrendadas, reformadas y van a través de múltiples ciclos de vida y los teléfonos móviles que son recolectados y vendidos en mercados secundarios. (Kumar & Putnam, 2008).

Los principales motivos para el reciclaje, re-fabricación y reutilización de aparatos electrónicos son:

- Legislaciones medioambientales actuales y futuras
- Preferencias de los consumidores por productos “verdes”
- Imagen corporativa y sostenibilidad
- Costos en aumento de los depósitos de basura y vertederos
- Beneficios económicos
- Rápido incremento de la basura electrónica o e-waste que contiene sustancias tóxicas peligrosas para el medioambiente, por lo que el vertedero no es una solución factible

Las empresas fabricantes de productos electrónicos han empezado a diseñar sus productos con el fin de ser actualizados o reutilizados con el fin de extender la vida útil del mismo. Un desafío adicional para la Logística Inversa es el aprovisionamiento de las redes ya que deberán mirar hacia adelante y hacia atrás para la planificación de materiales.

Dentro de la industria electrónica existen cuatro stakeholders que intervienen en el proceso de productos de fin de ciclo de vida:

- Puntos de Recolección, la mayoría son los retailers
- Puntos de Almacenamiento, los cuales actúan como un buffer entre la recolección y las plantas de reciclaje y desmontaje
- Plantas de desmontaje y reciclaje, para desmantelamiento, desmontaje, trituración y clasificación de los productos
- Mercado Secundario, tratamiento y disposición final

3.2.2 Procesos de la Logística Inversa para Aparatos Eléctricos y Electrónicos

La planificación de los procesos de Logística Inversa de aparatos electrónicos debe considerar varios aspectos fundamentales para el funcionamiento como son: la recolección, el desmontaje, el reciclaje o la re-fabricación y la disposición final o eliminación de ser el caso.

La Logística Inversa en las empresas de aparatos electrónicos puede ser realizada por la propia empresa (ejemplo: Kodak y Hewlett-Packard), si esta se encuentra en la capacidad de asumirla o puede ser realiza por terceros (ejemplo: 3M). (Hung Lau & Wang, 2009)

- Los sistemas propios de Logística Inversa son apropiados para empresas de productos de gama alta, de esta manera se puede recolectar información valiosa acerca de los productos y como mejorarlos, sin embargo este proceso necesita de alta inversión de capital.
- Por otro lado, la externalización permite a la empresa enfocarse en las actividades principales del negocio y alcanzar una Logística Inversa más flexible, así como la transferencia del riesgo a terceros. (Hung Lau & Wang, 2009)

El proceso de retorno de los aparatos electrónicos puede ser dividido en dos etapas:

1. El cliente devuelve el producto a un retailer o a un local propio de la compañía, por ejemplo en el caso de las copadoras los clientes devuelven los productos al final de sus contratos de arrendamiento, para que luego la compañía restaure el producto y lo ponga nuevamente en el mercado.
2. En la segunda etapa los productos pueden ser reprocesados mediante tres estrategias de recuperación:
 - Reutilización: se revisa y se prueba la funcionalidad del producto, luego se procede a realizar la limpieza. Luego el aparato se vende nuevamente pero en mercados secundarios.
 - Re-fabricación: los aparatos que han sido devueltos son desensamblados, las partes que se pueden reutilizar son probadas y

pasan a formar parte de un nuevo modelo junto con componentes totalmente nuevos y el resto son recicladas o eliminadas. Los productos obtenidos son de la misma calidad que los totalmente nuevos y son vendidos como tal.

- Reciclaje: los productos devueltos son desensamblados a nivel de partes para el reciclaje de los materiales.

La red de producción y distribución engloba tres niveles: plantas, almacenes y mercados. Los productos son transportados desde las plantas hasta los diferentes mercados directamente o a través de los almacenes variando los costos de transporte. Además para cada mercado una cierta cantidad de productos debe ser recolectada. Posteriormente, los productos recolectados son desensamblados y probados para su reutilización, después de los cual los productos son reparados, mientras que los rechazados son eliminados. (Mortiz Fleischmann et al., 2000)

Los productos usados deben ser inspeccionados en un centro de desmontaje en donde se dividen los productos en tres categorías: productos de alta calidad que pueden ser reparados y enviados a un centro de distribución para su reventa, productos que contienen partes reutilizables son enviados a una planta para ser reutilizados en un proceso de producción y el resto de productos son eliminados.

Un sistema de Logística Inversa para el sector de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos, a partir del modelo genérico de referencia planteado anteriormente debería estar conformado de la siguiente manera:

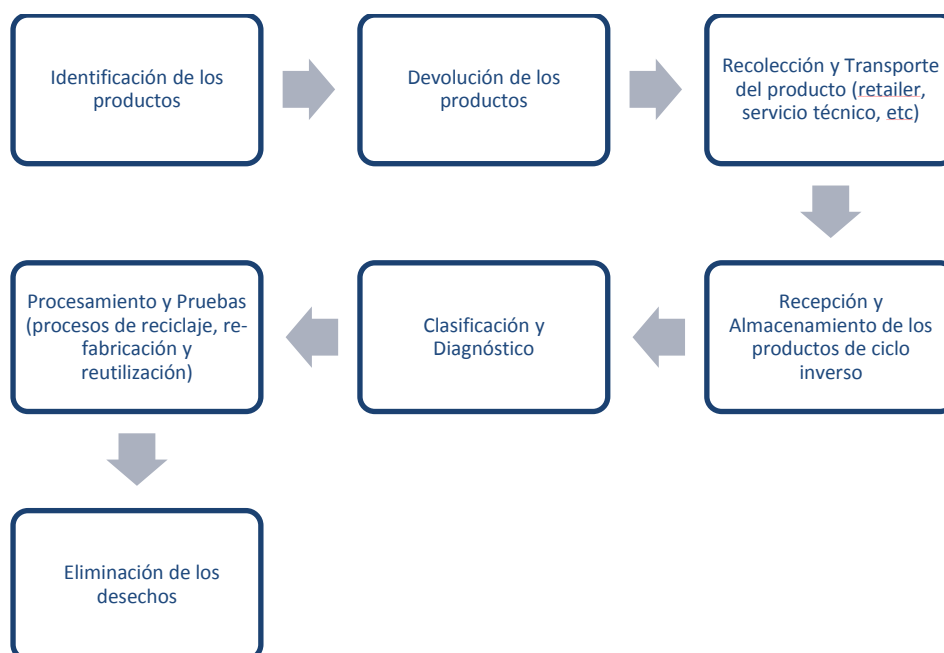


Figura 16 Procesos de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos

La IDENTIFICACIÓN de los aparatos electrónicos y eléctricos consiste en determinar la ubicación y cantidad aproximada de los productos de fin de ciclo de vida.

La DEVOLUCIÓN es el proceso mediante el cual el cliente entrega el producto en el lugar designada para la recolección, en algunos casos los clientes podrán recibir incentivos para realizar la devolución.

En los aparatos electrónicos y eléctricos, la *RECOLECCIÓN* generalmente es realizada por los retailers, como es el caso de los teléfonos móviles. La recolección se refiere a todas las actividades que representan a los productos usados disponibles y en movimiento a algún punto para recibir tratamiento. El transporte se encuentra considerado dentro de la recolección.

La *RECEPCIÓN Y EL ALMACENAMIENTO* es la actividad en la cual se reciben y se verifican los productos en un lugar designado, puede ser un centro de devoluciones, una planta de tratamiento, etc.

La *CLASIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO* son todas las operaciones necesarias para determinar si un producto es reutilizable, o que partes se pueden usar de tal producto y en qué manera. Por ejemplo, en el caso de las copadoras, estas son inspeccionadas para determinar qué tipo de tratamiento requieren y que partes deben ser reemplazadas. Muchas veces para la inspección y clasificación, los productos electrónicos deben ser desmontados y probados.

El PROCESAMIENTO Y LAS PRUEBAS se refieren a convertir el producto que llega al fin de ciclo de vida en un producto utilizable. Este proceso puede incluir varios tratamientos como reciclaje, reparación, re-fabricación, limpieza, etc.

La *ELIMINACIÓN DE DESECHOS* se utiliza en el caso que los productos no puedan ser reutilizados, re-fabricados o reciclados por razones técnicas o económicas. La eliminación incluye transporte al vertedero e incineración. (Mortiz Fleischmann et al., 2000)

3.2.3 Costos de la Logística Inversa para Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Según (Shih, 2001), el costo total del flujo inverso está estructurado con los siguientes rubros:

- Costos de Recolección y Clasificación
- Costo de transporte
- Costos operativos (reciclajes, reutilización, re-fabricación)
- Costos fijos de las instalaciones de almacenamiento
- Costo de la disposición final y de los desperdicios sólidos generados

Estimar la cantidad de aparatos electrónicos y eléctricos de fin de ciclo de vida es importante, debido a que según este dato se planificará de una mejor manera el transporte, la capacidad de reciclaje y el tamaño de las instalaciones para el reciclaje. Esta cantidad se estima basándose en el promedio del ciclo de vida con las ventas anuales de años pasados y la tasa de recolección (Shih, 2001).

Los *COSTOS DE TRANSPORTE* se han calculado para varios escenarios dependiendo de la tasa de recolección de los productos de fin de ciclo de vida en el estudio presentado por (Shih, 2001), para esta investigación se tomará en cuenta el costo del transporte con una tasa de recolección del 50%, obteniendo el siguiente valor: €0,27 como costo unitario de transporte, tomando como distancia promedio de transporte de los aparatos 40km. La cantidad de productos recolectados para esta tasa de recolección es de aproximadamente 975.500 unidades.

Los *COSTOS OPERATIVOS* de una planta desmontaje y reciclaje pueden ser estimados de acuerdo a los costos generados de las plantas ya existentes en Taiwán. Según (Shih, 2001), el costo para una tasa de recolección del 50%: €3,78 por unidad

Los *COSTOS DE LAS INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO* para el mismo escenario es de €1,98 por unidad y el valor para los *COSTOS FIJOS* propuestos son de: €0,63 por unidad . (Shih, 2001)

En Taiwán, los fabricantes e importadores pagan aproximadamente 20 USD o €18,55 por la *DISPOSICIÓN FINAL* por cada producto que venden para un fondo que gestiona el reciclaje y la disposición eficaz de los productos al fin de su ciclo de vida. Este valor es calculado multiplicando la tasa de disposición por unidad y el volumen supuesto de recuperación. La tasa de recuperación alcanzada en años anteriores es usada como base para establecer la tasa de los años siguientes. El comité que gestiona los fondos es encargado de establecer un sistema efectivo de recolección y reciclaje de los aparatos electrónicos, pero se debe mencionar que este sistema no incluye la reparación y la re-fabricación de los productos de fin de ciclo de vida. (Shih, 2001). Según la cantidad recolectada con tasa del 50% el costo de la eliminación de los desperdicios es de €0,56 por unidad. .

Según los costos presentados en la investigación realizada por (Shih, 2001), los costos en Taiwán de reciclaje y disposición final de los productos electrónicos considerando una tasa de recolección del 50% son de:

APARATOS ELECTRÓNICOS				
RECICLAJE (tasa de recolección del 50%)		ANUAL	POR UNIDAD	%
Resumen	Ganancia Total	7.123.241,00 €	7,30 €	
	Cantidad de productos recolectados:	975.500		
Beneficios	Subsidio	11.074.688 €	11,35 €	78,2%
	Ganancias en el material reciclado (subtotal)	3.088.546 €	3,17 €	21,8%
	Hierro	437.349,7 €	0,45 €	
	Cobre	1.039.170,5 €	1,07 €	

	Aluminio	702.494,7 €	0,72 €	
	Plásticos	439.303,4 €	0,45 €	
	Cables	148.006,73 €	0,15 €	
	Vidrios	56.015,37 €	0,06 €	
	Compresor, Motor	200.477,53 €	0,21 €	
	CFC	65.728,05 €	0,07 €	
TOTAL BENEFICIOS		14.163.234 €	14,52 €	
Costos	Transporte	261.795,80 €	0,27 €	3,7%
	Operaciones (Reciclar y Desmontar)	3.684.120,00 €	3,78 €	52,3%
	Instalaciones	1.935.304,80 €	1,98 €	27,5%
	Costos ocultos	616.252,00 €	0,63 €	8,8%
	Desperdicios Sólidos Generados	542.520,40 €	0,56 €	7,7%
TOTAL COSTOS		7.039.993,00 €	7,22 €	

Tabla 24 Costos de Reciclaje y Disposición Final de los Aparatos Electrónicos, con tasa de recolección del 50% Fuente: (Shih, 2001)

Por lo tanto, el costo para el reciclaje y disposición final para aparatos electrónicos es de 7,22 euros por unidad, considerando una tasa de reciclaje del 50%. Mientras que los beneficios obtenidos por el material reciclado más el subsidio (que representa el 78,2% del total de los beneficios) es de 14,52 euros por unidad. La ganancia promedio por unidad es de 7,30 euros por unidad.

APARATOS ELECTRÓNICOS				
RECICLAJE (tasa de recolección del 70%)		ANUAL	POR UNIDAD	%
Resumen	Ganancia Total	10.351.819,00 €	7,52 €	
	Cantidad de productos recolectados:	1.375.713		
Beneficios	Subsidio	15.492.002,90 €	11,26 €	78,2%
	Ganancias en el material reciclado (subtotal)	4.312.095,00 €	3,13 €	21,8%
	Hierro	611.229,00 €	0,44 €	
	Cobre	1.445.179,80 €	1,05 €	
	Aluminio	982.432,00 €	0,71 €	
	Plásticos	614.020,00 €	0,45 €	
	Cables	207.092,20 €	0,15 €	
	Vidrios	78.427,10 €	0,06 €	
	Compresor, Motor	281.891,00 €	0,20 €	
	CFC	91.823,90 €	0,07 €	
TOTAL BENEFICIOS		19.804.097,90 €	14,40 €	
Costos	Transporte	354.457,00 €	0,26 €	3,7%
	Operaciones (Reciclar y Desmontar)	5.163.350,00 €	3,75 €	54,6%
	Instalaciones	2.558.509,70 €	1,86 €	27,1%

Costos ocultos	616.252,00 €	0,45 €	6,5%
Desperdicios Sólidos Generados	759.710,20 €	0,55 €	8,0%
TOTAL COSTOS	9.452.278,90 €	6,87 €	

Tabla 25 Costos de Reciclaje y Disposición final de los Aparatos Electrónicos, con tasa de recolección del 70%. Fuente: (Shih, 2001)

Por lo tanto, si la tasa de recolección aumenta el costo de reciclaje y disposición final disminuye, dando como resultado una reducción de los costos de la Logística Inversa a 6,87 euros (es decir un 5%) debido a un mejor uso de los recursos, además las ganancias por unidad aumentan 22 céntimos que corresponden al 3%.

Es importante mencionar que los beneficios y costos unitarios son aproximados ya que varían de acuerdo al producto a reciclar. Este estimado se realizó únicamente por motivos de investigación.

Un incentivo adicional es el subsidio por parte de los gobiernos, lo que hace que el reciclaje de aparatos electrónicos y eléctricos sea un negocio rentable y atractivo, este es un aspecto importante en el que se diferencia este modelo al modelo de los neumáticos.

En la siguiente tabla se realiza una comparación de los costos genéricos de la Logística Inversa con los costos propuestos por el modelo de (Shih, 2001):

Proceso Genérico de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos		
Proceso	Costos del Modelo Genérico	Costos Shih, 2001
Identificación de los productos	Costos de Identificar los productos	
Devolución de los productos	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)	
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte	Costos de Transporte
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Recepción y Almacenamiento de los Productos	Costo de las Instalaciones Costo de Almacenamiento
Clasificación y Diagnóstico	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos	
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos	Costos de Operaciones (Reciclar y Desmontar)
Eliminación de los Desechos	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa	Costo de los Desperdicios Sólidos Generados

Tabla 26 Comparación de los Costos con el Modelo Genérico para Aparatos Electrónicos y Eléctricos

En la [Tabla 26](#) se realiza una comparación de los costos del modelo genérico con los costos propuestos por (Shih, 2001), este modelo no considera los costos de identificación, devolución y recolección de los productos. Por otro lado incluye un costo de las instalaciones que se ha colocado como parte del costo de recepción y almacenamiento de los productos. Otro costo importante que no se toma en

consideración dentro del modelo es el costo de clasificación y diagnóstico el cual permite conocer el estado en el que se encuentran los productos y la opción de gestión más adecuada para cada uno de ellos, debido a que este modelo se centra principalmente en el reciclaje.

Por otro lado, en el costo de reciclaje y pruebas se coloca el costo de desmontaje el cual es considerable dentro de esta industria ya que los aparatos electrónicos y eléctricos están compuestos por varias partes y materiales por lo que es necesaria la operación de desmontaje antes del reciclaje de los materiales. El costo de eliminación de desechos en el modelo genérico corresponde al costo de los desperdicios sólidos generados en el modelo de (Shih, 2001).

3.3 Modelo de Logística Inversa para Empaques y Envases

3.3.1 Antecedentes de la Industria

Una industria modelo de la Logística Inversa son los empaques y envases retornables como contenedores plásticos, pallets, botellas de vidrio, latas, etc. Este modelo está caracterizado por tener pocas o ninguna actividad en los procesos de tratamiento o reprocesos, debido a que los empaques muchas veces solo necesitan limpieza y dependiendo el caso reparaciones mínimas, si la reparación es mayor generalmente los empaques son desechados.

Otra particularidad de este tipo de red es la alta rotación de los envases, ya que una vez que el contenido es entregado estos pierden su funcionalidad. (Moritz Fleischmann et al., 1997)

La red inversa de envases retornables tiene cuatro actores característicos de este tipo de industria (Mortiz Fleischmann et al., 2000):

1. Agencia propietaria de los envases
2. Proveedor del servicio logístico responsable del almacenamiento, distribución y recolección los contenedores vacíos
3. Remitentes y destinatarios de los contenedores llenos
4. Transportistas de los contenedores llenos del remitente al destinatario (generalmente el transporte es realizado por el proveedor logístico)

Para el estudio de la Logística Inversa de los empaques retornables, el actor de interés es el proveedor del servicio logístico encargado de entregar a los clientes los empaques y una vez utilizados recolectarlos para su reutilización, por lo tanto uno de los costos más significativos de este tipo de productos es el transporte.

Una consecuencia del uso de contenedores retornables es que, una vez utilizado el contenedor para transportar los productos desde el remitente hasta el destinatario, el contenedor debe ser transportado desde el remitente para el próximo envío. Adicionalmente al transporte, el sistema logístico incluye

mantenimiento y limpieza de los contenedores, así como su almacenamiento y administración. (Kroon & Vrijens, 1995)

Un caso común de Logística Inversa son las botellas retornables de vidrio usadas en refrescos, leche, cerveza, etc. La recolección de los envases es comúnmente realizada por el retailer o en el punto de venta, el momento que los clientes compran el producto se les cobra un monto adicional para crear un incentivo para la devolución. El monto adicional debe ser lo suficientemente alto como para que el cliente devuelva el producto pero lo suficientemente bajo para no perder las ventas. Según (Grimes-Casey, Seager, Theis, & Powers, 2007), las botellas retornables son costo efectivas a largo plazo, además los embotelladores solo tienen el incentivo de utilizar botellas retornables cuando la tasa de devolución es razonablemente alta.

Los envases retornables o rellenables pueden ser fabricados con vidrio o plástico y pueden reducir alrededor del 50% de los desperdicios sólidos generados, el consumo de energía y los costos de manufactura comparando con contenedores de un solo uso destinados a terminar en vertederos, incinerados o reciclados. (Grimes-Casey et al., 2007)

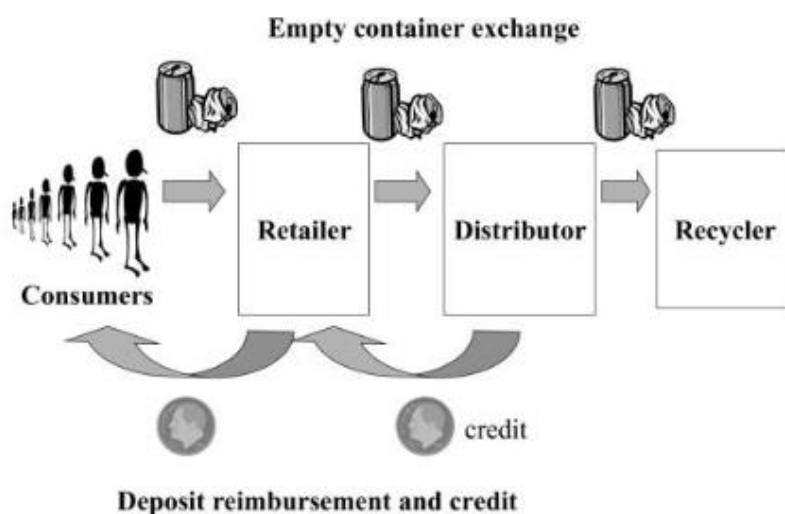


Figura 17 Red Inversa para Envases de Bebidas para Reciclaje. Fuente: (Goldsby & Closs, 2000)

Un empresa modelo de los envases retornables es “Logifruit” que es un pool de alquiler de envases, con más de 10 millones de envases propios (entre los cuales son cajas rígidas, cajas plegables, paletas, cajones, cajas de pescado), interproveedor de Mercadona, con un objetivo claramente definido: “Satisfacer las necesidades de envasado de los productos de nuestros Clientes al menor precio posible cumpliendo con la norma de las 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar)”(Logifruit, 2014)



Figura 18 Modelo Logístico de Logifruit. Fuente: (Logifruit, 2014)

Logifruit realiza todo el proceso de Logística Inversa de Mercadona, es decir se ocupa de los aspectos derivados de la gestión de la cadena de suministro, del traslado de materiales desde el usuario hacia el fabricante o hacia los puntos de recogida para su reutilización, reciclado o eventual trituración.

3.3.2 Procesos de la Logística Inversa para envases

El proceso de Logística Inversa puede describirse de manera general de la siguiente manera: (1) el remitente solicita los envases a la agencia propietaria, (2) la cual notifica el requerimiento a la empresa logística, (3) esta envía, generalmente en transporte propio, los envases o contenedores al remitente, (4) el remitente coloca los productos y los envía al destinatario, (5) una vez recibidos los productos, el destinatario notifica a la agencia central la recepción, (6) la agencia central notifica a la empresa de la recepción de los envases, (7) y esta procede a retirarlos para su limpieza y mantenimiento. En la siguiente figura se muestra el flujo de productos e información para un sistema logístico de envases retornables.

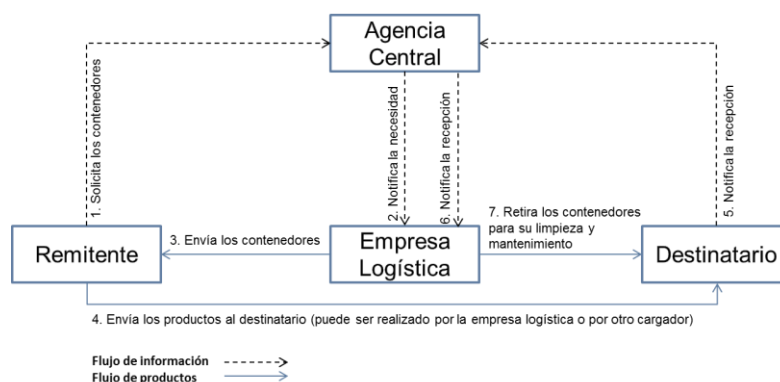


Figura 19 Flujo de los Envases Retornables

Los Sistemas de Logística Inversa de envases retornables se enfrentan a varias interrogantes como son la cantidad de envases retornables disponibles para brindar un buen servicio, las tasas de distribución y recolección, la ubicación y la cantidad de depósitos de contenedores.

3.3.2.1 Industria de los envases de bebidas en lata

Una de las industrias más conocidas de envases reciclables es el de bebidas enlatadas. Esta industria tiene un gran potencial de crecimiento debido a que el aluminio se puede reciclar varias veces sin perder sus propiedades, por lo tanto las empresas están interesadas en mejorar sus canales inversos para obtener todos los beneficios que este material ofrece.

La industria de los envases de bebidas en lata se ha creado “máquinas expendedoras inversas” en las cuales el cliente deposita los envases, la máquina los verifica, y luego se le reembolsa el depósito. Luego la máquina tritura y empaqueta los contenedores para la recolección por parte del distribuidor. El uso de máquinas expendedoras inversas ha aumentado en los últimos años, se estima que el 60% de los envases recolectados vienen de esta fuente según datos del estado de Michigan, Estados Unidos del año 1997 con proyecciones de aumento para los siguientes años. (Goldsby & Closs, 2000)

El proceso inverso para el reciclaje de los envases de las bebidas está conformado por las siguientes actividades:

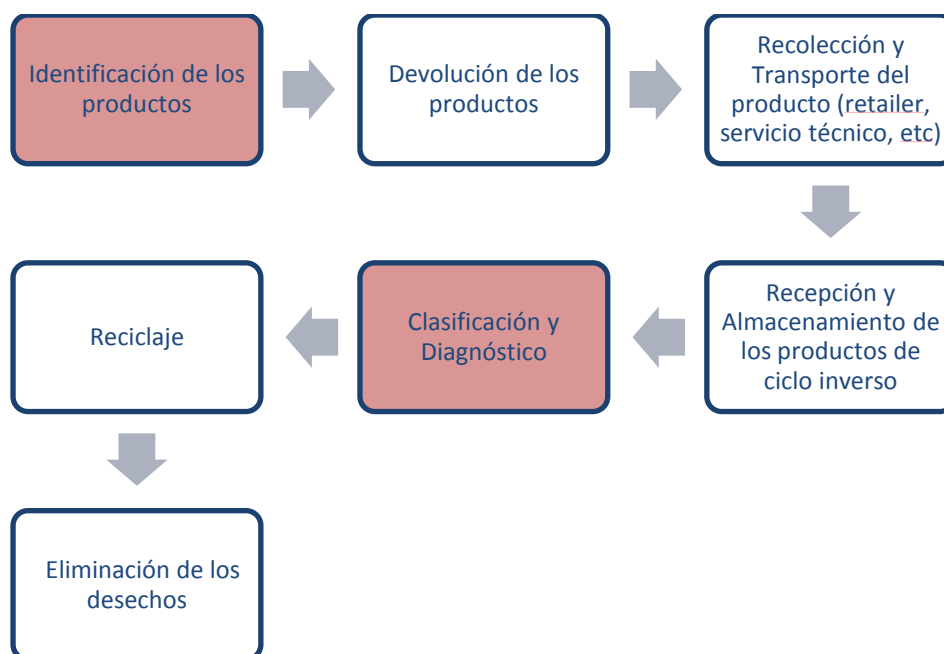


Figura 20 Proceso Inverso para el Reciclaje de Bebidas en Lata

Los actividades que se encuentran en color rojo no se realizan en un proceso de Logística Inversa de bebidas en lata, este proceso es uno de los más simples ya que no requiere de identificación de los productos, además no se realiza

clasificación y diagnóstico por que no interesa el estado en el que se encuentren las latas ya que se pueden reciclar.

3.3.3 Costos de la Logística Inversa de los envases de bebidas en lata

Por motivos de esta investigación se ha tomado en cuenta la cadena inversa de las bebidas en latas de aluminio para el reciclaje. Este proceso está constituido principalmente por la fundición del metal, lo cual es mucho más barato y consume mucha menos energía que la producción de aluminio desde cero. En Estados Unidos el 31% de aluminio utilizado proviene del reciclaje.

En España y en varios países del mundo se encuentra la empresa CrownCork que fabrica latas de aluminio, en su reporte de sostenibilidad del año 2015 afirma que el aluminio cumple con las siguientes características:

- El aluminio es un material liviano, apilable y de fácil almacenamiento, además de moldeable en cualquier forma.
- Además los metales generan una barrera contra la luz y el oxígeno, de esta manera almacena productos no manera segura por mayor tiempo.
- Los metales se pueden reciclar un infinito número de veces sin perder sus propiedades.
- El ciclo de vida desde que la lata es fabricada hasta que se convierte en una nueva lata es de solo 60 días.
- Cerca del 75% de la totalidad del aluminio producido se usa todavía en el mercado
- El 50% o más de las latas de comidas y bebidas producidas con un 50% de material reciclado.
- La industria del aluminio recicla 2 latas por cada 3 que envía
- El reciclaje de aluminio usado ahorra alrededor del 95% de energía comparado a una producción primaria y una cantidad equivalente de emisión de gases de efecto invernadero.

La empresa CrownCork ha ganado varios premios de sostenibilidad alrededor del mundo como son: el premio AEP Ohio por eficiencia energética y reducción de las emisiones de CO_2 , reconocimiento del gobierno de México por completar el programa de auditoría medioambiental, premio La Once de la Rioja en España, certificado del Mérito ECO en Irlanda, etc.

Para determinar los beneficios del reciclaje de los envases de lata de aluminio, primero se va a determinar los costos correspondientes a la elaboración de una lata con aluminio totalmente nuevo.

Según www.indexmundi.com, que es un portal web que consolida información de varias fuentes como: empresas, entidades gubernamentales, etc., el precio en el mercado de la tonelada métrica de aluminio es de 1.350 € (actualizado a Octubre, 2015), es decir el kilogramo de aluminio nuevo tiene un valor de 1,35 €, tomando

en consideración que el peso promedio de una lata de aluminio de 0,33 litros es de 20 gramos, el precio del aluminio para fabricar una lata nueva es de 0,027€.

Latas Nuevas	
Peso de lata de aluminio	20grs
Precio del aluminio materia prima (por lata)	0,027 €
Costo de producción (por lata)	0,08 €
COSTO TOTAL	0,107 €

Tabla 27 Costo Total de Latas de Aluminio Nuevas

Según Arpal (Asociación de Reciclado de Productos de Aluminio), el aluminio se puede reciclar al 100% e indefinidamente sin alterar su calidad ni perder sus propiedades. De todo el aluminio reciclado, el 17% es utilizado para la elaboración de envases para bebidas.

En España, se recicla más del 55% de envases de aluminio y en otros países puede alcanzar hasta un 90%. Los datos de una investigación realizada en el 2010 en España, que en total se han recuperado 16.769 toneladas de envases de aluminio, que corresponde a un 40% del material consumido.

Para determinar los costos de latas recicladas, se tomó en consideración el costo del aluminio reciclado, según la revista electrónica [ambientum \(www.ambientum.com\)](http://www.ambientum.com), en la cual dice que es de 1,05€ el kilogramo de aluminio, además se usa el 60% de energía para producir una lata con aluminio reciclado en comparación con una totalmente nueva, por lo que el costo de producción es de 0,032 €.

Latas Recicladas	
Peso de lata de aluminio	20grs
Precio de aluminio reciclado (por lata)	0,021 €
Costo de producción (por lata)	0,032 €
Costo promedio de la LI (por lata)	0,044 €
COSTO TOTAL	0,097 €

Tabla 28 Costo Total Latas de Aluminio Recicladas

El costo promedio de la Logística Inversa se obtuvieron de acuerdo a un estudio realizado por (Goldsby & Closs, 2000) en los Estados Unidos en donde se determinaron los costos para cada miembro de la red por lata que se indican a continuación:

Costos del Distribuidor: el costo promedio en el distribuidor se determinó basándose en el volumen relativo, los tipos de contenedores, los métodos de recolección y el tipo de camión utilizado (por ejemplo, camiones de carga, camiones de granel) para cada distribuidor.

En la siguiente tabla se resume la estructura típica de costos del distribuidor para cada una de las actividades de acuerdo al volumen relativo recolectado, los costos fueron asignados de acuerdo a la cantidad de contenedores manipulados y recolectados por el distribuidor:

Actividades del distribuidor	Costo por contenedor (€)
Recolección en camiones de carga	0,011
Recolección de camiones a granel	0,016
Almacenamiento y administración	0,0043
Devoluciones y transporte especial	0,0021
Trituración	0,0009
Costo promedio por contenedor	0,0168
*debido a que los valores por envase son extremadamente bajos se ha considerado el mismo valor colocado en USD	

Tabla 29 Costos de la Logística Inversa para el Distribuidor. Fuente:(Goldsby & Closs, 2000)

Es importante mencionar que la suma de los costos de cada una de las actividades no representa el costo total, debido a que dependerá del camión en el cual se realice la recolección. Si la recolección se realiza en camiones a granel los costos por envase son siete veces menores.

Costos del Retailer: se determinó un costo promedio del retailer de acuerdo el volumen de los contenedores, los tipos y los métodos de recolección utilizados por cada retailer. La información recolectada por (Goldsby & Closs, 2000) se refiere a los retailers que no utilizan máquinas expendedoras inversas lo cual reduciría los costos de mano de obra.

Actividades del retailer	Costo por contenedor (€)
Actividades de procesamiento	0,006
Mano de obra	0,006
Equipos y almacenamiento	0,015
Disposición de la basura	0,005
Costo promedio por contenedor	0,0275
*debido a que los valores por envase son extremadamente bajos se ha considerado el mismo valor colocado en USD	

Tabla 30 Costos de la Logística Inversa para el Retailer. Fuente:(Goldsby & Closs, 2000)

Basados en los costos promedios del distribuidor (0.0168€) y del retailer (0,0275€), la sumatoria de estos dos costos es igual a 0,0443€ refleja el costo proyectado por contenedor de las operaciones del canal inverso, desde el punto de recolección del consumidor hasta la entrega en el punto de reciclaje.

Según datos de Arpal, en el año 2010 en España se han recuperado 16.769 toneladas en envases de aluminio, que corresponden al 40% del material total consumido. En la siguiente tabla se muestra los costos de usar aluminio nuevo para la producción de la cantidad correspondiente a latas y los costos con aluminio reciclado.

Total de toneladas producidas en latas de aluminio en España	41.922,50
Total de toneladas de latas recolectadas	16.769,00
Total de unidades de latas recolectadas	838.450.000
Costo Latas fabricadas con materia prima nueva	89.714.150 €
Costo Latas fabricadas con material reciclado	81.581.185 €
Diferencia	8.132.965 €

Tabla 31 Diferencia de Costos de Latas Nuevas y Latas Recicladadas

Por lo tanto, la reducción de costos tanto en materia prima como en la producción es de alrededor de 8 millones de euros al año, considerando que una lata reciclada es 0,01 € más barata que una lata totalmente nueva, convirtiéndolo en un negocio rentable.

Proceso Genérico de la Logística Inversa para Reciclaje de Envases de Lata			
Procesos	Costos del Modelo Genérico	Costos según Goldsby & Closs 2000	%
Identificación de los productos	Costos de Identificar los productos		
Devolución de los productos	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)	Costo de Devoluciones y transporte especial	3,31%
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte	Costo de Recolección	25,24%
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos	Costo de Almacenamiento y Equipos	30,44%
Clasificación y Diagnóstico	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos		
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos	Costo de Trituración Costo de Producción y actividades para el procesamiento	33,12%

Eliminación de los Desechos	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa	Costo de Disposición de la Basura	7,89%
-----------------------------	--	-----------------------------------	-------

Tabla 32 Comparación de Costos con el Modelo Genérico para Envases de Lata

En la Tabla 32 se realiza una comparación con los costos del modelo genérico, los costos omitidos debido a que esos procesos no existen dentro del modelo de reciclaje de latas son los costos de identificación de los productos y los costos de clasificación y diagnóstico, el resto de costos se ven reflejados en las actividades tanto del distribuidor como del retailer.

Este capítulo se expuso la importancia de la Logística Inversa dentro de las empresas y sus cadenas de suministro, además se puede decir que el proceso genérico es correcto y se puede aplicar en la mayoría de los casos con algunas modificaciones dependiendo el sector al que se aplique, por lo tanto puede servir como una guía para las empresas para implementar procesos de Logística Inversa. En el siguiente capítulo, adicionalmente al modelo genérico se presenta un modelo para la toma de decisiones considerando todos los aspectos de la Logística Inversa y un análisis de los procesos con sus costos y beneficios implicados.

CAPÍTULO 4

MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA BASADO EN EL SCOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS

4. MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA BASADO EN EL SCOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

En el capítulo 3 se demuestra la importancia de una buena gestión de la Logística Inversa en diferentes industrias, ya que una administración eficiente puede llevar a la empresa a obtener beneficios importantes para la misma, el principal problema es que estos costos no demuestran todas las implicaciones internas por las que una empresa debe pasar para incluir la Logística Inversa dentro de sus procesos. Por lo tanto, en este capítulo se planteará un modelo genérico para una correcta implementación de la Logística Inversa.

Para desarrollar el modelo es importante que la empresa tenga conocimiento de todos los beneficios que puede acarrear un sistema de Logística Inversa para la misma, además de los problemas que pueden surgir a lo largo de la implementación y posterior aplicación.

Servicio/Mercado	El servicio de retorno mejora la satisfacción del cliente
	Incrementa la disponibilidad de partes de repuesto
	Retroalimentación oportuna a través de la recuperación temprana
	Reparaciones proactivas
	Imagen "Verde"
Costos	Reducción del riesgo de responsabilidades legales
	Recuperación del valor de los materiales y los componentes
	Recupera el valor de la mano de obra
	Evita los costos de disposición final
	Reduce el riesgo de obsolescencia a través de retorno oportunos
	Menor producción nueva de repuestos
Seguridad Ambiental	Reduce el impacto ambiental
	Cumplimiento de la legislación vigente
	Recuperación más confiable de productos defectuosos

Tabla 33 Beneficios de la Logística Inversa. Fuente: (Harold Krikke, Bloemhof-Ruwaard, & Van Wassenhove, 2003)

En la tabla anterior se colocan los beneficios de la implementación de un Sistema de Logística Inversa en relación a varios aspectos como son el servicio al cliente, el mercado, los costos y la seguridad ambiental, en lo que respecta a la Economía Circular los beneficios más importantes son la reducción del impacto ambiental y la recuperación de valor de los materiales y componentes.

Otro aspecto importante de la Logística Inversa en cualquier sector de la industria es conocer la razón y la fuente del retorno, por motivos de este trabajo el retorno

de interés son los productos que llegan al fin de ciclo de vida para la aplicación de uno de los sistemas de gestión (Reciclaje, Reutilización o Re-fabricación).

	<u>Socios de la CS</u>	<u>Usuarios Finales</u>
Productos	Fin de ciclo de vida	Productos Defectuosos
	Fin de temporada	Fin de Ciclo de Vida
	Caducidad	Reciclaje
	Daños en tránsito	Reutilización Re-fabricación
Empaques	Contenedores Reusables	Reciclaje
	Requerimiento de Desecho	Reutilización
	Empaque Múltiple	Restricciones de Desecho

Tabla 34 Fuentes de Retorno. Adaptado: Reverse Logistics Executive Council

Para diseñar un modelo para la implementación de la Logística Inversa en una organización es importante tener en consideración algunas observaciones propuestas por (Stock & Lambert, 2001):

Consideraciones para diseñar un Sistema de LI	
	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 delante);
	Una mejor optimización hacia delante (canal directo) reduce el numero de retornos.

Tabla 35 Consideraciones para diseñar un Sistema de Logística Inversa. Fuente:(Stock & Lambert, 2001)

4.1 Modelo AS-IS de la Industria de Electrónica y Eléctrica

La industria electrónica y eléctrica se encuentra caracterizada por ser una industria en continua mejora y desarrollo, es importante considerar que este tipo de aparatos tienen ciclos de vida muy cortos y una alta variabilidad de la demanda debido a los constantes cambios en el mercado.

Otra característica de este tipo de productos, es que contienen una gran variedad de materiales como son plásticos, metales, vidrio por lo cual se aplican diferentes opciones de gestión dentro de la Logística Inversa haciendo así mucho más compleja el manejo de la cadena circular.

Las industrias en los últimos años se han enfocado en la creación y desarrollo de productos sostenibles, realizando esfuerzos por unificar los materiales, en especial los plásticos, y crear componentes menos complejos para la elaboración de sus productos.

Uno de los problemas más frecuentes en el reciclaje y la disposición final correcta de los residuos electrónicos y eléctricos, ya que muchos de ellos contienen sustancias peligrosas para el medio ambiente que requieren de un tratamiento especial.

La importancia de la Logística Inversa está creciendo a nivel mundial en este tipo de industrias debido a que las compañías están cambiando la forma de hacer negocios para mejorar su competitividad, el servicio al cliente y al mismo tiempo reduciendo los costos del negocio.

Los procesos del modelo SCOR necesarios para un sistema de Logística Inversa se encuentran descritos dentro del Make y el Return. El Make describe los procesos relacionados con la transformación de materiales en productos como son: el ensamblaje, los procesos químicos, mantenimiento, reparación, revisión, reciclaje, restauración, re-fabricación y todas las actividades relacionadas con los procesos para la recuperación de materiales y componentes. Por otro lado el Return describe las actividades asociadas con los flujos inversos de productos, incluyendo la identificación de la necesidad de retorno, la toma de decisión de la disposición del producto, la programación del retorno y el envío.

Según las características actuales y de acuerdo con los procesos de la Logística Inversa del modelo SCOR propuesto en el capítulo 2, un proceso genérico con los costos generados por cada uno de ellos para la Logística Inversa de aparatos eléctricos y electrónicos se puede describir de la siguiente manera:

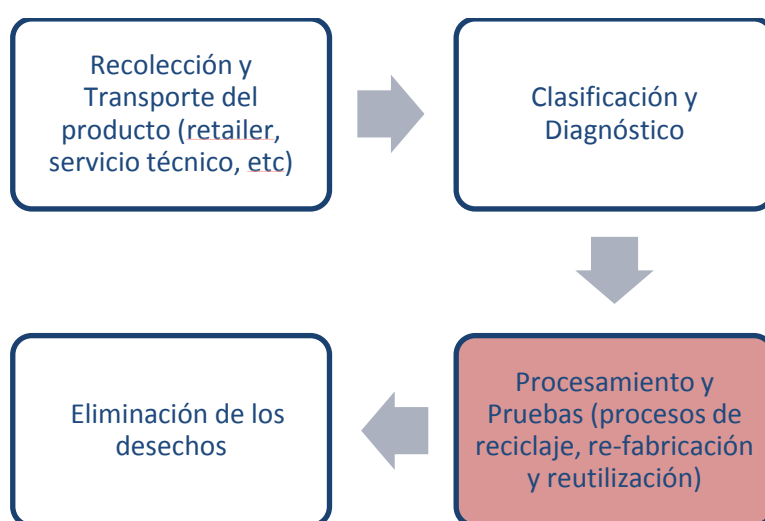


Figura 21 Proceso Genérico de Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos

En este caso, el proceso genérico de Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos en el modelo AS-IS no toma en consideración las actividades de

identificación y devolución de los productos y la recepción y el almacenamiento en comparación con el proceso presentado en la Figura 16. Es importante mencionar que las actividades de procesamiento y pruebas son las que más varían, dependiendo de la opción de gestión a utilizar, ya sea reciclaje, reutilización o re-fabricación. Por otro lado, el resto de actividades relacionadas al proceso inverso no presentan variaciones.

Proceso Genérico de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos		
Procesos	Descripción	Costos del Modelo Genérico
Identificación de los productos	La IDENTIFICACIÓN de los aparatos electrónicos y eléctricos consiste en determinar la ubicación y cantidad aproximada de los productos de fin de ciclo de vida.	Costos de Identificar los productos
Devolución de los productos	La DEVOLUCIÓN es el proceso mediante el cual el cliente entrega el producto en el lugar designada para la recolección, en algunos casos los clientes podrán recibir incentivos para realizar la devolución	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	En los aparatos electrónicos y eléctricos, la RECOLECCIÓN generalmente es realizada por los retailers, como es el caso de los teléfonos móviles. La recolección se refiere a todas las actividades que representan a los productos usados disponibles y en movimiento a algún punto para recibir tratamiento. El transporte se encuentra considerado dentro de la recolección.	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	La RECEPCIÓN Y EL ALMACENAMIENTO es la actividad en la cual se reciben y se verifican los productos en un lugar designado, puede ser un centro de devoluciones, una planta de tratamiento, etc.	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos
Clasificación y Diagnóstico	La CLASIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO son todas las operaciones necesarias para determinar si un producto es reutilizable, o que partes se pueden usar de tal producto y en qué manera. Por ejemplo, en el caso de las copiatoras, estas son inspeccionadas para determinar qué tipo de tratamiento requieren y que partes deben ser reemplazadas. Muchas veces para la inspección y clasificación, los productos electrónicos deben ser desmontados y probados.	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	El PROCESAMIENTO Y LAS PRUEBAS REPROCESO se refieren a convertir el producto que llega al fin de ciclo de vida en un producto utilizable. Este proceso puede incluir varios tratamientos como reciclaje, reparación, re-fabricación, limpieza, etc.	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	La ELIMINACIÓN DE DESECHOS se utiliza en el caso que los productos no puedan ser reutilizados, re-fabricados o reciclados por razones técnicas o económicas. La eliminación incluye transporte al vertedero e incineración.	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa

Tabla 36 Descripción de los procesos y costos del modelo genérico basado en el SCOR

Una vez que se conoce el proceso genérico de un sistema de Logística Inversa es importante conocer ciertos factores del producto como son:

- Tiempo de vida del producto
- Riesgo de obsolescencia
- Legislación para la recuperación
- Complejidad del producto
- Fuentes de retorno
- Opciones de Gestión

En cuanto al mercado también existen factores que se deben conocer con claridad:

- Incertidumbre de la demanda
- Demanda secundaria
- Precio / Valor secundario
- Compite en el mercado secundario
- Rango de mercado

En la Logística Inversa existen varias opciones de gestión según el tipo y la complejidad del producto. En el caso de los productos electrónicos y eléctricos se puede aplicar tanto el reciclaje, como la reutilización o la re-fabricación dependiendo de los recursos y de la capacidad de la empresa para realizar el procesamiento. Además se debe tener en cuenta que es lo que necesitamos recuperar, por ejemplo si son materiales, la opción correcta es el reciclaje, en el caso de la re-fabricación la recuperación se realiza a nivel de componentes y en la reutilización a nivel de productos.

Un aspecto importante de las redes inversas es la decisión de quien la gestiona, es decir si la empresa emplea medios propios o Externos para llevar a cabo las actividades necesarias para el ciclo inverso de los productos. Esta decisión dependerá de si la empresa está o no en la capacidad de gestionar su Logística Inversa y del tipo de productos que maneja. Por lo tanto la empresa tiene tres opciones:

1. Sistema Propio de Logística Inversa, en donde la empresa gestiona todas las actividades de la red. Generalmente se realiza cuando los productos son de alta tecnología o requieren mucha especialización.

2. Sistemas Externos, es decir cuando la empresa contrata a un tercero para realizar el proceso inverso, incluyendo las opciones de gestión como son el reciclaje, la reutilización o la re-fabricación. Esta opción es generalmente utilizada cuando los productos incluyen procesos simples y de fácil recuperación.

3. Sistema combinado o mixto, es decir, la empresa contrata a un tercero para ciertas actividades de la Logística Inversa, generalmente realizado por un mismo

miembro de la cadena de suministro y para productos de escaso valor añadido y tecnología como vidrio, pilas, etc.

En este modelo AS-IS se puede conocer a las actividades que incluyen al proceso de la Logística Inversa (Figura 21 y Tabla 36), además del tipo de producto y mercado en el cual se va a trabajar y opciones para la gestión de la red, pero esta información es muy general y no toma en consideración varios aspectos importantes para una correcta implementación de un sistema de LI. Existen varias decisiones dentro de una cadena de suministro circular que se deben poner en consideración, los cuales en los siguientes puntos se detallarán para un modelo TO-BE.

4.2 Modelo TO-BE para la implementación de Logística Inversa para la industria de aparatos electrónicos y eléctricos

El diseño de una red inversa requiere un sistema eficiente para realizar las tareas requeridas. Este sistema se encuentra enlazado o relacionado con varios subsistemas que pueden descomponerse de la siguiente manera según (Dowlatshahi, 1999):

1. Ingeniería Logística
2. Logística de Fabricación
3. Diseño de Envasado y Embalaje
4. Diseño para el Transporte

Desde luego, para esta investigación se considerará estas cuatro perspectivas desde el punto de vista de la Logística Inversa, el factor de que exista una oportunidad de recuperar valor económico de los productos que llegan al fin de su ciclo de vida es esencial el momento del diseño y desarrollo de los mismos.

Todos estos subsistemas se encuentran enlazados entre sí afectando el diseño y desarrollo y control de los sistemas. En la siguiente gráfica se muestran las relaciones entre los diferentes subsistemas con el sistema logístico de una empresa:

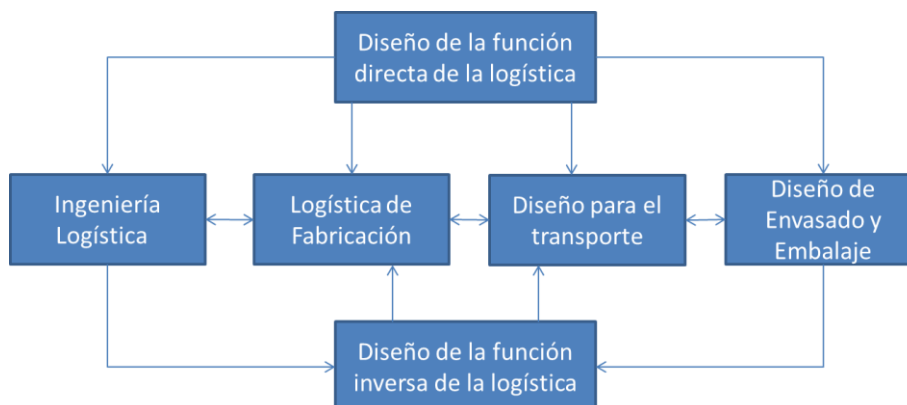


Figura 22 Sistemas Relacionados con la Logística Inversa. Fuente:(Dowlatshahi, 1999)

SISTEMAS	INTERACCIONES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA
INGENIERÍA LOGÍSTICA	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar el número de materiales diferentes, estandarización Evitar materiales tóxicos y peligrosos Diseño para el desmontaje Diseño modular
LOGÍSTICA DE FABRICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> Procesos capaces de reutilizar productos de fin de ciclo de vida Gestión de materiales: Interacción Originales-Recuperados Procesos Intensivos en mano de obra Preferencia de procesos continuos frente a procesos por lotes
DISEÑO PARA EL ENVASADO Y EMBALAJE	<ul style="list-style-type: none"> Minimizar el número de materiales diferentes en las actividades de envasado y embalaje Evitar materiales tóxicos y peligrosos Materiales reciclables Minimizar el empleo de envasado y embalaje
DISEÑO PARA EL TRANSPORTE	<ul style="list-style-type: none"> Puntos de recogida de los productos de fin de ciclo de vida Sistemas de recogida y transporte de los productos de fin de ciclo de vida Integración de redes de distribución directa e inversa Motivación de los miembros de la cadena de suministro (buy-back systems, leasing)

Tabla 37 Interacciones de los Sistemas con la Logística Inversa. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)

En la tabla anterior se muestran los puntos que se deben tomar en cuenta para el diseño de un sistema de Logística Inversa y que además son parte de otros sistemas, es decir, la empresa el momento de implementar la Logística Inversa, deberá acondicionar los otros sistemas para que sean capaces de gestionar los productos de fin de ciclo de vida.

Una vez que se tenga claro todas las implicaciones de la Logística Inversa dentro de una empresa, es importante conocer los procesos y costos de la Logística Inversa para esta industria, y las características de los productos de fin de ciclo de vida a los cuales se les va a realizar algún tratamiento para su recuperación.

El proceso genérico obtenido del modelo SCOR reflejado en la Figura 23 sirve como base para la implementación del sistema de Logística Inversa en la industria de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos, este proceso se irá modificando a lo largo de la implementación dependiendo del producto a recuperar. El modelo se centra en los procesos principales del Make y el Return con sus costos asociados tomando en consideración los procesos tomados del SCOR como son:

- Identificación de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos
- Devolución de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos
- Recepción y Almacenamiento de los Aparatos de Ciclo Inverso
- Procesamiento y Pruebas
- Eliminación de Desechos

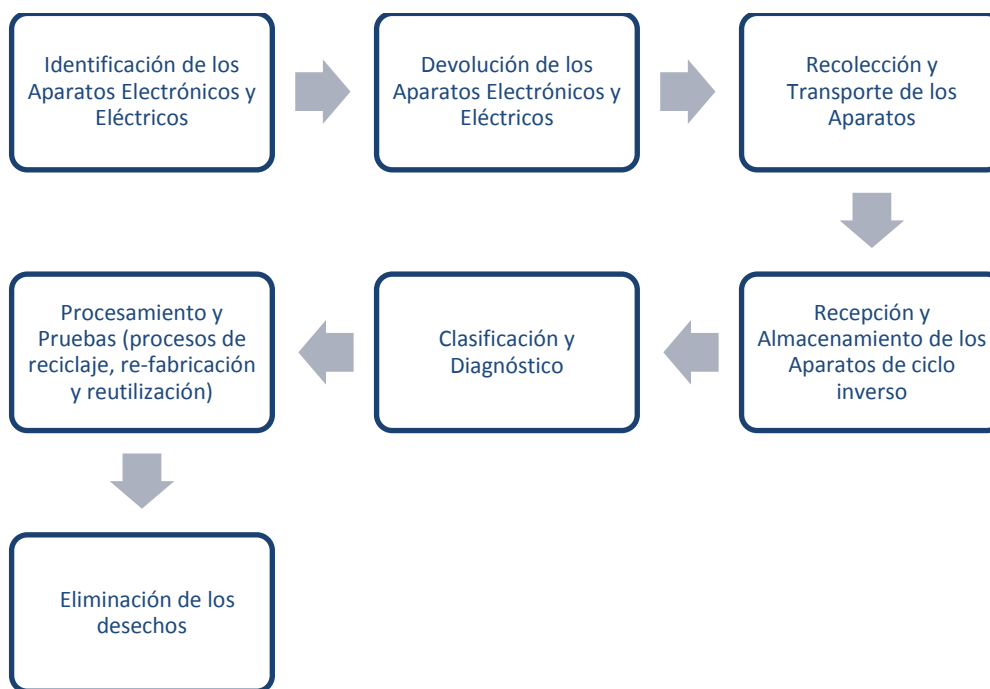


Figura 23 Proceso Genérico de Logística Inversa según el Modelo SCOR para Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Proceso Genérico de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos			
Procesos	Descripción	Costos del Modelo Genérico	Costos Generados
Identificación de los productos	La IDENTIFICACIÓN de los aparatos electrónicos y eléctricos consiste en determinar la ubicación y cantidad aproximada de los productos de fin de ciclo de vida.	Costos de Identificar los productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos
Devolución de los productos	La DEVOLUCIÓN es el proceso mediante el cual el cliente entrega el producto en el lugar designada para la recolección, en algunos casos los clientes podrán recibir incentivos para realizar la devolución	Costos de la Devolución (transporte de la devolución)	Costos Administrativos o Costos Ocultos
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	En los aparatos electrónicos y eléctricos, la RECOLECCIÓN generalmente es realizada por los retailers, como es el caso de los teléfonos móviles. La recolección se refiere a todas las actividades que representan a los productos usados disponibles y en movimiento a algún punto para recibir tratamiento. El transporte se encuentra considerado dentro de la recolección.	Costos de recolección de los productos Costos de Transporte	Costos de Recolección de los Productos
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	La RECEPCIÓN Y EL ALMACENAMIENTO es la actividad en la cual se reciben y se verifican los productos en un lugar designado, puede ser un centro de devoluciones, una planta de tratamiento, etc.	Costo de Recepción Almacenamiento de los Productos	Costos de Manipulación y Transporte Costos de Almacenamiento

Clasificación y Diagnóstico	La <i>CLASIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO</i> son todas las operaciones necesarias para determinar si un producto es reutilizable, o que partes se pueden usar de tal producto y en qué manera. Por ejemplo, en el caso de las copadoras, estas son inspeccionadas para determinar qué tipo de tratamiento requieren y que partes deben ser reemplazadas. Muchas veces para la inspección y clasificación, los productos electrónicos deben ser desmontados y probados.	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los productos	Costos de Clasificación y Diagnóstico de los Productos y Materiales
Procesamiento y Pruebas (proceso de reciclaje, re-fabricación, reutilización)	El <i>PROCESAMIENTO Y LAS PRUEBAS REPROCESO</i> se refieren a convertir el producto que llega al fin de ciclo de vida en un producto utilizable. Este proceso puede incluir varios tratamientos como reciclaje, reparación, re-fabricación, limpieza, etc.	Costo de Producción y Pruebas Costos Energéticos	Costos de Desmontaje Costo del Proceso de Reciclaje, Re-fabricación, Reutilización Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	La <i>ELIMINACIÓN DE DESECHOS</i> se utiliza en el caso que los productos no puedan ser reutilizados, re-fabricados o reciclados por razones técnicas o económicas. La eliminación incluye transporte al vertedero e incineración.	Costo de la Eliminación de los Desperdicios generados en el proceso de Logística Inversa	Costo de Eliminación de Desechos no reciclables Disposición final de sustancias peligrosas

Tabla 38 Costos del Proceso Genérico de la Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Los procesos de Identificación y Devolución de los productos no generan costos o se puede decir que los costos se incluyen dentro de los costos administrativos o costos ocultos, debido a la dificultad de determinar un valor exacto. Por otro lado, los costos energéticos se colocan dentro del procesamiento y pruebas ya que estos son los que más consumen. Existen también costos indirectos del proceso de Logística Inversa que no se pueden incluir dentro de ningún proceso como son impuestos, limpieza, mantenimiento.

Muchos autores concuerdan que los sistemas de Logística Inversa son más complejos que los de logística directa. Para realizar un modelo genérico para la implementación de la Logística Inversa en diferentes industrias de los aparatos eléctricos y electrónicos, se deben tomar en cuenta varias características tanto del producto como del mercado, de manera que la empresa pueda diseñar su cadena inversa en congruencia a sus necesidades. (H Krikke, 2003) describe algunas pautas claves en la siguiente tabla para siete retornos típicos, la cual sirve como herramienta para visualizar de una mejor manera el tipo de producto y mercado para el cual el sistema de Logística Inversa tiene que estar diseñado:

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	Observaciones
Tiempo de vida remanente								Alto-Moderado-Bajo
Riesgo de Obsolescencia								Alto-Moderado-Bajo
Legislación de Recuperación								Si-No (incluye garantías)
Complejidad del Producto								Alto-Moderado-Bajo
Fuente de Retorno								Socios de la CS- Clientes Finales
Opción de Recuperación								Reciclaje-Reutilización-Refabricación
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	Observaciones
Tasa de retorno como % de ventas								Alto-Moderado-Bajo
Incertidumbre de Retorno								Alto-Moderado-Bajo
Demanda secundaria								Alto-Moderado-Bajo
Precio / valor secundario								Alto-Moderado-Bajo
Compite en el mercado primario								Si-No (materiales o componentes)
Rango de Mercado								Global-Nacional-Regional-Local

Tabla 39 Características del Producto y Mercado para un Sistema de Logística Inversa. Fuente:(H Krikke, 2003)

Esta tabla ayudará a la empresa a conocer mejor su realidad tanto del producto como del mercado, de esta manera se tendrá conciencia acerca de las consideraciones que se deben tomar el momento de diseñar un sistema inverso específico para una empresa. Esta tabla es una herramienta que permite sistematizar el conocimiento acerca del producto y el mercado y se debe utilizar para el modelo TO-BE. En la columna de observaciones se coloca las respuestas que se pueden dar a cada tipo de característica.

Los sistemas de Logística Inversa dependerán de la opción de gestión de Re-fabricación, reutilización o reciclaje, (Rubio, 2003) propone una división de las redes logísticas considerando la opción de gestión a utilizar y aspectos claves dentro de la cadena de suministros como son: el mercado, los productos, los tipos de procesos, la incertidumbre de los retornos, etc. En la siguiente tabla se colocan los tipos de redes de fabricación de acuerdo a las características de los productos y procesos, de esta manera se facilita a la empresa la toma de decisiones del tipo de red más apta para la gestión de sus productos de fin de ciclo de vida.

	Red Re-fabricación	Red Reutilización	Red Reciclaje
Estructura de la Red	Closed-Loop Compleja Descentralizada	Closed-Loop Simple Descentralizada	Open-Loop Simple Centralizada
Producto	Diferenciado Alto Valor Añadido Tecnología Avanzada Recuperación de partes y componentes	Estandarizado Escaso valor residual Escasa tecnología Recuperación del Producto	Estandarizado Escaso valor residual Escasa tecnología Recuperación del material del producto
Proceso	Múltiples tareas: Recuperación Desmontaje Clasificación Montaje Elevados Costos Operativos	Proceso Simple Mínimas Operaciones de Mantenimiento Transporte Actividad más importante	Equipos tecnología avanzada Inversión inicial elevada Pocas tareas
Incertidumbre	Cualitativa	Cuantitativa y Temporal	Cuantitativa
Mercado	Intereacción Originales-Refabricados	Mismo Mercado	Mercados Diferentes
Factor de Éxito	Integración canal directo e inverso	Economías de Escala Prevención de Pérdida del Producto	Economías de Escala
Relaciones en el Canal Inverso	Posición Dominante de los Fabricantes (OEM)	Posición Dominante de los Fabricantes (OEM)	Posición dominante de suministradores y OEM
Ejemplos	Fotocopiadoras, teléfonos móviles, circuitos impresos, cámaras fotográficas, tóners	Envases y embalajes	Reciclaje de arena, moquetas y escorias industriales

Tabla 40 Sistema de Logística Inversa según la Opción de Gestión. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)

Un aspecto importante de la Logística Inversa es la decisión de quien gestiona la Logística Inversa, es decir si la empresa emplea medios propios a externos para llevar a cabo las actividades logísticas. A continuación se realiza una descripción de cada uno de estos sistemas con los que una empresa puede contar para gestionar su Logística Inversa.

Los SISTEMAS PROPIOS de la Logística Inversa es cuando la misma empresa diseña, gestiona y controla la recuperación y la reutilización de sus productos de fin de ciclo de vida. Generalmente, estas empresas son las líderes en sus mercados, en los que la relación entre empresa y producto es muy estrecha. Además, estos sistemas propios se utilizan cuando los productos tienen una alta complejidad y tecnología. Aunque algunas actividades como la recolección de los productos de fin de ciclo de vida y el transporte son muchas veces realizadas por terceros la propia empresa es quien los gestiona. Los sistemas propios de Logística Inversa son utilizados cuando la OEM (Original Equipment Manufacturer) va a realizar re-fabricación de sus productos de fin de ciclo de vida.

Por otro lado, en los SISTEMAS EXTERNOS de la Logística Inversa la empresa no gestiona directamente el proceso de recolección y recuperación de los

productos, por lo tanto esta función es realizada por terceros. Los sistemas externos de Logística Inversa son generalmente utilizados para productos con poca diferenciación y escaso valor residual, generalmente para opciones de gestión de reciclaje y reutilización. Los sistemas externos de Logística Inversa generalmente son contratados cuando la red de transporte de los productos es compleja.

Estas tipologías están claramente definidas y se consideran puntos de referencia para el diseño de sistemas de Logística Inversa, siendo posible la interacción entre sistemas propios y externos, por lo tanto se pueden subcontratar algunas actividades de proceso como la recolección y otras actividades que por características especiales, pueden considerarse críticas y necesitan gestión especializada. (Rubio Lacoba, 2003). En el siguiente cuadro se realiza un resumen de las características de cada uno de los sistemas logísticos (es decir, los propios y los externos) para la toma de decisiones.

	Sistema Propio	Sistema Externo	
		Sistema Integrado de Gestión	Profesionales de la Logística
Empresa	Líder del Mercado Estrategia medioambiental definida Posición dominante en la cs	PYME Desarrollo del sistema de LI por motivos legales Necesidad de agruparse con otros miembros de la cs	Flujo directo logístico subcontratado Desarrollo de la LI por operativos: devoluciones, residuos tóxicos o peligrosos
Producto	Muy diferenciado Alto valor añadido Tecnología avanzada Estructura compleja	Poco diferenciado Escaso valor añadido y residual Escasa tecnología Diseño para el reciclaje	Diversidad de productos Obsoletos, con fallos de calidad, dañados, tóxicos o peligrosos
Proceso	Múltiples tareas Intensivo en mano de obra Transporte muy relevante	Proceso complejo Tecnología avanzada Alta inversión inicial	Proceso simple Pocas tareas Intensivos en mano de obra
Mercado para los productos recuperados	Mismo mercado que los productos originales	Mercado distinto a la de los productos originales	Comparten mercado en Reutilización Distinto mercado en devoluciones
Diseño de la Red	Posibilidad de integrar flujo directo e inverso Descentralizada Compleja Closed Loop Subcontratación algunas actividades	Open Loop Centralizada Simple, con pocos niveles Transporte Significativo	Open Loop en Devoluciones y Closed Loop en Reutilización Simple y Descentralizada Transporte significativo
Objetivo de LI	Recuperar elementos de alto valor añadido	Cumplimiento normativa sobre residuos	Cumplimiento normativa sobre residuos y garantías al consumo
Opciones de Gestión	Refabricación	Reciclaje	Reutilización y Devoluciones
Ejemplos	Xerox IBM HP	Vidrio Pilas	Genco UPS

Tabla 41 Características de los Sistemas de Logística Inversa según quien lo realiza. Fuente: (Rubio Lacoba, 2003)

El Sistema Integrado de Gestión (SIG) están constituidos por miembros de la cadena de suministros (proveedores, fabricantes, distribuidores) los cuales financian el sistema de acuerdo a su participación en el mercado. (Rubio Lacoba, 2003). Las empresas que forman parte de un SIG fabrican productos homogéneos, poco complejos y con escaso valor unitario, en los cuales los materiales son recuperados para el reciclaje.

Una vez determinadas las principales características de los distintos tipos de redes, se procederá a elaborar distinciones para las opciones de gestión de Reciclaje, Reutilización y Re-fabricación, las mismas que serán de gran utilidad para las empresa electrónicas y eléctricas el momento de analizar e implementar un sistema de Logística Inversa

4.2.1 Escenario de Reciclaje

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señala que en 2010, en el mundo se generaron 40 millones de toneladas de basura electrónica y que el volumen de chatarra electrónica crece en un 16% a 28% cada cinco años. Cuando estos aparatos son desechados producen residuos muy contaminantes, ya que la mayoría contiene sustancias como: bromo, cadmio, fósforo o mercurio que afectan a la salud y al medio ambiente.

El reciclaje dentro de la industria de aparatos electrónicos y eléctricos tiene una alta complejidad debido a la gran variedad de materiales como vidrio, plástico y metales y componentes que se encuentran dentro de este tipo de productos.

Uno de los aspectos más importantes para implementar un Sistema de Logística Inversa eficiente es el conocimiento de todos los costos que esta actividad genera, además, dentro de los procesos existen costos ocultos que muchas veces se llevan gran porción de los costos totales y reducen la eficiencia de la cadena inversa, dificultando el análisis de la red. Por ejemplo, en los costos presentados en el capítulo 3 para la industria de los aparatos eléctricos y electrónicos estos costos ocultos representan un 8,8% del total de los costos de la Logística Inversa.

En la siguiente figura se realiza una comparación de los procesos del modelo genérico del SCOR con un proceso inverso para el reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, los procesos que se encuentran en color rojo son los procesos tomados del modelo SCOR y que se adaptaron a un modelo de reciclaje de aparatos eléctricos.

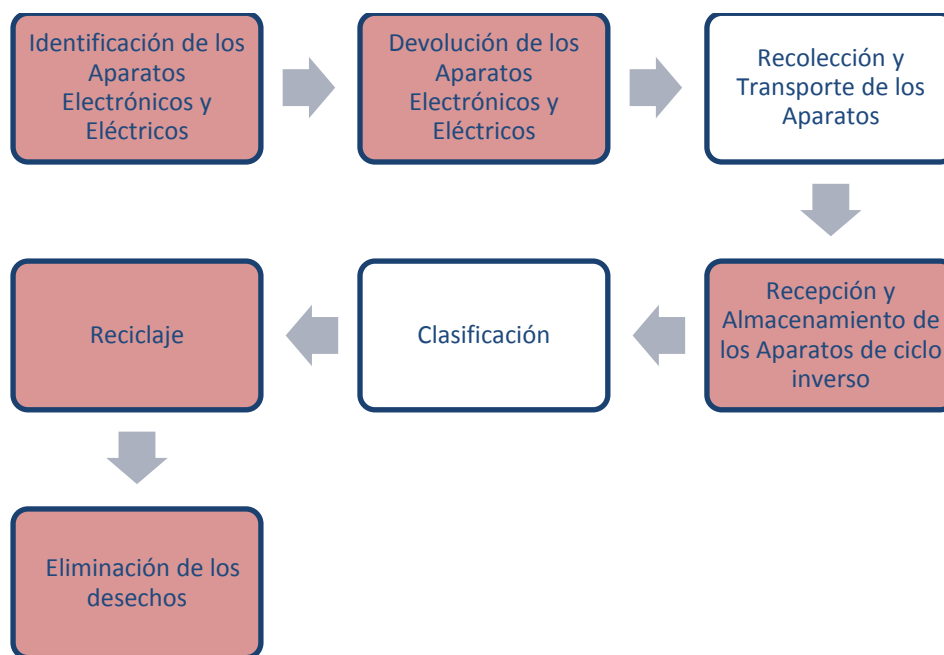


Figura 24 Proceso Genérico de Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

1. **Identificación de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos:** Debido a que los productos a ser recolectados son productos de fin de ciclo de vida la identificación de los aparatos se debe realizar de acuerdo a la ubicación de las ventas realizadas y la cantidad vendida considerando el tiempo de vida de los productos para su fecha estimada de devolución, de esta manera el fabricante tendrá un conocimiento aproximado de los productos con los cuales va a trabajar.
2. **Devolución de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos:** Es el proceso mediante el cual el cliente entrega el producto en un lugar designado, en este caso, podrá realizarse la devolución en puntos de servicio técnico y en los retailers. En muchas ocasiones la devolución no se realiza y los productos son desechados por los clientes a chatarrerías lo que producirá la pérdida del producto.
3. **Recolección y Transporte de los Aparatos:** Se refiere a todas las actividades realizadas por el retailer o el centro de servicio técnico para la recolección del producto, este proceso incluye todos los transportes del producto, por ejemplo, desde el cliente hasta el punto de recolección y desde el punto de recolección hasta el lugar de reciclaje.
4. **Recepción y Almacenamiento de los Aparatos de Ciclo Inverso:** este proceso incluye la recepción y la verificación de los productos en un lugar designado, puede realizarse en un almacén designado o en la planta de reciclaje.
5. **Clasificación y Diagnóstico:** En este caso en específico no es necesario realizar un diagnóstico de los aparatos ya que únicamente se van a reciclar, por otro lado se realiza la clasificación de los materiales en tres grandes grupos: metales, plásticos y vidrio.

6. Procesamiento y Pruebas: Este proceso corresponde al reciclaje en sí, en donde los materiales una vez que han sido clasificados son triturados y convertidos en nuevas materias primas para un nuevo ciclo de vida. Por otro lado, las pruebas no son requeridas.

7. Eliminación de Desechos: Los materiales que no pueden ser reciclados por razones técnicas o económicas son enviados a vertederos o incinerados en el caso de ser residuos peligrosos o tóxicos.

Los costos normalmente asociados con las actividades logísticas consisten de los siguientes componentes: transporte, almacenamiento, procesamiento de órdenes, servicio al cliente, administración, inventario, (Zeng & Rossetti, 2003), sumándose a estos los costos de la Logística Inversa como son la recolección de los productos, reciclaje, re-fabricación (desmontaje), redistribución, inspección y clasificación y disposición final de los productos. En la siguiente tabla se han recopilado todos los costos de un sistema de Logística Inversa para el reciclaje de aparatos electrónicos y eléctricos, con una breve descripción de cada uno de ellos:

PROCESO	COSTOS	DESCRIPCIÓN
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Salarios de los empleados responsables de la gestión de los materiales para el reciclaje
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Costos incurridos generalmente por los clientes, no afectan a la empresa
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de recolección de los materiales	Costos incurridos para realizar la recolección de los productos, generalmente esta actividad es realizada por los minoristas o por el servicio técnico.
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de manipulación y transporte	Costos incurridos durante la entrega usando diferentes medios de transporte y equipos para la manipulación de los productos de fin de ciclo de vida
	Costo de Almacenamiento	Generalmente para la LI del reciclaje se utilizan centros de almacenamiento para consolidar la carga, en el caso de los aparatos eléctricos y electrónicos los puntos de almacenamiento son centros de desmontaje
Clasificación	Costo de Clasificación de los Materiales	Una vez que se realiza en desmontaje de los productos es necesario clasificar los materiales para enviarlos a los distintos centros de reciclaje
Reciclaje	Costo de Desmontaje	Los aparatos eléctricos y electrónicos están constituidos por varias partes y a su vez por varios materiales, por lo que es necesario un proceso de desmontaje
	Costo del Proceso de Reciclaje	El proceso de reciclaje variará de acuerdo a los materiales a reciclar, generalmente incluye un proceso de trituración de los materiales una vez que se han separado las sustancias peligrosas
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos	Implica el costo de eliminación de los aparatos o de sus componentes cuando no pueden reciclarse

Tabla 42 Costos de la Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Además de generar costos el proceso de reciclaje también produce beneficios tanto sociales como económicos. Del proceso de reciclaje de equipos eléctricos y electrónicos se obtiene tres materiales principales: plástico, vidrio y metales, que pueden ser utilizados ya sea en la misma industria o vendidos como materias primas para otras industrias. En la siguiente tabla se realiza un resumen de los beneficios económicos de un sistema de Logística Inversa para el reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos como una herramienta para la toma de decisiones en una empresa.

BENEFICIOS ECONÓMICOS	DESCRIPCIÓN
Valor de los materiales reciclados:	Los materiales reciclados son usados como materia prima, ya sea en la misma industria o en diferentes industrias dependiendo si estos tienden a perder características en el proceso de reciclaje.
Metales	Los metales pueden ser reciclados indefinidamente sin perder sus propiedades. Los metales de hierro reciclado se utilizan en la industria del acero. Los metales como cobre, estaño, zinc, oro y plata se utilizan para fabricar cables y componentes eléctricos
Plásticos	Los plásticos recuperados se transforman en pequeñas partículas que se limpian y secan para luego ser utilizados en la industria de los vehículos y muebles
Vidrio	El vidrio, una vez limpio y triturado se utiliza para las pantallas de televisión y ordenador, entre otros usos.
Subsidios del estado	Algunos gobiernos otorgan incentivos para el reciclaje, lo cual ayuda a Implementar sistemas de LI en las empresas

Tabla 43 Beneficios Económicos de la Logística Inversa para el Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Los beneficios sociales de un sistema de Logística Inversa en una empresa pueden ser: la disminución del impacto ambiental y la mejora de la imagen de la compañía, los cuales podría influir en la decisión de compra de un consumidor final, pero este beneficio es difícil de traducirlo en un valor económico.

4.2.2 Herramientas

Una de las herramientas más conocidas para la toma de decisiones en una empresa en el análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), el cual toma en cuenta los factores críticos tanto positivos como negativos e internos y externos mediante una matriz.

Esta herramienta permite visualizar la situación real de la empresa o de un proyecto y planear una estrategia hacia el futuro. El objetivo principal del DAFO es determinar las ventajas competitivas para emplear las estrategias más convenientes de acuerdo a los factores internos y externos de la misma.

Por lo tanto, esta herramienta será de mucha utilidad dentro de la Logística Inversa para conocer de forma más clara la realidad de la empresa y al mismo tiempo plantear una estrategia adecuada a la empresa para una cadena inversa.

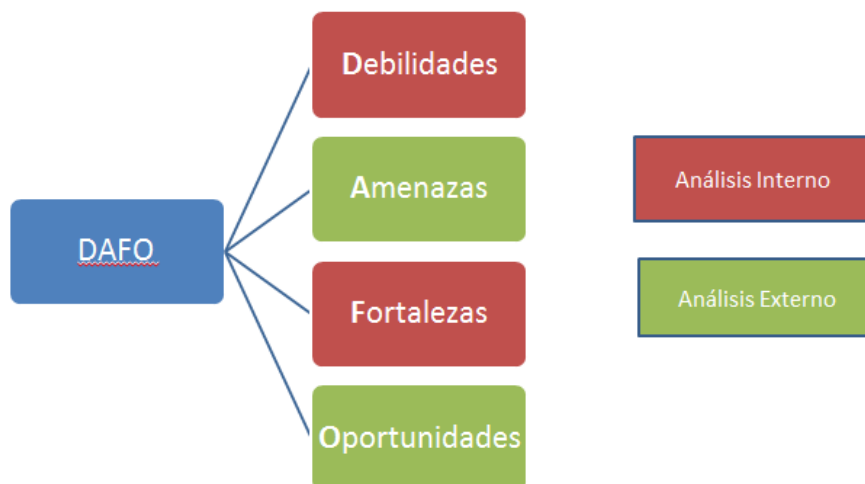


Figura 25 Análisis DAFO para la Logística Inversa

El análisis interno consiste en detectar las fortalezas y debilidades de la empresa, en este caso en específico de la Logística Inversa, si la empresa ya la realiza, o del sistema logístico directo. En este análisis se toman en cuenta aspectos como: la producción, el personal, las finanzas, el marketing, equipos e instalaciones, características del servicio, etc.

Para el análisis de las debilidades y fortalezas se debe considerar las siguientes áreas: (Ministerio de Fomento, 2005)

- Análisis de recursos: capital, recursos humanos, sistemas de información, activos fijos, activos no tangibles.
- Análisis de la actividad: recursos, creatividad.
- Análisis de riesgos: con relación a los recursos y a las actividades de la organización.
- Análisis histórico: la contribución consolidada de las diferentes actividades de la organización.

Las amenazas y oportunidades corresponden al entorno externo a la empresa u organización, es decir aspectos que la empresa no puede controlar, debiendo esta superarlas o aprovecharlas, anticipándose a las mismas. Para realizar el análisis externo se deben tener en consideración aspectos políticos del país en el que se encuentra la empresa, el marco legal (tendencias fiscales, legislaciones, aspectos económicos), el aspecto social (los cambios del mercado), etc.

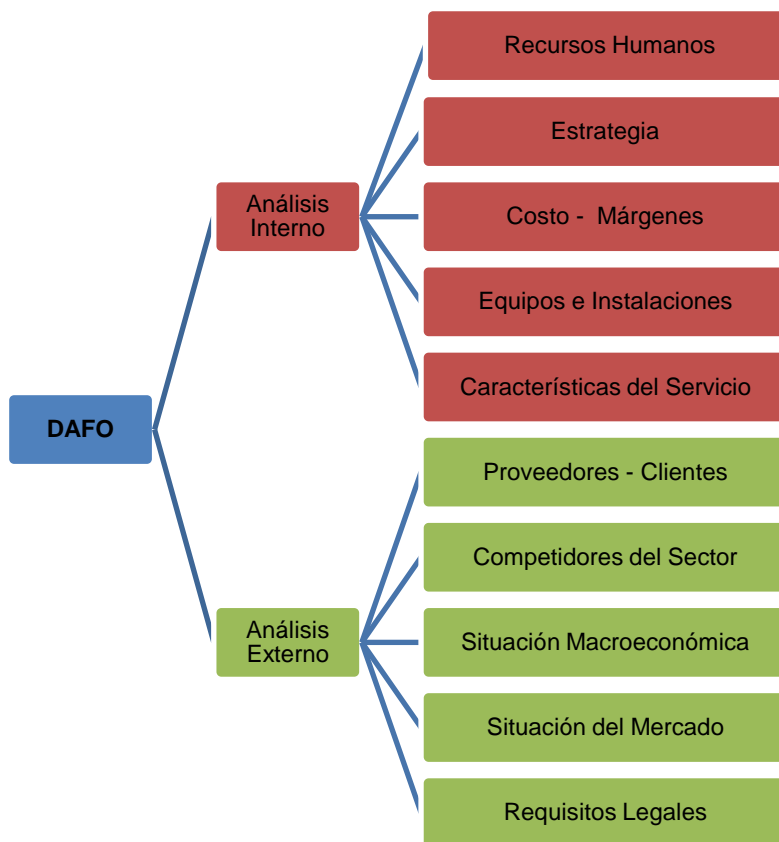


Figura 26 Características Internas y Externas del DAFO para la Logística Inversa. Fuente: (Ministerio de Fomento, 2005)

A continuación se muestra un ejemplo de un Análisis DAFO para una empresa de aparatos eléctricos y electrónicos enfocado a un proyecto de implementación de la Logística Inversa para el reciclaje de materiales de los productos que llegan al fin de ciclo de vida.

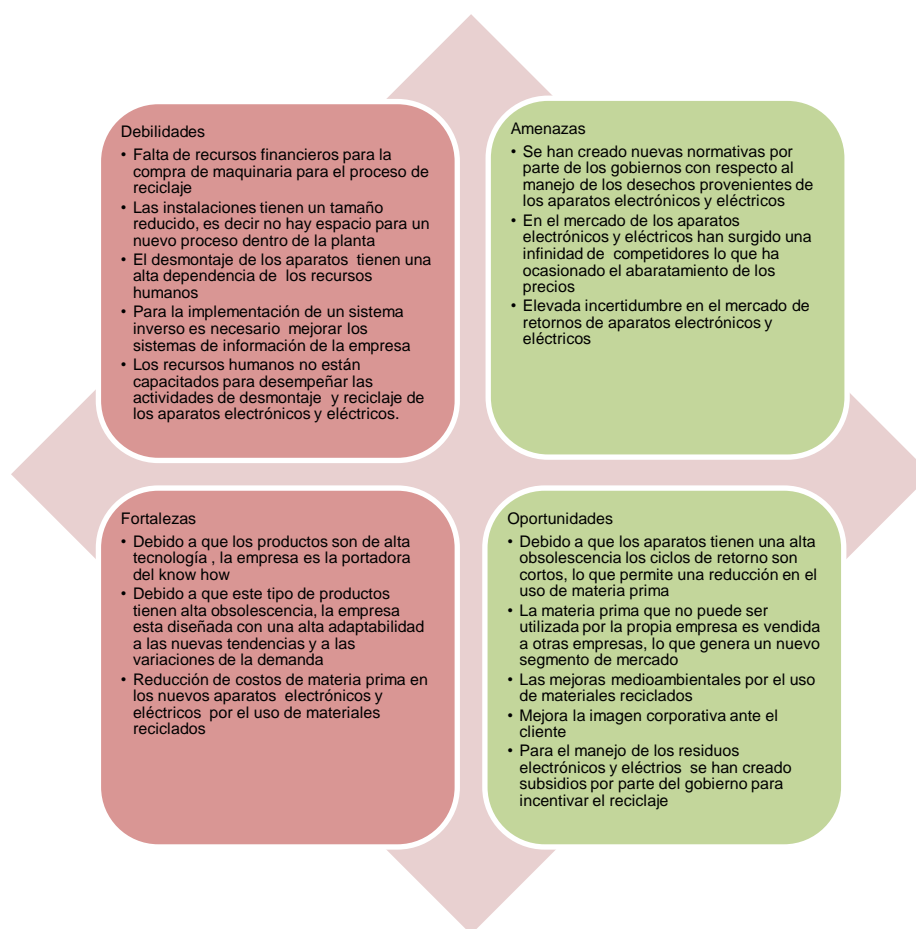


Figura 27 Análisis DAFO para un Sistema de Logística Inversa de Reciclaje Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades variarán de empresa en empresa y de entorno en entorno, por lo que es conveniente que la alta dirección lo realice para visualizar de una mejor manera un plan estratégico para la implementación de la Logística Inversa dentro de la empresa o la mejora de la misma.

La principal herramienta a utilizar para la toma de decisiones de un Sistema de Logística Inversa para el reciclaje será un Análisis Costo-Beneficio, es decir tomar en cuenta los costos de no hacer nada frente a los costos de la implementación del sistema.

El Análisis Costo-Beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados con un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, por lo tanto es necesario conocer todos los costos y los beneficios asociados con el sistema que se va a implementar.

En la siguiente tabla se muestran los costos generados por cada uno de los procesos de un Sistema Logística Inversa de acuerdo al modelo genérico obtenido a partir del SCOR, además se colocan los beneficios que se pueden

obtener a partir de la implementación de un sistema inverso dentro de la empresa. La resta de los beneficios menos los costos indica si el sistema es rentable o no:

PROCESO	COSTOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA	VALOR
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	
	Costo de Almacenamiento	
Clasificación	Costo de Clasificación de los Materiales	
Reciclaje	Costo de Desmontaje	
	Costo del Proceso de Reciclaje	
	Costos Energéticos	
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas y desechos no reciclables)	
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)	
N/A	Gastos de Personal	
SUMATORIA TOTAL DE LOS COSTOS		
BENEFICIOS		
Valor obtenido del Reciclaje de los Metales		
Valor obtenido del Reciclaje de los Plásticos		
Valor obtenido del Reciclaje del Vidrio		
Subsidios del estado		
SUMATORIA TOTAL DE LOS BENEFICIOS		
BENEFICIOS - COSTOS		

Tabla 44 Análisis Costo-Beneficio para el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Para realizar este análisis es importante definir las tasas de recolección de los productos, en el apartado 3.3.3 del modelo de costos para los aparatos eléctricos y electrónicos se demuestra que a medida que la tasa de recolección aumenta los beneficios mejoran.

4.2.3 Escenario Reutilización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

Este tipo de aparatos están constituidos por varias partes, es decir componentes complejos constituidos por diferentes piezas que ya han pasado por procesos de manufactura ocupando recursos tanto energéticos como de mano de obra, por lo que es importante considerar la reutilización como una estrategia valiosa dentro de esta industria.

La reutilización se diferencia de la re-fabricación debido a que esta conlleva solo mínimos procesos de reparación, limpieza y mantenimiento, mientras que en la re-fabricación se deben desmontar y montar los componentes lo que generan elevados costos operativos.

La Universidad de Vigo, Revertia y EnergyLab han colaborado durante tres años en un proyecto europeo que pretende demostrar que reutilizar aparatos eléctricos y electrónicos es más eficiente que reciclarlos, y permite ahorrar 45 euros en costes ambientales por cada pieza recuperada, esta noticia fue publicada por la plataforma global de noticias y periodismo ambiental EFEverde. . En la siguiente figura se muestra un Sistema de Logística Inversa tomando en cuenta los procesos necesarios para la reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, los procesos que varían en comparación con el Sistema de Reciclaje son los que se encuentran en color rojo (Clasificación y Diagnóstico y Reutilización):

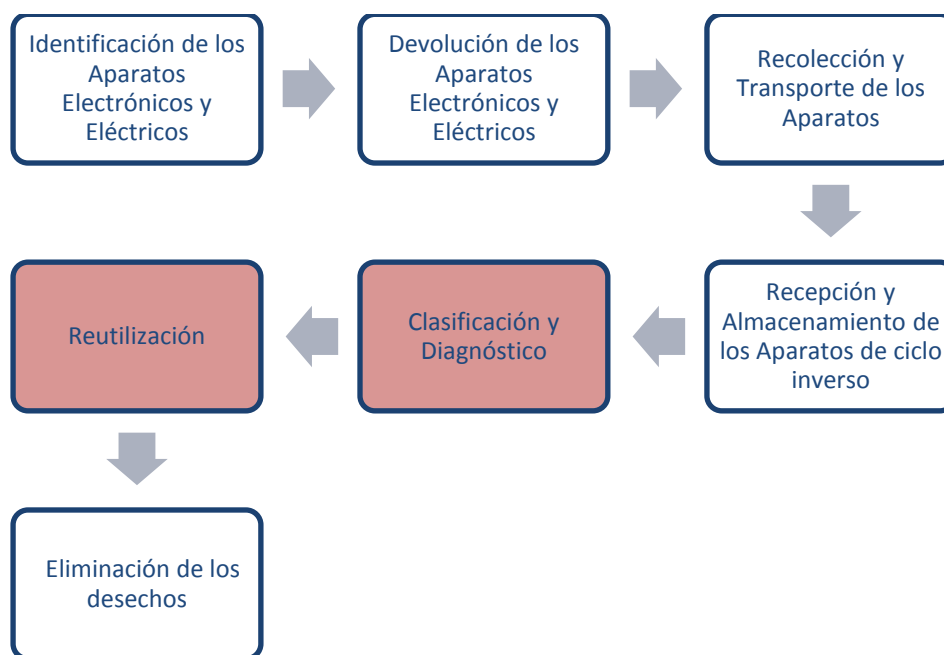


Figura 28 Proceso Genérico de Logística Inversa para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Como ya se mencionó en el escenario anterior los procesos tomados del Make del modelo SCOR es el proceso de reciclaje y el proceso de eliminación de desechos, los procesos tomados del Return son la identificación y la devolución de los aparatos electrónicos, la recepción y el almacenamiento.

1. Identificación de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos: Debido a que los productos a ser recolectados son productos de fin de ciclo de vida la identificación de los aparatos se debe realizar de acuerdo a la ubicación de las ventas realizadas y la cantidad vendida considerando el tiempo de vida de los productos para su fecha estimada de devolución, de esta manera el fabricante tendrá un conocimiento aproximado de los productos con los cuales va a trabajar.
2. Devolución de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos: Es el proceso mediante el cual el cliente entrega el producto en un lugar designado, en este caso, podrá realizarse la devolución en puntos de servicio técnico y en los retailers. En muchas ocasiones la devolución no se realiza y los productos son desechados por los clientes a chatarrerías lo que producirá la pérdida del producto.
3. Recolección y Transporte de los Aparatos: Se refiere a todas las actividades realizadas por el retailer o el centro de servicio técnico para la recolección del producto, este proceso incluye todos los transportes del producto, por ejemplo, desde el cliente hasta el punto de recolección y desde el punto de recolección hasta el lugar de reciclaje.
4. Recepción y Almacenamiento de los Aparatos de Ciclo Inverso: este proceso incluye la recepción y la verificación de los productos en un lugar designado, puede realizarse en un almacén designado o en la planta de reciclaje.
5. Clasificación y Diagnóstico: En el caso del proceso de reutilización, el proceso de clasificación y diagnóstico se refiere a verificar que componentes de los aparatos se encuentran en buen estado para su reutilización. En este punto se realizan pruebas de diagnóstico y se separan los componentes que van a ser reutilizados.
6. Procesamiento y Pruebas: Este proceso corresponde al mantenimiento y a la limpieza necesarios para que los componentes o productos obtenidos de los aparatos de fin de ciclo de vida puedan reutilizarse. En este proceso es muy importante que se realicen pruebas para verificar el buen funcionamiento de los componentes y productos reutilizados.
7. Eliminación de Desechos: Los materiales que no pueden ser reutilizados por razones técnicas o económicas son enviados a vertederos o incinerados en el caso de ser residuos peligrosos o tóxicos.

Por lo tanto, a continuación se presenta una tabla con los costos de la Logística Inversa para la reutilización de aparatos eléctricos y electrónicos. El sistema inverso se debe enfocar en reutilizar todas las piezas y componentes posibles y el resto reciclar, de manera que se pueda aprovechar el máximo valor del producto de fin de ciclo vida.

PROCESO	COSTOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA	DESCRIPCIÓN
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Salarios de los empleados responsables de la gestión de los materiales para el reciclaje
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Costos incurridos generalmente por los clientes, no afectan a la empresa
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	Costos incurridos para realizar la recolección de los productos, generalmente esta actividad es realizada por los minoristas o por el servicio técnico.
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	Costos incurridos durante la entrega usando diferentes medios de transporte y equipos para la manipulación de los productos de fin de ciclo de vida
	Costo de Almacenamiento	Generalmente para la LI del reciclaje se utilizan centros de almacenamiento para consolidar la carga, en el caso de los aparatos eléctricos y electrónicos los puntos de almacenamiento son centros de desmontaje
Clasificación y Diagnóstico	Costo de Clasificación de los Materiales, limpieza, mantenimiento y pruebas de diagnóstico	Este costo corresponde a las limpiezas y mantenimientos necesarios para reutilizar los productos y componentes y dejarlos en un estado óptimo para un nuevo ciclo de vida
Reutilización	Costo de Desmontaje	Los aparatos eléctricos y electrónicos están constituidos por varias partes y a su vez por varios materiales, por lo que es necesario un proceso de desmontaje
	Costos Energéticos	Costos incurridos en el uso de la energía necesaria para realizar los procesos necesarios para la reutilización de los componentes y productos
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas y desechos no reciclables)	Implica el costo de eliminación de los aparatos o de sus componentes cuando no pueden reciclarse

Tabla 45 Costos de la Logística Inversa para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Los beneficios económicos y sociales en la reutilización son muchos más altos, ya que se aprovecha los componentes que se encuentran un buen estado, reduciendo así el consumo energético y de mano de obra para la elaboración de los mismos, además que los componentes que no pueden ser reutilizados son reciclados para su utilización en la misma industria o para ser vendidos a otras industrias como materia prima.

BENEFICIOS ECONÓMICOS	DESCRIPCIÓN
Valor de los componentes reutilizados	El valor de los componentes reutilizados es alto, debido a que estos ya han pasado por procesos de producción. Las empresas el momento de utilizar partes usadas generan ahorros de mano de obra, de energía, de materia prima, etc.

Valor de los materiales reciclados	Los materiales reciclados son usados como materia prima, ya sea en la misma industria o en diferentes industrias dependiendo si estos tienden a perder características en el proceso de reciclaje.
Metales	Los metales pueden ser reciclados indefinidamente sin perder sus propiedades. Los metales de hierro reciclado se utiliza en la industria del acero. Los metales como cobre, estaño, zinc, oro y plata se utilizan para fabricar cables y componentes eléctricos
Plásticos	Los plásticos recuperados se transforman en pequeñas partículas que se limpian y secan para luego ser utilizados en la industria de los vehículos y muebles
Vidrio	El vidrio, una vez limpio y triturado se utiliza para las pantallas de televisión y ordenador, entre otros usos.
Subsidios del estado	Algunos gobiernos otorgan incentivos a las empresas para el reciclaje, lo cual ayuda a implementar sistemas de LI en las empresas

Tabla 46 Beneficios Económicos de la Logística Inversa para la Reutilización y el Reciclaje de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Es importante mencionar que la reutilización elimina costos de reciclaje y de disposición de los residuos, por lo tanto debe ser prioridad el momento de tomar decisiones. Según www.globalvoices.org reutilizar computadoras en funcionamiento es hasta 20 veces más eficaz desde el punto de vista energético que reciclarlos.

4.2.4 Herramientas

De la misma manera que se planteó en el apartado 4.2.2 como herramienta para el análisis de la factibilidad de proyecto, se propone utilizar un Análisis DAFO y un Análisis Costo Beneficio incluyendo o eliminando las características de una cadena para la reutilización de los aparatos eléctricos y electrónicos.

El análisis DAFO sería similar al escenario de reciclaje, aunque con algunos aspectos nuevos y otros se eliminarían, en la siguiente matriz DAFO se pueden observar los cambios sugeridos.

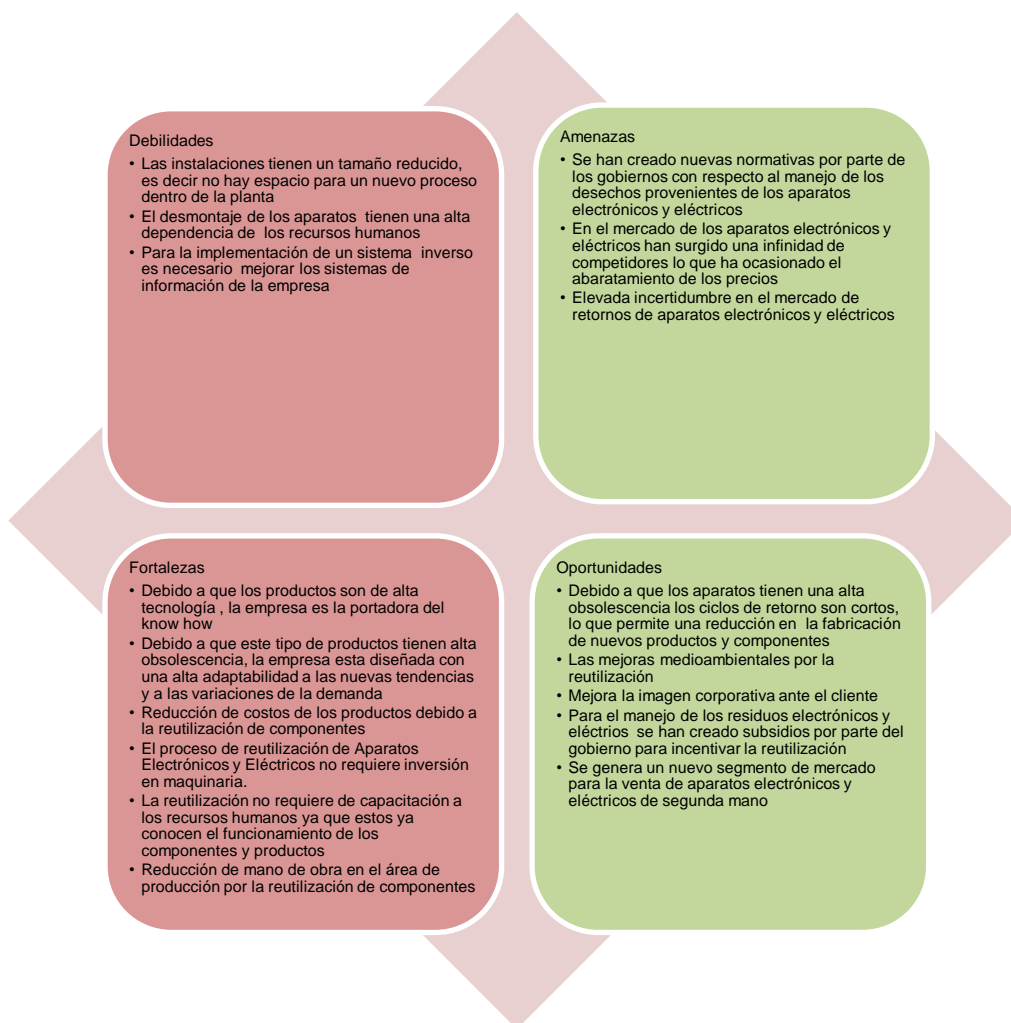


Figura 29 Análisis DAFO para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

A continuación se muestra la tabla correspondiente al Análisis de Costos-Beneficios para la Logística Inversa en la reutilización:

PROCESO	COSTOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA	VALOR
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	
	Costo de Almacenamiento	
Clasificación y Diagnóstico	Costo de Clasificación de los Materiales, limpieza y pruebas de diagnóstico	

Reutilización	Costo de Desmontaje y Mantenimiento
	Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas y desechos no reciclables)
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)
N/A	Gastos de Personal
SUMATORIA TOTAL DE LOS COSTOS	
BENEFICIOS	VALOR
Componentes reutilizados	
Subsidios del estado	
SUMATORIA TOTAL DE LOS BENEFICIOS	
BENEFICIOS – COSTOS	

Tabla 47 Análisis Costo Beneficio de la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Como se menciona en el punto 4.2.2 Herramientas para el Reciclaje, para establecer los valores tanto de costos como de beneficios es importante conocer la cantidad de los productos a recolectar, de esta manera se puede realizar una ponderación de los componentes reutilizables, además del cálculo de los costos de la Logística Inversa.

En la siguiente tabla se realiza una comparación de los Sistemas de Logística Inversa para el Reciclaje y para la Reutilización con sus respectivos procesos y costos:

RECICLAJE		REUTILIZACIÓN	
PROCESO	COSTOS DE LA LI	PROCESO	COSTOS DE LA LI
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte
	Costo de Almacenamiento		Costo de Almacenamiento
Reciclaje	Costo de Clasificación de los Materiales	Reutilización	Costo de Clasificación de los Materiales, limpieza, y pruebas de diagnóstico
	Costo de Desmontaje		Costo de Desmontaje y mantenimiento
	Costo del Proceso de Reciclaje		Costos Energéticos
	Costos Energéticos		Costos Energéticos
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas y desechos no reciclables)	Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas y desechos no reciclables)
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)	N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)
N/A	Gastos de Personal	N/A	Gastos de Personal
BENEFICIOS			
Valor obtenido del Reciclaje de los Metales		Componentes reutilizados	
Valor obtenido del Reciclaje de los Plásticos			
Valor obtenido del Reciclaje del Vidrio			
Subsidios del estado		Subsidios del estado	

Tabla 48 Comparación de los Sistemas de Logística Inversa para el Reciclaje y Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos

Como se puede observar en la tabla anterior, los procesos que se mantienen igual en un Sistema de Logística Inversa para el Reciclaje y para la Reutilización son: la identificación, la devolución, la recolección, la recepción y el almacenamiento de los productos y la eliminación de los desechos. Por otro lado, los procesos que sufren mayores cambios son la clasificación y el diagnóstico, debido a que en el proceso de reciclaje no se realiza un diagnóstico del estado en el que se encuentran los materiales mientras que para la reutilización este diagnóstico es esencial. Otro proceso que sufre cambios es la fase de procesamiento y pruebas

ya que en el reciclaje se genera un costo importante del proceso en sí de reciclaje y en el proceso de reutilización el costo principal es el de desmontaje y puesta a punto de los productos y componentes que se van a reutilizar.

En este capítulo se realizó un análisis de los Sistemas de Logística Inversa para el Reciclaje y para la Reutilización de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, se puede observar claramente las diferencias entre un proceso y otro y como cambian los costos y los beneficios generados por cada uno de los sistemas. Además se pone a consideración la herramienta DAFO para la toma de la decisión de implementar un sistema inverso dentro de una empresa, el cual deberá ser adaptado de acuerdo a la situación tanto interna como externa de la propia empresa. Por otro lado, el análisis Costo-Beneficio permite visualizar como la variación de los procesos entre un sistema y otro afecta tanto en los costos como en las ganancias, lo cual valida la implementación de un sistema inverso dentro de una empresa fabricante de aparatos electrónicos y eléctricos.

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LOS APARATOS ELECTRÓNICOS

5. APLICACIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA INDUSTRIA DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Una vez que se ha planteado un modelo para la implementación de la Logística Inversa dentro de la industria de aparatos eléctricos y electrónicos es importante plantear un caso en el que se apliquen los nuevos conceptos propuestos.

Se considerará una empresa de aparatos eléctricos dedica a la fabricación principalmente de frigoríficos y cocinas de inducción) ubicada en Cuenca, Ecuador para las características del producto y del mercado, para los datos numéricos se utilizarán como base los datos presentados en el capítulo 3. En primera instancia se realizará un Análisis DAFO detallado con las características de esta empresa enfocándose en aspectos relacionados a la Logística Inversa y como segundo paso se realizará el Análisis Costo-Beneficio para estudiar la factibilidad del proyecto en base a datos numéricos.

Antes de aplicar el Análisis DAFO y el Análisis Costo Beneficio, es importante que la empresa tenga en consideración las fuentes de retorno que se especifican en la Tabla 34 Fuentes de Retorno, a continuación se presenta esta tabla resaltando las fuentes retorno pertenecientes a los Aparatos Electrónicos.

	<u>Socios de la CS</u>	<u>Usuarios Finales</u>
Productos	Fin de ciclo de vida	Productos Defectuosos
	Fin de temporada	Fin de Ciclo de Vida
	Caducidad	Reciclaje
	Daños en tránsito	Reutilización
		Re-fabricación
Empaques	Contenedores Reusables	Reciclaje
	Requerimiento de Desecho	Reutilización
	Empaque Múltiple	Restricciones de Desecho

Tabla 49 Fuentes de Retorno de Aparatos Electrónicos

Las fuentes de retorno de los Aparatos Eléctricos son principalmente los usuarios finales, el motivo del retorno puede ser por razones de fin de ciclo de vida o por defectos de fábrica. Por otro lado, los socios de la cadena de suministro (en este caso distribuidores y minoristas) pueden devolver los productos por caducidad u obsolescencia, es decir los productos no se han vendido por un largo periodo de tiempo y se han convertido en obsoletos, o por daños en tránsito lo que provoca la necesidad de reparaciones o reutilización de los componentes, dependiendo en qué estado se encuentren los productos.

Para tener un mejor conocimiento del producto, se presentó en el apartado 4.2 una matriz en donde se colocan las principales características del producto de fin de ciclo de vida y del mercado al que pertenece. Con la información recolectada en capítulos anteriores se intentará describir los frigoríficos de fin de ciclo de vida y el mercado al que pertenecen.

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	Observaciones
Tiempo de vida remanente	Moderado	Bajo	Alto	Alto	-	-	Moderado	Alto-Moderado-Bajo
Riesgo de Obsolescencia	Alto	Alto	Alto	Alto	-	-	Bajo	Alto-Moderado-Bajo
Legislación de Recuperación	Si	No	No	Si	-	-	Garantías	Si-No (incluye garantías)
Complejidad del Producto	Alto	Alto	Alto	Alto	-	-	Alto	Alto-Moderado-Bajo
Fuente de Retorno	Socios de la CS	Socios de la CS	Clientes Finales	Clientes Finales	-	-	Clientes Finales	Socios de la CS- Clientes Finales
Opción de Recuperación	Reutilización	Reutilización	Reutilización. Reciclaje	Reutilización, Reciclaje	-	-	Reutilización, Reciclaje	Reciclaje-Reutilización-Re fabricación
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	Observaciones
Tasa de retorno como % de ventas	Alto	Alto	Alto	Bajo	-	-	Moderado	Alto-Moderado-Bajo
Incertidumbre de Retorno	Moderado	Moderado	Alto	Alto	-	-	Alto	Alto-Moderado-Bajo
Demanda secundaria	Alto	Moderado	Moderado	Moderado	-	-	Bajo	Alto-Moderado-Bajo
Precio / valor secundario	Alto	Alto	Moderado	Moderado	-	-	Bajo	Alto-Moderado-Bajo
Compite en el mercado primario	Si	Si	Si (materiales y componentes)	Si (materiales y componentes)	-	-	No	Si-No (materiales o componentes)
Rango de Mercado	Nacional, Regional	Nacional, Regional	Nacional, Regional	Local	-	-	Local	Global-Nacional-Regional-Local

Tabla 50 Características del Producto y Mercado para un Sistema de Logística Inversa. Fuente: (H Krikke, 2003)

5.1 Análisis DAFO para la Logística Inversa de Aparatos Eléctricos

El análisis DAFO permite a la empresa visualizar todos los aspectos tanto positivos como negativos relacionados a un proyecto en específico o a la empresa en general. Es importante que este análisis sea elaborado por miembros de todos los departamentos de la alta dirección de la empresa de esta manera se podrá realizar una fotografía de la realidad.

Los aspectos presentados en el análisis DAFO son la realidad de una empresa dedicada a la producción de frigoríficos, ubicada en la ciudad de Cuenca al sur del Ecuador. Las características que se presentan en este análisis corresponden

únicamente a los aspectos relacionados al Sistema de Logística Inversa tanta para el reciclaje como para la reutilización.

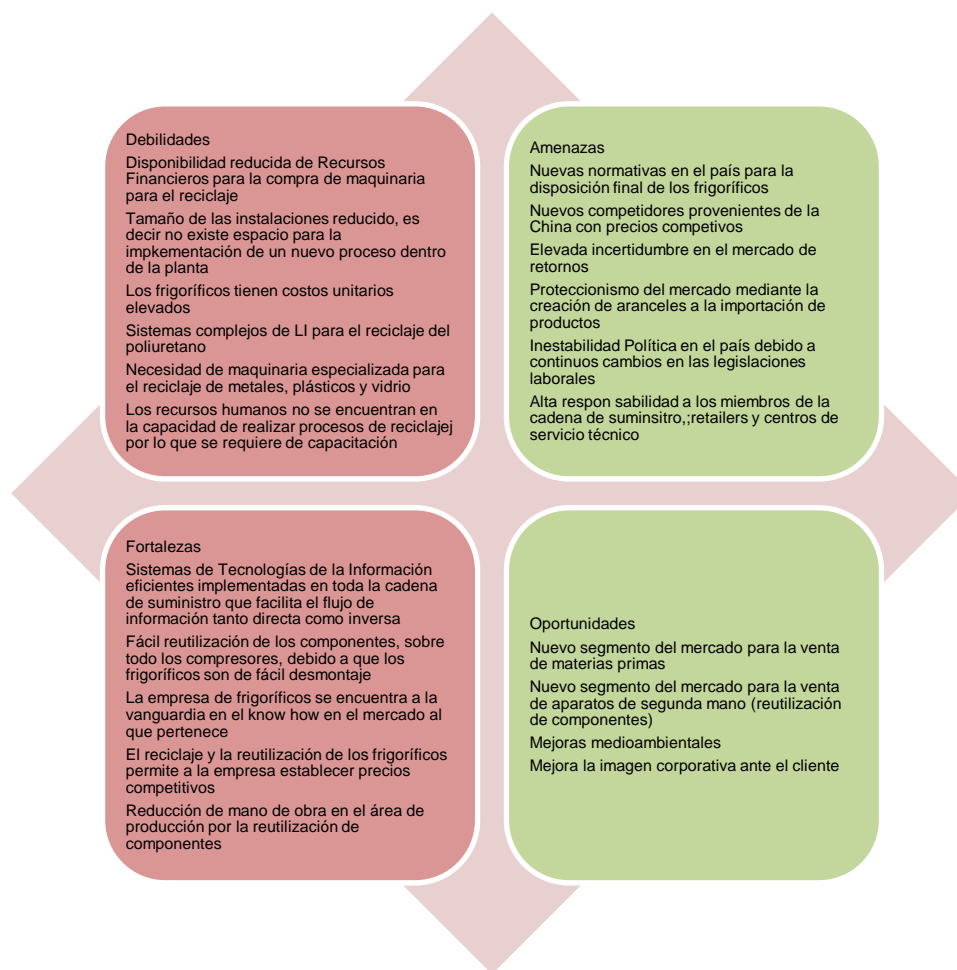


Figura 30 Análisis DAFO para la Logística Inversa de una Empresa de Aparatos Eléctricos

La principal debilidad o limitante para que la empresa implemente un sistema de Logística Inversa es la falta de recursos financieros, debido, principalmente que el país está a inicios de una crisis que afecta a todos los sectores, motivo por el cual las ventas se han reducido dramáticamente en los últimos meses. Es importante mencionar que la Logística Inversa es rentable a largo plazo, pero para implementarla es necesario invertir recursos financieros (en maquinaria, mano de obra, transporte, en los puntos de recolección, etc.)

Otra debilidad importante es la complejidad que existe en el reciclaje de materiales, sobre todo en los plásticos, debido a que la mayoría están compuestos por una infinidad de materiales de difícil separación, por lo tanto es importante que la empresa considere en inicio el reciclaje solo de metales y vidrio para luego realizar el reciclaje de plásticos mediante un proceso de estandarización de los componentes para su reutilización.

Por otro lado, dentro de las fortalezas la empresa cuenta con Sistemas de Tecnologías de la Información de última generación que se encuentran

implementados a lo largo de toda la cadena de suministro, los cuales pueden ser adaptados a sistemas de Logística Inversa.

Una de las fortalezas más importantes es la reducción de la necesidad de mano de obra debido a la reutilización de ciertos componentes que conllevan varias partes y una alta cantidad de horas de trabajo, como son los arneses eléctricos que se encuentran dentro de los frigoríficos y no necesitan varios esfuerzos para comprobar su estado.

En cuanto a las amenazas se puede decir que la que más influencia es la inestabilidad política que el país vive, debido a que se generan grandes cambios en cuanto a normativas y legislaciones con cada cambio de mando, lo que a su vez dificulta la toma de decisiones en cuanto a inversión en proyectos como este.

Un aspecto difícil de gestionar para la empresa son los retailers y los centros de servicio técnico, ya que ellos tendrían absoluta responsabilidad de los productos de fin de ciclo de vida y en su mayoría no pertenecen a la empresa. Es importante que la empresa se asegure del trato que se les da a estos productos, además de facilitar a los clientes la devolución de los productos que llegan al fin de su vida útil, muchas empresas utilizan incentivos.

La alta obsolescencia de los productos hace que la Logística Inversa sea una excelente oportunidad para las empresas de generar valor, cuando un cliente retorna un producto de fin de ciclo de vida por obsoleto, generalmente los componentes como metales y vidrio pueden ser reciclados fácilmente para utilizarlos en nuevos componentes, lo que ayuda a cerrar el ciclo y a tener una velocidad en la cadena de suministros.

En la actualidad un aspecto importante es la imagen corporativa, debido a que muchos clientes se han empezado a preocupar por consumir productos amigables con el medio ambiente, además las empresas asociadas a malas prácticas medioambientales poco a poco han ido desapareciendo tanto por normativas como por reducción de ventas.

5.2 Análisis Costo-Beneficio de los procesos del Sistema de Logística Inversa

Como se mencionó en el capítulo anterior el Análisis Costo Beneficio es una herramienta financiera que permite evaluar la rentabilidad de un proyecto, para realizar este análisis es preciso conocer todos los costos y beneficios asociados a los procesos del sistema de Logística Inversa que se va a implementar.

Para realizar este análisis se han tomado en cuenta los procesos, los costos y los beneficios del capítulo tres del modelo de Logística Inversa para Aparatos Eléctricos y Electrónicos, para tener una mejor visualización de los beneficios se proponen tres escenarios: el primero en el que los materiales, principalmente los metales y los vidrios son reciclados y vendidos como materias primas, el segundo

en donde se reutilizan los compresores de los frigoríficos y el tercero en donde se propone un escenario mixto, es decir se reciclan los materiales y se reutilizan los compresores.

5.2.1 Escenario de Reciclaje

De acuerdo a los costos y beneficios presentados en el capítulo 3, se presenta un análisis de costos – beneficio para un escenario de reciclaje de acuerdo a los procesos establecidos para este sistema.

El proceso de reciclaje para frigoríficos es el siguiente, en donde las actividades que se encuentran marcadas de color rojo son las que difieren del modelo genérico obtenido del SCOR:

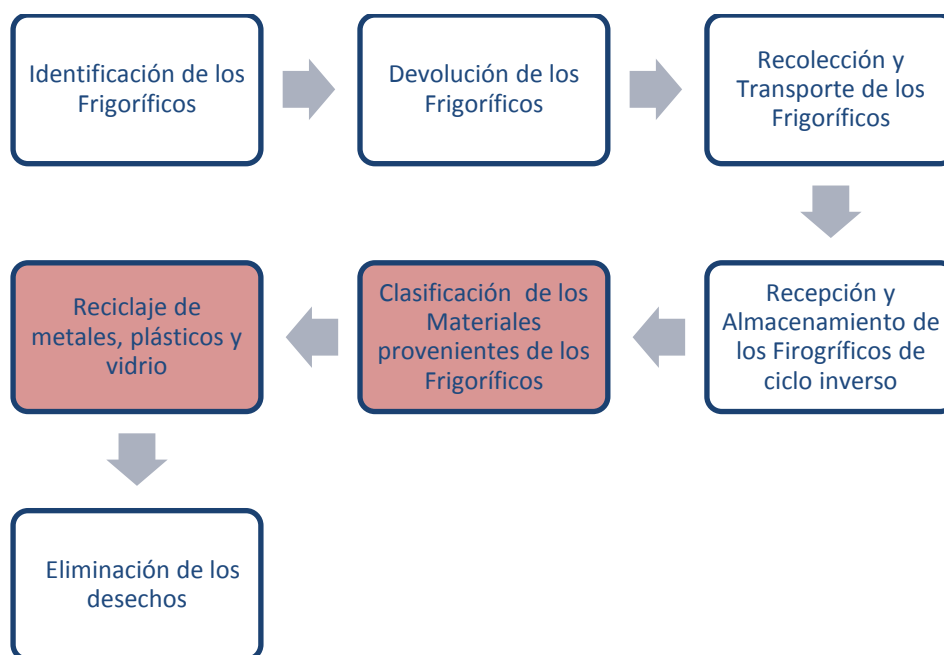


Figura 31 Sistema de Logística Inversa para el Reciclaje de Frigoríficos

La cantidad total de frigoríficos vendidos es de un millón con una tasa de recolección del 50%. Los costos que derivados de los procesos del Sistema de Logística Inversa que han sido modificados, de acuerdo al modelo de Logística Inversa para Aparatos Electrónicos y Eléctricos son:

- El costo de las instalaciones se han dividido en costos de recolección (del proceso de recolección de los frigoríficos) y costos de almacenamiento (del proceso de recepción y almacenamiento de los frigoríficos de ciclo inverso).
- Los costos del proceso de reciclaje se han dividido en costos de desmontaje (0,64€) (pertenciente al proceso de reciclaje), costo de clasificación de los materiales (0,64€) (del proceso de clasificación) y costo del proceso de reciclaje en sí (2,50€) (pertenciente al proceso de reciclaje)
- Se han adicionado costos para los desechos no reciclables, el costo de retirada de gases tóxicos (incluidos en el proceso de eliminación de

desechos), gastos administrativos (incluidos en los procesos de identificación y devolución de los frigoríficos), gastos indirectos (mantenimiento, limpieza, seguros, impuestos), gastos de personal (que no se incluyen en ningún proceso), y gastos de electricidad o energéticos (del proceso de Reciclaje), obtenidos de (Izard Garcia, 2011).

A continuación se presenta el Análisis de los Costos del Sistema de Logística Inversa para el Reciclaje de Frigoríficos, en donde se encuentran desglosados todos los costos de acuerdo a cada uno de los procesos del sistema.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL RECICLAJE	
TOTAL DE FRIGORÍFICOS VENDIDOS	1.000.000
TASA DE RECOLECCIÓN	50%
TASA DE RECICLAJE	50%

Tabla 51 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio del Reciclaje

ANÁLISIS DE COSTOS DEL RECICLAJE				
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECOLECTADOS:			500.000	
PROCESO	COSTOS DE LA LI	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,27%
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,27%
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	0,98 €	490.000 €	6,86%
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	0,27 €	135.000 €	1,89%
	Costo de Almacenamiento	1,00 €	500.000 €	7,00%
Clasificación	Costo de Clasificación de los Materiales	0,64 €	320.000 €	4,48%
Reciclaje	Costo de Desmontaje	0,64 €	320.000 €	4,48%
	Costo del Proceso de Reciclaje	2,50 €	1.250.000 €	17,50%
	Costos Energéticos	0,15 €	75.000 €	1,05%

	Costo de Disposición Final de Sustancias Peligrosas	0,56 €	280.000 €	3,92%
Eliminación de los Desechos	Desechos no Reciclables	0,01 €	3.500 €	0,05%
	Costo de Retirada de Gases Tóxicos	6,83 €	3.415.000 €	47,81%
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)	0,03 €	15.000 €	0,21%
N/A	Gastos de Personal	0,03 €	15.000 €	0,21%
SUMATORIA TOTAL DE LOS COSTOS		14,29 €	7.143.500 €	100,00%

Tabla 52 Análisis de Costos del Sistema de Logística Inversa para el Proceso de Reciclaje

El costo más alto del Sistema es el de Retirada de los Gases Tóxicos que es aproximadamente un 47% del costo total generado para el reciclaje, dando como resultado el proceso de Eliminación de Desechos un 51% de los costos totales, luego tenemos el costo del proceso de reciclaje con un 17,5% seguidos por el costo de almacenamiento (7%) y el de Recolección de los productos (9%). Por último, los menos representativos son los costos de personal e indirectos con aproximadamente un 0,2% cada uno.

Para realizar el cálculo de los beneficios es importante conocer como está compuesto el peso de un frigorífico y para determinar el precio por kilogramo se ha utilizado datos de (Izard Garcia, 2011), en la cual coloca datos para los metales consultados en la bolsa de metales de Londres y para los plásticos datos de Anarpla (Asociación Nacional de Recicladores de Plástico), obteniendo la siguiente información:

Materiales	% en peso	Precio €/kg
Aceites	0,80%	0,26 €
Gases CFC	0,70%	21,70 €
Aluminio	12,00%	1,70 €
Cobre	6%	3,89 €
Hierro	50%	0,37 €
Desechos no reciclables	2,20%	0,08 €
Plásticos	12%	0,83 €
Espuma de PUR (Poliuretano)	10%	0,94 €
Vidrio	6%	0,30 €

Materiales	% en peso	Precio €/kg
Cables	0,30%	- €

Tabla 53 Composición de un Frigorífico. Fuente: (Izard Garcia, 2011)

El peso de un frigorífico varía entre los 30kg a 60kg, por lo tanto se tomara un cuenta un peso promedio es de 45kg para calcular la cantidad de materiales reciclados. En la siguiente tabla se realiza el cálculo de precios unitarios y del valor total obtenido de las materias primas para un total de 500.000 frigoríficos recolectados.

Materiales	% en peso	Precio €/kg	Kg obtenidos	Valor Unitario	Valor Obtenido
Aluminio	12%	1,70 €	5,4	9,158 €	4.579.200 €
Cobre	6%	3,89 €	2,7	10,508 €	5.254.200 €
Hierro	50%	0,37 €	22,5	8,415 €	4.207.500 €
Plásticos	12%	0,83 €	5,4	4,487 €	2.243.700 €
Espuma de PUR (Poliuretano)	10%	0,94 €	4,5	4,230 €	2.115.000 €
Vidrio	6%	0,30 €	2,7	0,810 €	405.000 €
TOTAL	100,00%		45	37,609 €	18.804.600 €

Tabla 54 Precios Unitarios de los Componentes de un Frigorífico para el Reciclaje

A continuación se realiza el análisis de los beneficios del reciclaje, es importante mencionar que en el Ecuador no existen incentivos para el reciclaje de materiales provenientes de electrodomésticos:

ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DEL RECICLAJE			
BENEFICIOS		VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL %
Valor obtenido del Reciclaje de los Metales			
	Aluminio	9,16 €	2.289.600 € 24,35%
	Cobre	10,51 €	2.627.100 € 27,94%
	Hierro	8,42 €	2.103.750 € 22,37%
Valor obtenido del Reciclaje de los Plásticos			
	Espuma de PUR	4,23 €	1.057.500 € 11,25%
	Plásticos	4,49 €	1.121.850 € 11,93%
Valor obtenido del Reciclaje del Vidrio			
	Vidrio	0,81 €	202.500 € 2,15%

Subsidios del estado	-	-	-
SUMATORIA TOTAL DE LOS BENEFICIOS	37,61	9.402.300	100,00%

Tabla 55 Análisis de Beneficios del Reciclaje de Frigoríficos

Por lo tanto, para obtener un valor aproximado de los beneficios obtenidos por el reciclaje de materiales provenientes de los frigoríficos se realiza una resta de los Beneficios menos los Costos:

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 2.258.800 \text{ € por año}$$

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 4,52 \text{ € por frigorífico}$$

El precio de un frigorífico estándar es de aproximadamente 300 €, por consiguiente se puede decir que se recupera alrededor de un 1,5% del valor, además de la reducción del impacto medioambiental.

5.2.2 Escenario de Reutilización

Para el escenario de reutilización, se considerará la reutilización de compresores, debido a que estos son un importante rubro dentro de un frigorífico, a continuación se coloca el Sistema de Logística Inversa con los procesos necesarios para la reutilización, en este caso, de los compresores de los frigoríficos.

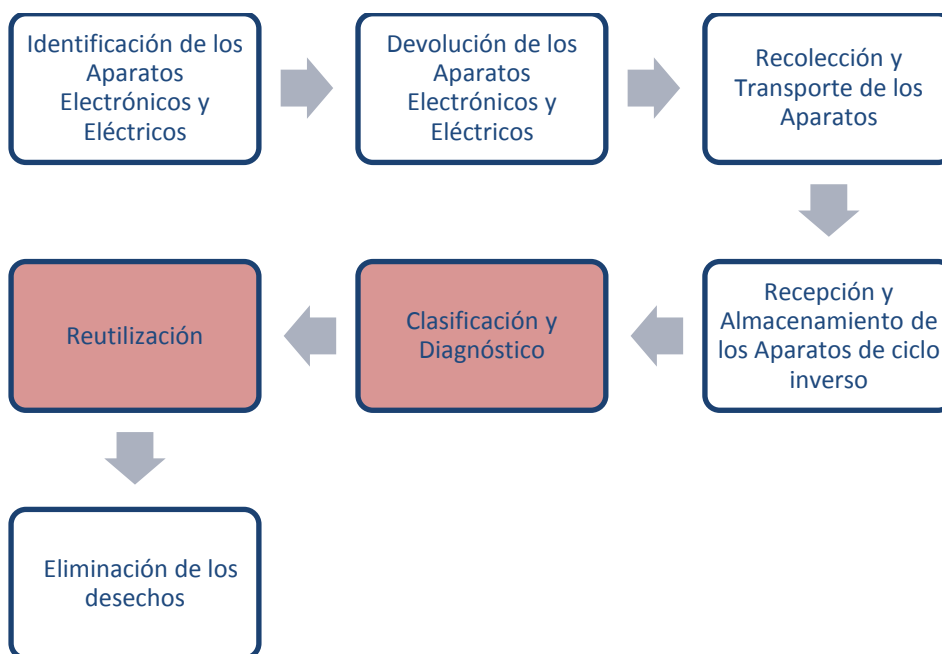


Figura 32 Sistema de Logística Inversa para la Reutilización de Compresores de Frigoríficos

Los procesos que varían con respecto al proceso de reciclaje son los de Clasificación y Diagnóstico debido a que se debe verificar el estado en el que se encuentran los compresores y se debe realizar un proceso exhaustivo de clasificación. Además se elimina el proceso de reciclaje y se agrega un proceso

de reutilización en el cual se realiza mantenimiento y puesta a punto de los compresores para un nuevo ciclo de vida.

Un recambio de compresor está en un valor de aproximadamente 70€, si se supone que la empresa lo importe a grandes volúmenes este valor se reducirá en al menos un 50%, es decir 35€. A continuación se presenta el escenario de reutilización de compresores:

Primero se presentará un escenario de reutilización de compresores solo, para luego, en otro apartado, adicionar el escenario de reciclaje de esta manera se podrá visualizar mejor los costos y los beneficios de cada uno de ellos.

Para este escenario se modifican los costos de la siguiente manera:

- Los costos recolección, manipulación y transporte y almacenamiento permanecen constantes.
- Los costos de desmontaje se reducen en un 75% debido a que solo se necesita sacar el compresor del frigorífico.
- El costo de clasificación y diagnóstico corresponde a un costo de inspección del estado en el que se encuentran los compresores y el mantenimiento y puesta a punto de los mismos.
- Se requiere menos personal para esta operación por lo que los gastos de personal se reducen en un 50%
- De igual manera, el gasto en electricidad se reduce
- El costo de eliminación de los desechos aumenta debido a que incrementa la cantidad de desperdicios.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA REUTILIZACIÓN DE COMPRESORES EN FRIGORÍFICOS	
TOTAL DE FRIGORÍFICOS VENDIDOS	1.000.000
TASA DE RECOLECCIÓN	50%
TASA DE REUTILIZACIÓN	50%

Tabla 56 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio de la Reutilización de Compresores

ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE COMPRESORES DE FRIGORÍFICOS				
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECOLECTADOS:		500.000		
PROCESO	COSTOS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,62%
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,62%
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	0,98 €	490.000 €	7,90%

Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	0,27 €	135.000 €	2,18%
	Costo de Almacenamiento	1,00 €	500.000 €	8,06%
Clasificación y Diagnóstico	Costo de Clasificación de los Materiales O Proceso de Inspección	0,25 €	125.000 €	2,01%
Reutilización	Costo de Desmontaje, Mantenimiento y Limpieza	0,50 €	250.000 €	4,03%
	Costos Energéticos	0,08 €	40.000 €	0,64%
Eliminación de los Desechos	Costos de Eliminación de los Desechos no reutilizados	1,25 €	625.000 €	10,07%
	Costos de Eliminación de los Desechos (sustancias peligrosas)	0,56 €	280.000 €	4,51%
	Costo de Retirada de Gases Tóxicos	6,83 €	3.415.000 €	55,04%
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)	0,03 €	15.000 €	0,24%
N/A	Gastos de Personal	0,01 €	5.000 €	0,08%
SUMATORIA TOTAL DE LOS COSTOS		12,41 €	6.205.000 €	100,00%

Tabla 57 Análisis de los Costos de la Logística Inversa para la Reutilización de Compresores en Frigoríficos

Como se puede observar en la tabla anterior los costos de eliminación de los desechos aumentan considerablemente en comparación con el escenario de reciclaje, ya que se tiene que enviar una mayor cantidad de basura a los vertederos. Estos costos representan un 69,6% de los costos totales para la reutilización de los compresores, distribuidos de la siguiente manera: 10,07% para la eliminación de desechos no reutilizados, 4,51% para la eliminación de sustancias peligrosas y un 55,04% para la retirada de gases tóxicos. Otros costos importantes son el de almacenamiento (8,06%) y el de recolección de los materiales (7,90%). El costo del proceso de reutilización solo es de un 4,67% de los costos totales.

Los beneficios que se obtienen en este escenario es principalmente la reutilización de los compresores, se considerará que del total de frigoríficos recolectados solo el 50% de los compresores se encuentran en buen estado para su reutilización.

ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN DE COMPRESORES		
BENEFICIOS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Compresor	35 €	8.750.000 €
SUMATORIA TOTAL DE LOS BENEFICIOS	35 €	8.750.000 €

Tabla 58 Análisis de los Beneficios de la Reutilización de Compresores

Por lo tanto, para obtener un valor aproximado de los beneficios obtenidos a partir de la reutilización de compresores en frigoríficos, se realiza la siguiente operación:

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 2.545.000 \text{ € por año}$$

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 5,09 \text{ € por unidad recolectada}$$

La reutilización de compresores en frigoríficos nuevos permite a las empresas recuperar el 1,7% del valor medio de un producto. El potencial de reutilización en frigoríficos es alto y se deberían agregar nuevos componentes para maximizar los beneficios, debido a que mucho de los costos permanecen constantes como son: el transporte, la recolección de los productos, etc., además se debe tener en consideración que los costos de eliminación de desechos aumentan a medida que la reutilización es menor.

5.2.3 Escenario mixto de Reutilización y Reciclaje

Otro escenario que se propone es uno mixto en donde se reciclan los metales, los plásticos y el vidrio, para este escenario se plantea que el 50% de los materiales y compresores recolectados son reciclados y reutilizados respectivamente.

El Sistema de Logística Inversa para un escenario mixto con todos los procesos implicados tanto para el reciclaje como la reutilización se muestra en la siguiente figura:

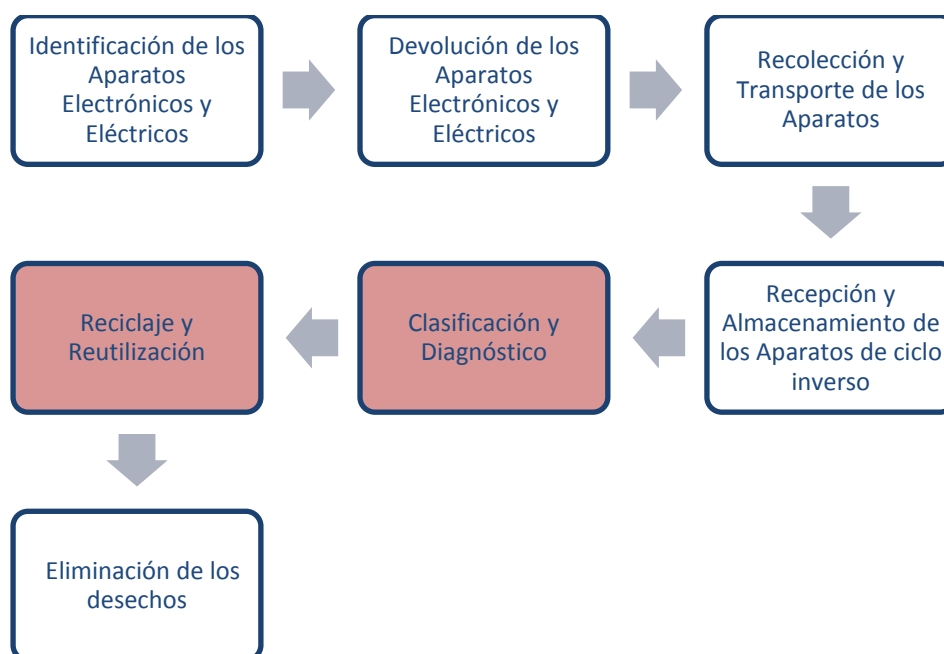


Figura 33 Sistema de Logística Inversa para un Escenario Mixto de los Frigoríficos

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN	
TOTAL DE FRIGORÍFICOS VENDIDOS	1.000.000
TASA DE RECOLECCIÓN	50%
TASA DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN	50%

Tabla 59 Parámetros para el Análisis Costo-Beneficio del Reciclaje y Reutilización

Para el análisis de los costos de la reutilización y el reciclaje se han tomado en cuenta los costos del proceso de Logística Inversa correspondientes al reciclaje, debido a que los frigoríficos deben atravesar por un desmontaje y clasificación de los materiales completo. Adicionalmente se agrega el costo de inspección y mantenimiento de los compresores.

ANÁLISIS DE COSTOS DEL RECICLAJE Y LA REUTILIZACIÓN				
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECOLECTADOS			500.000	
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECICLADOS			250.000	
PROCESO	COSTOS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%
Identificación de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,24%
Devolución de los Productos	Costos Administrativos o Costos Ocultos	0,33 €	162.500 €	2,24%
Recolección de los productos (retailer, servicio técnico, etc.)	Costo de Recolección de los Materiales	0,98 €	490.000 €	6,74%
Recepción y Almacenamiento de los productos de Ciclo Inverso	Costo de Manipulación y Transporte	0,27 €	135.000 €	1,86%
	Costo de Almacenamiento	1,00 €	500.000 €	6,88%
Clasificación	Costo de Clasificación de los Materiales	0,64 €	320.000 €	4,40%
Reciclaje y Reutilización	Proceso de Inspección y Mantenimiento	0,25 €	125.000 €	1,72%
	Costo de Desmontaje	0,64 €	320.000 €	4,40%
	Costo del Proceso de Reciclaje	2,50 €	1.250.000 €	17,20%
	Costos Energéticos	0,15 €	75.000 €	1,03%
Eliminación de los Desechos	Costo de Disposición Final de Sustancias Peligrosas	0,56 €	280.000 €	3,85%
	Desechos no Reciclables	0,01 €	3.500 €	0,05%

	Costo de Retirada de Gases Tóxicos	6,83 €	3.415.000 €	46,98%
N/A	Costos Indirectos (impuestos, limpieza, mantenimiento)	0,03 €	15.000 €	0,21%
N/A	Gastos de Personal	0,03 €	15.000 €	0,21%
SUMATORIA TOTAL DE LOS COSTOS		14,54 €	7.268.500 €	100,00%

Tabla 60 Análisis de Costos de la Logística Inversa para el Reciclaje y Reutilización

De la misma manera que los dos escenarios anteriores el costo más significativo es el del proceso de eliminación de desechos con un 51% de los costos totales, seguido por un 25% del proceso de reciclaje y reutilización compuesto por costo de inspección y mantenimiento 1,75%, costo de desmontaje 4,48%, costo del proceso de reciclaje 17,5% y los costos energéticos 1,05%. Los costos que menor impacto tienen en el sistema son los costos indirectos y los de personal.

Los beneficios se modifican de la siguiente manera: de los productos recolectados el 50% son reciclados y el 50% de los compresores son reutilizados.

ANÁLISIS DE BENEFICIOS DEL RECICLAJE Y LA REUTILIZACIÓN				
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECOLECTADOS		500.000		
CANTIDAD DE PRODUCTOS RECICLADOS Y REUTILIZADOS		250.000		
BENEFICIOS DEL RECICLAJE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%	
Valor obtenido del Reciclaje de los Metales				
Aluminio	9,16 €	2.289.600 €	12,61%	
Cobre	10,51 €	2.627.100 €	14,47%	
Hierro	8,42 €	2.103.750 €	11,59%	
Valor obtenido del Reciclaje de los Plásticos				
Espuma de PUR	4,23 €	1.057.500 €	5,83%	
Plásticos	4,49 €	1.121.850 €	6,18%	
Valor obtenido del Reciclaje del Vidrio				
Vidrio	0,81 €	202.500 €	1,12%	
BENEFICIOS DE LA REUTILIZACIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	%	
Reutilización de compresores	35 €	8.750.000 €	48,20%	
SUMATORIA TOTAL DE LOS BENEFICIOS		18.152.300 €	100,00%	

Tabla 61 Análisis de los Beneficios del Reciclaje y la Reutilización, tasa de reciclaje y reutilización: 50%

Por lo tanto, para obtener un valor aproximado de los beneficios obtenidos a partir del reciclaje y la reutilización de compresores en frigoríficos, se realiza la siguiente operación:

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 10.883.800 \text{ € por año}$$

$$\text{Beneficios} - \text{Costos} = 21,77 \text{ € por unidad recolectada}$$

Si la empresa realiza una Logística Inversa mixta se aprovecha de mejor manera el valor del producto recolectado, tanto en materiales como en componentes, por lo tanto se puede decir que se recupera alrededor del 7,3% del precio del producto de venta al público.

5.3 Conclusiones de los Análisis

El análisis DAFO permite a la empresa visualizar todas las implicaciones tanto internas como externas que conlleva un Sistema de Logística Inversa para los distintos tipos de redes ya sean estas de reciclaje o de reutilización, en base a este análisis la empresa podrá conocer las restricciones y beneficios que acarrea la implementación de un sistema de este tipo. Es importante que este análisis sea realizado por los miembros de la alta dirección de la empresa que conozcan bien los problemas internos y el entorno externo en el que operan.

Este tipo de análisis permite entender el potencial estratégico y los retos que conlleva implementar un Sistema de Logística Inversa, los resultados permiten diseñar el sistema que mejor se adapte a las necesidades de la empresa y desarrollar acciones concretas que se centren en la correcta gestión de acuerdo a los productos que la empresa ofrece y quiere reintroducirlos en la cadena de suministro mediante los diferentes tipos de tratamiento.

Luego de realizar el análisis DAFO la empresa puede enfocarse en disminuir las debilidades y aprovechar las fortalezas, además de considerar el impacto que representan las amenazas e intentar minimizarlas y sacar provecho de las oportunidades que se presentan en el entorno de la empresa.

Por otro lado, el Sistema de Logística Inversa con sus procesos y costos que se obtuvieron a partir del SCOR proporciona una guía para la implementación del sistema. El análisis de los costos ligados a los procesos ayuda a la empresa a considerar el impacto que tiene cada una de las actividades dentro del Sistema en términos monetarios.

El escenario de reciclaje aprovecha los materiales principales de un frigorífico como son: los metales, los plásticos y el vidrio para convertirlos en materia prima nuevamente y reinsertarlos en la cadena de suministros. Por otro lado, el escenario de reutilización aprovecha los componentes ya fabricados para la producción de nuevos frigoríficos, dando como resultado ahorros significativos de mano de obra y energía.

El escenario final que se propone es un escenario mixto en donde se aprovechan tanto los materiales como los componentes, el cual se podría llamar como un escenario ideal en donde se benefician de los procesos iniciales de identificación, devolución y recolección de los productos, luego se obtienen los componentes que pueden ser reutilizados y finalmente se saca todos los materiales que pueden ser reciclados, además se disminuyen los desperdicios; en este escenario el concepto de Economía Circular se hace más evidente y se obtiene el mayor provecho posible de cada unidad producida.

CONCLUSIONES

Este trabajo pretende mostrar la importancia de la Logística Inversa dentro de las Cadenas de Suministro y de Economías Circulares, por lo tanto, se expone la necesidad de desarrollar sistemas sostenibles eficientes que sean amigables con el medio ambiente y generen economías a escala que reduzcan o eliminen la explotación de recursos. Muchas investigaciones demuestran escenarios de escasez en el futuro debido al crecimiento acelerado de la población y el uso inconsciente de los recursos naturales, por lo tanto es urgente realizar cambios en los diseños de las industrias y del funcionamiento de la sociedad en sí.

La Economía Circular es un sistema industrial restaurativo y regenerativo, es decir reemplaza el concepto de fin de ciclo de vida mediante la restauración a través del uso de energía renovable, eliminación del uso de químicos tóxicos que perjudican la reutilización y apunta a la eliminación de desperdicios a través de una mejora en los diseños de los materiales, componentes, productos y modelos de negocio, por lo tanto la Economía Circular propone una nueva forma de hacer las cosas.

Los modelos circulares, en la mayoría de los casos, obtendrán cada vez mayores beneficios en los próximos años, debido a que se crea mayor valor por cada unidad de recurso que el modelo lineal tradicional. Es decir la Economía Circular propone beneficios tanto económicos como medioambientales para las empresas y para los consumidores, ya que al reciclar, reutilizar o re-fabricar se reduce el uso de recursos y energía lo que se refleja en ganancias para la empresa y reducción de los precios de los productos para los consumidores.

La preocupación de los gobiernos por la escasez de los recursos y los problemas medioambientales en crecimiento ha obligado a crear regulaciones y estímulos positivos y negativos alrededor del mundo para adopción de modelos de economía circular. Otro aspecto importante, es la sociedad, ya que se debe crear una cultura de reutilización y consumo responsable en las personas que son parte fundamental para cerrar las cadenas de suministro.

Sin embargo, la Economía Circular enfrenta grandes desafíos como son: la dispersión geográfica, los diferentes tipos de cadenas de suministro, la gran variedad de materiales que existentes, objetivos diferentes para cada industria, infraestructura limitada, mercados de escala, etc., estas limitantes determinan la velocidad de implementación del modelo y se deben buscar soluciones comunes para todas las industrias.

Parte esencial de la Economía Circular son las Cadenas de Suministro de Bucle Cerrado, es importante que el flujo de materiales sea circular es decir que los productos una vez que cumplen con su ciclo de vida regresen a la cadena para ser reutilizados o reciclados ya sea como materiales, componentes o productos.

Por lo tanto, las Cadenas de Suministro son elementos fundamentales para la Economía Circular, debido a que integran toda la red de proveedores, fabricantes, distribuidores, minoristas y clientes facilitando el cierre de los ciclos de producción para pasar de una economía lineal a una circular en donde la reutilización, la re-fabricación y el reciclaje son la clave para un modelo económico sostenible a largo plazo.

Uno de los aspectos más importantes de la Economía Circular y por lo tanto de las Cadenas de Suministro de Ciclo Cerrado es la Logística Inversa, la cual corresponde al ciclo de los productos desde los clientes hasta el punto en que los productos, componentes o materiales son recuperados, es decir para su reciclaje, re-fabricación o re-utilización, generando valor estratégico y crecimiento sostenible a largo plazo para las empresas.

En el capítulo 2 se realizó un análisis de los procesos de Logística Inversa vinculándolos con el modelo SCOR en consideración con las actividades de reciclaje, reutilización y re-fabricación, es importante mencionar que este modelo tiene dentro de sus procesos principales el Return o Retorno y dentro de Make o Fabricación se encuentran los subprocesos de reciclaje, reutilización y re-fabricación pero no hay un proceso específico para un sistema de Logística Inversa ya que es un modelo demasiado general y no considera la función inversa de la Logística. Se debe mencionar que el modelo SCOR tampoco considera actividades de servicio al cliente que son el punto de partida de un sistema de Logística Inversa para la recolección de productos de fin de ciclo de vida.

El reciclaje consiste en la recuperación de materiales para la elaboración de nuevos productos, la re-fabricación se centra en la elaboración de nuevos productos con componentes de productos usados, obteniendo productos de alta calidad similar a la de productos totalmente nuevos. Por otro lado, la reutilización se enfoca en restaurar el producto y dejarlo operativo arreglando solo las partes dañadas. La toma de decisiones con respecto a la opción de gestión a utilizar depende de la factibilidad tecnológica, el aprovisionamiento de productos y componentes usados, de que exista demanda de productos reprocesados y de los beneficios económicos y medioambientales.

Según varios estudios realizados la Logística Inversa representa el 4% de los costos logísticos, por lo tanto su correcta gestión es importante para obtener beneficios y sobre todo ganancias que incentiven a las empresas a implementar sistemas circulares, además de los beneficios medioambientales y el mejoramiento del servicio al cliente que son difíciles de cuantificar. Los costos establecidos dentro de un sistema de Logística Inversa son: los de recolección de los productos y transportes, los costos energéticos, los costos de generación de residuos sólidos y los costos en sí de los procesos de reciclaje, reutilización o re-fabricación según la opción de gestión de los productos de fin de ciclo de vida.

Estos costos son genéricos y dependen de la complejidad de la industria a la que se va a aplicar.

Las empresas en general se han visto motivadas para implementar sistemas de Logística Inversa debido a nuevas regulaciones y estímulos establecidos en diferentes países, además de los beneficios económicos, la imagen corporativa y la sostenibilidad empresarial.

En la industria automotriz han empezado a cambiar el diseño y estandarizar los tipos de materiales utilizados en la fabricación para facilitar su reinserción en las cadenas de suministro. El componente que más se reutiliza en la industria del automóvil son los neumáticos, se estima que en Estados Unidos el 75% de los neumáticos desechados fueron rencauchados y vendidos en mercados secundarios a un precio 30% a 50% menor al de los neumáticos originales, considerando que se pueden utilizar casi el mismo kilometraje que unos totalmente nuevos. Los costos más significativos en la Logística Inversa de esta industria son los de recolección y los de re-fabricación, es decir, los de rencauche; por otro lado los costos de transporte permanecen casi constantes a medida que la cantidad recolectada aumenta.

Luego de realizar un análisis de los costos de la Logística Inversa del rencauche estableciendo dos escenarios, en el primero se asume que todos los neumáticos se encuentren en condiciones para el rencauche y el segundo en donde se establece que el 2% de los neumáticos recolectados no son aptos para su reutilización, se puede decir que mientras más alto sea el porcentaje de neumáticos en mal estado y no aptos para el rencauche las ganancias disminuyen debido a que los costos de recolección y transporte permanecen constantes, y el valor obtenido por la venta a los recicladores es bajo. Por otro lado se evita los gastos de disposición final del producto en los vertederos.

En la industria de los aparatos eléctricos y electrónicos, la recolección de los productos de fin de ciclo de vida son generalmente realizados por los retailers debido a la cercanía con los consumidores finales, pero el procesamiento, es decir, el reciclaje, la reutilización o la re-fabricación en la mayor parte de los casos es realizado por el OEM debido a la necesidad del know-how de la industria y a la alta inversión en investigación y desarrollo tecnológico que existen dentro de este tipo de productos.

El modelo de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos presentado en el capítulo 3, demuestra una vez más que el aumento de la tasa de reciclaje aumenta los beneficios ya que algunos costos representativos como el de las instalaciones, el transporte, etc., no se alteran en gran medida cuando aumenta la cantidad de aparatos procesados. Uno de los costos más representativos es el de las operaciones de reciclaje y desmontaje que están alrededor del 55%, siendo este proceso la operación principal de la Logística Inversa.

Otra industria de interés en la Logística Inversa es la de los empaques y envases caracterizado generalmente por tener pocas o ninguna actividad para su recuperación y la alta rotación de sus productos. El costo más relevante dentro de esta industria es el de transporte debido a que una vez que los productos son consumidos, los envases deben regresar para su reutilización o reciclaje. En esta industria la recolección de los envases es realizada por los retailers, en muchos países está autorizado el cobro de un pequeño incentivo monetario para la devolución, de esta manera al momento de entregar los envases se les devuelve a los consumidores este valor, lo que estimula a los usuarios a devolver los productos una vez han cumplido con su función.

En el cuarto capítulo se presentó un modelo que pretende poner en consideración todas las implicaciones tanto internas como externas al momento de implementar un sistema de Logística Inversa en una empresa. En primera instancia es importante que la empresa conozca todas las características de su producto, del mercado en el que se vende y las fuentes de retorno, para tomar las decisiones correctas de acuerdo al tipo de gestión y procesos que se requieren realizar.

Como industria piloto para el desarrollo del modelo se tomó la de los aparatos electrónicos y eléctricos, se dividió a los materiales en tres principales categorías: vidrio, metal y plástico en los cuales se puede aplicar diferentes opciones de gestión y facilita el manejo de la logística inversa. Otro aspecto importante de la Logística Inversa es la decisión de quien la realiza, ya que el sistema puede ser propio, es decir realizado por la misma empresa o externo o subcontratado, esta medida dependerá de si la empresa se encuentra o no en la capacidad de asumir este proceso y los costos que se generan.

Para realizar un primer análisis de la factibilidad para la implementación de un sistema de Logística Inversa dentro de una empresa se propone un DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), esta herramienta proporciona a la empresa una visión global de todos los aspectos a tomar en consideración y es de gran ayuda para la toma de decisiones estratégicas.

Otra herramienta propuesta es el Análisis Costo-Beneficio que mide la relación entre los costos y los beneficios asociados al proyecto con el fin de evaluar su rentabilidad, para realizar este análisis es importante conocer al menos un aproximado de la cantidad de productos a tratar ya que de este punto se derivan todos los costos.

Una vez planteadas las herramientas para la implementación del sistema se realizó una aplicación a la industria de los frigoríficos, de una empresa ubicada en el Ecuador. Se evidenció claramente que el principal limitante para el desarrollo de este proyecto son los recursos financieros, ya que el gobierno del Ecuador no proporciona subsidios para el reciclaje y la reutilización de este tipo de aparatos.

En el Análisis Costo-Beneficio se presentaron tres escenarios; el primero de reciclaje puro, luego reutilización y por último un escenario mixto. Además se estableció una tasa de recolección del 50%, es decir de todos los frigoríficos vendidos la mitad son recolectados y por último la tasa de reciclaje y reutilización se fijó en 50%.

En el escenario de reciclaje el costo más representativo es el del proceso de reciclaje en sí, además de los costos de recolección y transporte, al ser productos relativamente grandes. Por otro lado los beneficios obtenidos de los materiales reciclados, sobre todo de los metales son considerables para la empresa. Como conclusión de este escenario se puede decir que una vez reciclados los metales, plásticos y vidrio podemos recuperar un 2% del valor del precio de venta al público del producto.

En el segundo escenario se propone la reutilización de únicamente los compresores que tienen un valor aproximado de 35 €. En este escenario se genera un costo adicional que es el de inspección y mantenimiento de los compresores, proceso en el cual se determina si el compresor puede o no ser reutilizado, los costos de desmontaje y personal se reducen debido a que cambian las necesidades. Luego de realizar el análisis se puede decir que la reutilización de compresores permite a la empresa recuperar un 2,2 % del valor del producto.

En el escenario mixto de reciclaje y reutilización los beneficios aumentan debido principalmente a que se intenta aprovechar al máximo los recursos de cada unidad recolectada. Este escenario permite a la empresa obtener grandes beneficios de casi el 8% de recuperación del valor de los frigoríficos.

El modelo para la implementación de la Logística Inversa propone, en primera instancia, conocer el producto y el mercado en el que se va a trabajar, para luego tomar decisiones en cuanto el tipo de red que se va a utilizar (red de reciclaje, red de reutilización o red de re-fabricación) y quien la va a gestionar. Además, la herramienta DAFO permite a la empresa visualizar las implicaciones tanto internas como externas de un Sistema de Logística Inversa para obtener pautas iniciales para el análisis costo beneficio representando los eslabones más fuertes para potenciarlos y generar ventajas competitivas y los eslabones más débiles para generar estrategias y mejorarlos.

El modelo de Logística Inversa genérico obtenido a partir del SCOR con sus procesos y sus costos toma en consideración los procesos del Make y del Return y los adapta a un proceso genérico para la implementación del sistema inverso. El proceso Make del SCOR aporta con los conceptos de reciclaje, re-fabricación, reutilización, pruebas y eliminación de desechos y por otro lado el proceso Return contribuye con la identificación y devolución de los productos. Los procesos adicionales al SCOR son los de recolección de los productos, recepción y almacenamiento y clasificación y diagnóstico El modelo proporciona a las

empresas una guía para la implementación del sistema, además el análisis costo-beneficio ligado a cada uno de los procesos permite visualizar el impacto que tiene cada una de las actividades en términos monetarios.

Después de realizar los análisis, la importancia y los beneficios de la Economía Circular se hacen más evidentes. Si se implementa en las empresas Sistemas de Logística Inversa que lleven a Economías Circulares en donde se aprovechen de la mejor manera los productos de fin de ciclo de vida, el consumo y la explotación de la materia prima, irá disminuyendo cada vez a mayor escala y se obtendrá mayores beneficios de cada unidad producida a la vez que se cuida el medio ambiente y sus recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ait-Kadi, D., Chouinard, M., Marcotte, S., & Riopel, D. (2012). Reverse Logistics Engineering. In *Sustainable Reverse Logistics Network* (pp. 35–88). John Wiley & Sons, Inc. <http://doi.org/10.1002/9781118387177.ch2>
- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación.
- Boada Ortíz, A. (2003). Reciclaje, una herramienta no un concepto: reflexiones hacia la sostenibilidad. In *Reciclaje, una herramienta no un concepto: reflexiones hacia la sostenibilidad*. UEC.
- Christopher, M. (1998). Logistics and supply chain management: Strategies for reducing cost and improving service.
- Council, T. S. C. (2010). *SCOR: Supply Chain Operations Reference Model*. Estados Unidos.
- Cruz-Rivera, R., & Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 930–939. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2008.04.041>
- Díaz, A., Álvarez, M. J., & González, P. (2004). Logística inversa y medio ambiente. *Editorial: Mc Graw–Hill Interamericana de España*.
- Dowlatshahi, S. (1999). A modeling approach to logistics in concurrent engineering. *European Journal of Operational Research*, 115(1), 59–76. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00184-2](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00184-2)
- Eldin, N. N., & Piekarski, J. A. (1993). Scrap tires: management and economics. *Journal of Environmental Engineering*, 119(6), 1217–1232.
- Ferguson, N., & Browne, J. (2001). Issues in end-of-life product recovery and reverse logistics. *Production Planning & Control*, 12(5), 534–547.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1–17.
- Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., & Flapper, S. D. P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28(6), 653–666.
- Fomento, M. de. (2005). IV . A3 Elaboración de un análisis DAFO en organizaciones de transportes. *Memoria Jefe Contabilidad*.
- Forum, W. E. (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale up across global supply chains*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
- Giutini, R., & Gaudette, K. (2003). Remanufacturing: The next great opportunity for

- boosting US productivity. *Business Horizons*, 46(6), 41–48.
[http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0007-6813\(03\)00087-9](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0007-6813(03)00087-9)
- Goldsby, T. J., & Closs, D. J. (2000). Using activity-based costing to reengineer the reverse logistics channel. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(6), 500–514.
- Grimes-Casey, H. G., Seager, T. P., Theis, T. L., & Powers, S. E. (2007). A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles. *From Material Flow Analysis to Material Flow Management*, 15(17), 1618–1627.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.007>
- Herrán, V. R., Orbegozo, U. T., & Merino, J. D. G. (2002). La logística inversa como fuente de ventajas competitivas. *Boletín Económico de ICE, Información Comercial Española*, (2742), 1–12.
- Hung Lau, K., & Wang, Y. (2009). Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(6), 447–465.
- Izard Garcia, M. (2011). *Estudio de Viabilidad de una Planta de Reciclado de Componentes Eléctricos y Electrónicos*. Universidad Pontificia de Comillas.
- Jiménez Sánchez, J. E., & Hernández García, S. (2002). Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico. *Publicación Técnica*, (215).
- Krikke, H. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of ...*. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0020754031000120087>
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J., & Van Wassenhove, L. N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of Production Research*, 41(16), 3689–3719.
- Krikke, H. R., van Harten, A., & Schuur, P. C. (1999). Business case Oce: reverse logistic network re-design for copiers. *OR-Spektrum*, 21(3), 381–409.
- Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56–68.
- Kumar, S., & Putnam, V. (2008). Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. *Institutional Perspectives on Supply Chain Management*, 115(2), 305–315.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.11.015>
- La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging logistics strategies: blueprints for the next century. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24(7), 35–47.
- Lett, L. A. (2014). Global threats, waste recycling and the circular economy

- concept. *Revista Argentina de Microbiología*.
- Liu, Q., Li, H., Zuo, X., Zhang, F., & Wang, L. (2009). A survey and analysis on public awareness and performance for promoting circular economy in China: A case study from Tianjin. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 265–270. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.06.003>
- Logifruit. (2014). *Empresa que evoluciona liderada por personas*. Retrieved from https://www.logifruit.es/media/memoria_2014.pdf
- Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. *Computers & Operations Research*, 34(2), 299–323.
- Martínez, A. C. G. (2001). Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México. Una aproximación monetaria. *Gaceta Ecológica*, (58), 17–26.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2015). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*. <http://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129–148.
- Rubio Lacoba, S. (2003). *El sistema de logística inversa en la empresa: análisis y aplicaciones*. (Tesis Doctoral), Departamento de Economía, Universidad de Extremadura, 299.
- Sasikumar, P., Kannan, G., & Haq, A. N. (2010). A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(9-12), 1223–1234.
- Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. *Management Science*, 50(2), 239–252. <http://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186>
- Schultmann, F., Zumkeller, M., & Rentz, O. (2006). Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *Feature Cluster: Heuristic and Stochastic Methods in Optimization Feature Cluster: New Opportunities for Operations Research*, 171(3), 1033–1050. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.016>
- Shih, L.-H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(1), 55–72. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(00\)00098-7](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00098-7)
- Stock, J., & Lambert, D. (2001). Strategic logistics management. Retrieved from http://sutlib2.sut.ac.th/sut_contents/H74607.pdf

- Sunthonpagasit, N., & Duffey, M. R. (2004). Scrap tires to crumb rubber: feasibility analysis for processing facilities. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(4), 281–299. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00073-9](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00073-9)
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2), 114–135.
- Tibben-Lembke, R. S., & Rogers, D. S. (2002). Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5), 271–282.
- Zeng, A. Z., & Rossetti, C. (2003). Developing a framework for evaluating the logistics costs in global sourcing processes. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(9), 785–803. <http://doi.org/10.1108/09600030310503334>