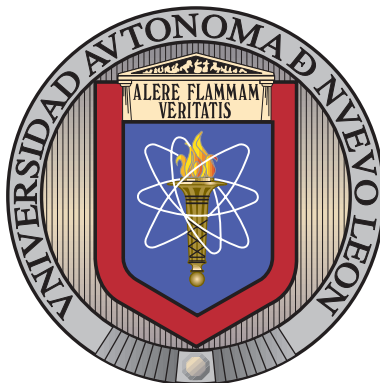


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE LA LOGÍSTICA
INVERSA EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE
UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE
PRODUCTOS INDUSTRIALES.

POR

YASIEL HERNÁNDEZ SUÁREZ

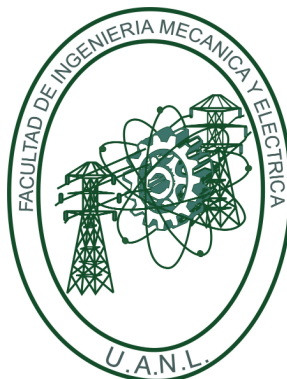
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

SEPTIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE LA LOGÍSTICA
INVERSA EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE
UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE
PRODUCTOS INDUSTRIALES.

POR

YASIEL HERNÁNDEZ SUÁREZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

SEPTIEMBRE 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Posgrado

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis “Impacto de la integración de la logística inversa en la cadena de suministro de una empresa comercializadora de productos industriales”, realizada por el estudiante Yasiel Hernández Suárez, con número de matrícula 2222130, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Evaluación de Tesis

Dra. Carolina Solís Peña
Director

MLyCS Blanca Idalia Pérez Pérez
Revisor

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa
Revisor

Dr. Juan Manuel Hernández Ramos
Revisor

Vo.Bo.


Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 642597

Acta Núm. 4570

Ciudad Universitaria, a 20 de octubre del 2025.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------------|
| Agradecimientos | XII |
| Resumen | XIV |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Descripción del problema | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivos específicos | 4 |
| 1.3. Hipótesis | 4 |
| 1.4. Justificación de la investigación | 5 |
| 1.5. Metodología | 7 |
| 2. Antecedentes | 8 |
| 2.1. Evolución de la logística inversa | 8 |
| 2.1.1. Clasificación de los desechos | 19 |
| 2.2. Teorías y Modelos Fundamentales | 20 |
| 2.2.1. Modelos de aplicación | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3. Aplicaciones de la Logística Inversa | 24 |
| 2.4. Beneficios y desafíos de la Logística Inversa | 27 |
| 2.4.1. Beneficios | 28 |
| 2.4.2. Desafíos | 29 |
| 2.5. Propuestas de Mejora y Tendencias Futuras de la Logística Inversa . . | 30 |
| 2.5.1. Propuestas de Mejora | 31 |
| 2.5.2. Tendencias Futuras | 32 |
| 2.5.3. Justificación del Procedimiento Seleccionado para el Diseño de la Logística Inversa | 33 |
| 2.6. Conclusiones del capítulo | 35 |
| 3. Metodología | 36 |
| 3.1. Enfoque Metodológico | 36 |
| 3.1.1. Fase I. Preparación de las condiciones para el estudio | 37 |
| 3.1.2. Fase II. Diagnóstico de la Logística Inversa | 38 |
| 3.1.3. Fase III. Diseño de la Logística Inversa | 40 |
| 4. Análisis y Resultados | 44 |
| 4.1. Fase I: Preparación de las condiciones para el estudio. | 44 |
| 4.1.1. Paso 1: Caracterización de la organización. | 44 |
| 4.1.2. Paso 2: Recopilación de datos base. | 45 |
| 4.2. Fase II: Diagnóstico actual de la LI | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1. Paso 3: Identificación y análisis de los elementos que integran la LI actual | 46 |
| 4.2.2. Estado de recursos actuales | 46 |
| 4.2.3. Descripción del proceso de generación de desechos | 47 |
| 4.2.4. Paso 4: Análisis del Nivel de Servicio percibido por el cliente. . | 51 |
| 4.2.5. Paso 5: Evaluación de los indicadores de LI | 53 |
| 4.2.6. Paso 6. Balance dinámico de los parámetros de la LI | 54 |
| 4.3. Fase III: Diseño de la Logística Inversa. | 57 |
| 4.3.1. Paso 7: Clasificación de los residuos. | 57 |
| 4.3.2. Paso 8: Estrategias para el tratamiento y destino final. | 58 |
| 4.3.3. Paso 9: Diseño de los subprocesos. | 62 |
| 4.3.4. Paso 10: Balance dinámico de los parámetros definidos. | 65 |
| 4.3.5. Paso 11: Cuadro de mando integral de la LI. | 69 |
| 4.3.6. Paso 12: Programa de implementación. | 72 |
| 4.3.7. Valoración de la investigación. | 73 |
| 5. Conclusiones | 75 |
| 6. Recomendaciones | 77 |
| A. Anexos | 78 |
| A.1. Anexo 1: Encuesta Nivel de Servicio | 78 |
| A.2. Anexo 2: Indicadores de rendimiento de la LI. | 80 |

| | |
|---|----|
| A.3. Anexo 3: Clasificación de residuos. | 80 |
| A.4. Anexo 4: Fichas de proceso. | 84 |
| A.5. Anexo 5: Redes Petri del proceso de LI. | 90 |
| A.6. Anexo 6: Análisis Costo- Beneficio. | 93 |
| A.7. Anexo 7: Cuadro de Indicadores Clave de Desempeño (KPI). | 96 |
| A.8. Anexo 8: Programa de implementación de la LI. | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1.1. Volumen de contaminantes generados al cierre de 2024 | 6 |
| 2.1. Etapas de la logística moderna | 9 |
| 2.2. Cadena logística. | 9 |
| 2.3. Logística verde y logística inversa | 14 |
| 2.4. Integración de la logística directa e inversa. | 15 |
| 3.1. Evaluación del Nivel de Servicio. | 39 |
| 3.2. Modelo de Implementación de la Logística Inversa. | 43 |
| 4.1. Flujo de material. | 45 |
| 4.2. Diagrama operacional y puntos de generación de desechos. | 48 |
| 4.3. Volumen de generación de material de desecho para un mes de operación. | 50 |
| 4.4. Mapeo de la situación actual. | 51 |
| 4.5. Red Petri de los subprocesos de LI. | 62 |
| 4.6. Mapeo de la situación propuesta. | 64 |
| 4.7. Contenedores de colores por categoría de desechos. | 68 |

| | |
|--|----|
| 4.8. Cuadro de Mando Integral de la Logística Inversa (CMILI). | 70 |
| A.1. Red Petri de los subprocesos de LI diseñados. | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 2.1. Definiciones de Logística Inversa. | 11 |
| 2.2. Diferencias entre la logística directa y la logística inversa. | 16 |
| 2.3. Alternativas de tratamiento. | 17 |
| 2.4. Indicadores. | 18 |
| 2.5. Tipos de residuos y métodos de tratamiento. | 20 |
| 4.1. Evaluación del Nivel de Servicio. | 52 |
| 4.2. Trazabilidad del precio comercial de componentes metálicos. | 54 |
| 4.3. Ciclos de recolección de desechos | 55 |
| 4.4. Generación mensual de residuos. | 56 |
| 4.5. Clasificación de materiales oxidados según restaurabilidad | 59 |
| 4.6. Materiales y su reciclado promedio | 61 |
| 4.7. Formato de registro de frecuencia de recolección de residuos por mes. | 66 |
| 4.8. Resumen de residuos y sus características de envase | 67 |
| A.1. Encuesta Nivel de Servicio (NS). | 79 |

| | |
|--|----|
| A.2. Indicadores de recuperación de residuos | 80 |
| A.4. Tabla de Costos Anuales. | 93 |
| A.5. Tabla de Beneficios Estimados Anuales. | 94 |
| A.6. Indicadores financieros. | 94 |
| A.7. Cuadro de Indicadores Clave de Desempeño (KPI). | 96 |

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Julia y Felipe, por todo el amor que me dan y siempre tener las palabras de aliento que me impulsan a seguir y soñar con un futuro mejor para todos. La distancia ha sido difícil, pero siempre llevo conmigo el calor de sus abrazos.

A mi esposa, Yadira, por ser amor, paciencia y ternura. La piedra angular que me mantiene fuerte y saca lo mejor de mí. Esta es otra meta que logramos y disfrutamos juntos.

A mi hermano, Andresito, porque la distancia nunca fue una barrera para que siempre caminemos juntos, apoyándonos en las dificultades y celebrando los logros en los caminos que decidimos seguir. Aquí te va otra victoria que ganamos y, de paso, el abrazo que un océano de por medio me impide darte. Te quiero mucho, Tato.

A mi hermano de la vida, José Armando, por ser ese motor de impulso para todo este proceso. Sin tu empuje y apoyo, esta meta no hubiera sido posible. Gracias por estar ahí y saber que podemos contar uno con el otro en cada paso que damos. Muchas gracias a Ismary, por acogerme como un hijo más y siempre estar al pendiente.

A Mirelys, por ser la compañera de batalla en esta carrera que hemos realizado juntos desde la hora cero. Nos hemos convertido en familia durante este tiempo. Valoro mucho todo lo que hemos pasado en cada tarea, proyecto, superando cada asignatura. Espero que sigamos “echando pa’ lante” como decimos en nuestro pedacito de tierra que tantos recordamos.

A la Dra. Jania Saucedo, por su excelencia como persona y como profesional. Siempre con la indicación precisa, el soporte constante y, a pesar de su cargada agenda, siempre disponer de un espacio para atender todas nuestras necesidades y brindarnos las herramientas para superar cada fase de la maestría. Me uno a los muchos alumnos que ha formado durante su exitosa carrera y le deseo grandes triunfos en las metas que se proponga.

A la Dra. Carolina Solís por su apoyo y consejos durante la realización de este proyecto de tesis. Gracias por dedicarme gran parte de su tiempo para asesorarme y compartir sus conocimientos.

A todo el equipo de trabajo de la empresa que sirvió de base para el desarrollo de este proyecto. Gracias por su valiosa información y reconocer el potencial de mejora que podemos desarrollar a través de este trabajo.

A los profesores que nos han compartido sus conocimientos en cada materia y a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por servir de casa para nuestra formación profesional.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Información (SECIHTI) por ser el programa que nos brinda las herramientas a profesionales de todo el mundo, que tengan en común la ambición de superarse y potenciar su aporte a nuestra sociedad para forjar un mejor futuro.

Gracias a todos los que, de una forma u otra, han contribuido a la ejecución de este proyecto.

RESUMEN

Yasiel Hernández Suárez.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA
EN LA CADENA DE SUMINISTRO DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE
PRODUCTOS INDUSTRIALES..

Número de páginas: 104.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: El objetivo general de la investigación consiste en reducir los costos y el impacto ecológico de la empresa mediante la implementación de la logística inversa, para lo cual se plantean como metas específicas: definir un método de aplicación de la logística inversa acorde a las operaciones de la organización; determinar las actividades que contribuyen al destino final efectivo de los recursos reutilizables; integrar dichas actividades a los procesos logísticos existentes; y establecer indicadores que permitan cuantificar tanto los costos asociados como el impacto ambiental derivado de la adopción de esta estrategia.

La investigación se desarrolla mediante un caso de estudio aplicado a una sucursal de una empresa internacional de suministros industriales y de construcción, seleccionada por la relevancia y representatividad de sus operaciones en el contexto nacional. El enfoque metodológico es mixto, ya que combina el análisis documental y bibliográfico para sustentar el marco teórico de la logística inversa con el uso de datos operativos de la empresa (costos, devoluciones, reembalajes y consumo de materiales de empaque), cuyo examen permite evaluar tanto el impacto económico como ambiental de las actividades logísticas.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: El proyecto aporta la incorporación de nuevos procesos a la organización, los cuales impactan en el ámbito ecológico y económico. Se generan beneficios en cuanto a la optimización de recursos y eficiencia de las operaciones. Además propone una herramienta de aplicación de la Logística Inversa, con capacidad para ser utilizada en el sector de suministros industriales y de construcción.

Firma del asesor: _____
Dra. Carolina Solís Peña

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La logística internacional y en concreto los procesos logísticos, contribuyen a la adquisición de productos extranjeros en todo el mundo para los consumidores; sin embargo, estos producen hasta un 75 % de la huella de carbono de las empresas, lo que es grave para el medio ambiente. Vidales y García (2021) estiman que los desechos a nivel mundial en el 2050 crecerán un 70 % en comparación con las cifras actuales y, según las tendencias de consumo, se pronostica una disposición de aproximadamente el 58 % de la población a preferir el uso de productos sostenibles y ecoamigables.

La aparición del concepto de logística sustentable ha llevado a la innovación y rediseño de los procesos, destacándose entre estas nuevas formas de hacer, los métodos relacionados con la Logística Inversa (LI). Los beneficios de su aplicación, principalmente la minimización del impacto ambiental, la reducción de costos, el mejoramiento de la imagen corporativa y la satisfacción del cliente, están conduciendo a que cada vez más industrias la integren a sus operaciones logísticas. La incorporación de los subprocesos de la Logística Inversa se aplica para las empresas del sector, siguiendo una metodología definida. Los impactos que genera su aplicación se controlan mediante los indicadores de rendimiento económico de la organización y, además, se evalúan mediante los indicadores de sustentabilidad definidos para la estrategia de Logística Inversa.

Según Lagunas (2024), la estrategia de logística inversa y sus experiencias de aplicación en varios países ha favorecido la idea de adoptarlo como herramienta que impacta positivamente en la rentabilidad y tributa a las organizaciones en el logro de los objetivos de sostenibilidad y desarrollo en la calidad de su servicio, minimizando costos de los procesos mediante su aplicación.

Estudios realizados por AClima (2020), exponen las estadísticas relacionadas con la Logística Inversa como concepto asociado a la economía circular. Refiere que en Europa, la tendencia a adoptar esta estrategia genera un incremento del negocio de un 8 % con 600 000 millones de euros cada año por concepto de ahorro neto. El reciclaje representa uno de los pilares fundamentales, pues queda demostrado que los residuos sólidos urbanos son, en su mayoría, envases de papel, cartón o plástico.

Las empresas dedicadas a surtir a los consumidores con los materiales de uso industrial, no quedan exentas de contribuir a la eficiencia ambiental. En su caso, gran parte de los materiales que comercian deben ser ajustados a características técnicas y de calidad específicas, las cuales deben cumplirse con gran precisión; de lo contrario, se generan devoluciones que, de no ser tratadas correctamente, pueden generar un costo asociado, el cual en muchos casos puede ser reducido con el correcto destino final de estos materiales. Además, como parte de las actividades comerciales y convenios con los clientes, estos materiales son reembalados de acuerdo al formato de presentación establecido por el consumidor, generando costos en material de envase. El resultado obtenido en esta investigación permite justificar la hipótesis de alcanzar una incidencia positiva en los indicadores económicos y medioambientales de la organización y valida la aplicación de la metodología de integración de la Logística Inversa como parte del proceso de mejora continua de la organización y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2016).

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La organización caso de estudio es una empresa estadounidense fundada en 1967. La empresa se especializa en ser un proveedor internacional de suministros para la industria y construcción. La fiabilidad en sus operaciones de abastecimiento y el trato personalizado con el cliente favorecen la gestión de inventario como valor agregado. El reabastecimiento se integra dentro del proceso productivo del cliente en el lugar que lo requiere, aplicando soluciones de inventario y tecnología novedosa para garantizar el suministro necesario y oportuno dentro de las estaciones de trabajo donde se ocupa, lo que convierte a la empresa en un aliado estratégico para la gestión de suministros industriales. Tiene presencia en México desde inicios de los años 2000 y actualmente cuenta con más de 53 sucursales a lo largo del país, lo que evidencia el crecimiento y la oportunidad de negocio en el territorio mexicano.

Como parte de las empresas dedicadas al suministro industrial, se identifica con algunas brechas que pueden repercutir en costos para la organización (Ejemplo: material de empaque, certificaciones, etc...). Estos costos, en su mayoría, se asumen como gastos directos asociados a las actividades básicas de la operación del negocio. Sin embargo, estas empresas de suministros industriales no miden, en su mayoría, el impacto que generan dichos costos en las utilidades de la empresa y, en otros casos, estos saldos son cargados al precio del producto que se ofrece al cliente, lo que repercute en la competitividad de precios en el mercado.

En estos casos se nos presenta una situación basada en identificar aquellos productos, servicios y/o material alterno que, una vez utilizado o devuelto por el consumidor, tiene cierto valor que puede ser aprovechable mediante un tratamiento efectivo y eficiente.

La inexistencia o aplicación limitada de una adecuada política de reciclaje, reutilización y recomercialización de acuerdo con las características propias del negocio, causa un impacto significativo a largo plazo en los saldos contables de las

organizaciones destinadas a ofertar productos industriales. En gran medida, todas estas brechas son cubiertas mediante la integración de los procesos de logística inversa a la cadena de suministro de las empresas que presentan este escenario.

1.2 OBJETIVOS

El análisis de las brechas planteadas, permite definir como objetivo general el siguiente planteamiento:

- Reducir los costos y el impacto ecológico de la empresa mediante la implementación de la logística inversa.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo este propósito, se trazan los siguientes objetivos específicos:

1. Definir el método de aplicación de la logística inversa aplicable a las operaciones de la empresa de acuerdo a la literatura.
2. Determinar las actividades que contribuyan al correcto destino final de los recursos reutilizables identificados.
3. Diseñar las actividades a integrar en los procesos logísticos de la organización.
4. Definir los indicadores que permitan cuantificar los costos asociados y el impacto ambiental derivado de la implementación de la política de logística inversa.

1.3 HIPÓTESIS

Para evaluar el impacto del proyecto, se define la siguiente hipótesis a validar:

La integración de la logística inversa en la cadena de suministro de una empresa comercializadora de productos industriales reduce los costos y el impacto ecológico ocasionado por ella.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según estudios realizados al cierre de 2020, en el mundo se generan 1,4 billones de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) por año, lo cual representa una generación promedio de 1,2 kg por persona al día. Según la investigación desarrollada por el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se pronostica un crecimiento del 350 % de los residuos sólidos urbanos hasta el año 2050, tal y como se mantienen los estándares de consumo actuales. La densidad poblacional estimada sería de 9 billones de habitantes, que van a generar 4 billones de toneladas de residuos, repercutiendo directamente sobre el medio ambiente y las formas de vida en el planeta (Zagury, 2020).

Estudios realizados por el Consejo de Investigación en Tecnología de Generación de Energía de los Estados Unidos arrojan que, por cada 10 toneladas de basura en vertederos, 1 m² de suelo queda inutilizable por tiempo indefinido.

Los costos ambientales de los residuos tienen un alto impacto en el medio ambiente, destacando: la contaminación del agua, la inutilización del suelo, la contaminación del aire; lo cual repercute directamente en la destrucción de ecosistemas y la reducción de la calidad de vida. La quema de estos residuos, incluso aquella que se realiza de forma controlada, genera gases como el dióxido de carbono y metano, los cuales impactan directamente en la atmósfera, generando el conocido efecto invernadero. Adicionalmente, la acumulación de residuos sólidos influye en la contaminación del agua superficial de los mares, ríos y lagos; estudios han demostrado que los desechos que se filtran a través de los suelos donde se ubican vertederos, se propagan y contaminan directamente las aguas subterráneas.

Estadísticas del 2024 evidencian que en sólo dos décadas, la producción anual de residuos plásticos en todo el mundo se ha duplicado, tal y como se observa en la Figura 1.1, pasando de 180 millones a más de 350 millones de toneladas, según el informe Perspectivas Mundiales del Plástico de la OCDE. Se prevé que los residuos plásticos casi se tripliquen en todo el mundo para 2060: la mitad de todos estos desechos seguirán siendo depositados en vertederos y menos de una quinta parte se reciclarán, según el informe. Dado que los envases representan casi el 40 % del peso total de los residuos generados en el mundo, su reducción y reciclaje es una prioridad en la lucha contra la contaminación (Melo, 2024).

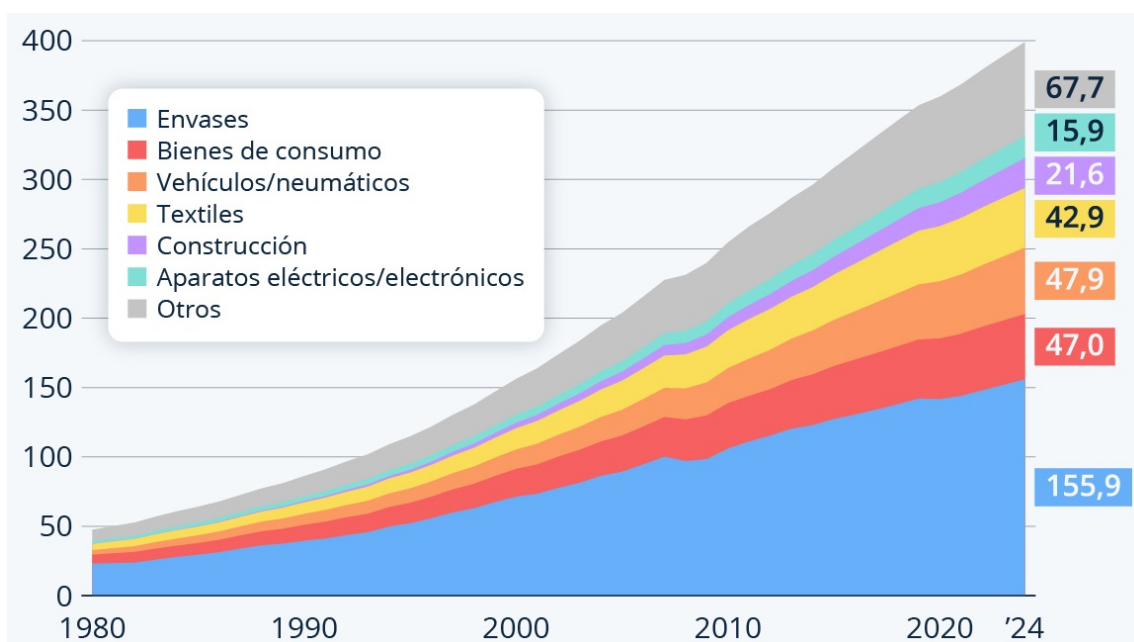


FIGURA 1.1: Volumen de contaminantes generados al cierre de 2024 Fuente: (Melo, 2024)

En lo referido a los gastos financieros relacionados con este tema, se estima que del 20 al 30 % de los presupuestos de las ciudades del mundo tienen como destino el tratamiento de residuos. Se valora un gasto de unos 40 mil millones de dólares para garantizar los servicios de recolección y clasificación. Los países más afectados en este aspecto se encuentran en África, América Latina y el Sudeste de Asia.

Para el caso de México, la sobreproducción de basura y destino final deficiente

de estos desechos, constituyen uno de los problemas más acuciantes para la tarea ambiental que desarrolla el estado.

Requena (2021), plantea que el sistema de recolección de residuos no es efectivo, debido a que los residuos se mezclan durante el proceso de recolección, lo cual le resta valor al perder la capacidad de ser reaprovechados para reciclar. Por esta razón, se vuelve imperante la necesidad de que las empresas tomen cartas en la gestión de sus residuos para contribuir a la reducción de la huella ecológica que tanto impacta al medio ambiente.

1.5 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se debe seguir la siguiente metodología, la cual consiste primeramente en proceder con la revisión de la literatura, realizando una búsqueda de artículos que hablen sobre el problema de investigación. Esto con la finalidad de refinarlo y contextualizarlo. Una vez realizado el marco teórico, donde se analizan las variables o factores que tienen impacto en el problema de investigación, el siguiente paso es determinar cómo estas variables son medidas, y de plantear indicadores de desempeño respaldados por la literatura, para su aplicación y adecuación al contexto en donde se desarrolla el presente proyecto.

Posteriormente, se examina la situación actual de la empresa, a través de la medición de los indicadores y, en función de sus resultados, proponer el diseño de mejora a partir de las áreas de oportunidad detectadas.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 EVOLUCIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA

El cuidado del medio ambiente se convierte en un tema actual que obliga a tomar conciencia y establecer políticas e iniciativas dirigidas a revertir los efectos nocivos de su deterioro, a través de la reducción de la contaminación y la protección de los recursos naturales, con el fin de lograr una eficiencia económica y ecológica. Las empresas, alineadas con las políticas de desarrollo sostenible, han dado pasos para el mejoramiento sustentable de sus procesos, entre ellos, la logística. El desarrollo de esta rama en la gestión empresarial comienza a partir de la II Guerra Mundial; posteriormente, se reconoce que las habilidades logísticas podían ser utilizadas en la industria, por lo que, en el siglo XX, la logística transitó de ser una actividad con fines militares a tener fines organizacionales.

Batista (2016) determina que el desarrollo de la logística empresarial se puede describir a lo largo de cinco etapas, representadas en la Figura 2.1:



FIGURA 2.1: Etapas de la logística moderna. Fuente: (Batista, 2016).

La logística ha sufrido, a lo largo de los años, diversas transformaciones en el contenido de su concepto, citando autores como Wyckoff y Ballou (1973); Christopher (1999); Mentzer *et al.* (2001); Suárez *et al.* (2001); Castro y Auxiliadora-Amador (2003); Galiana (2024), de los cuales destaca la definición estandarizada y global proporcionada por Vitasek (2013), la cual describe la logística como el proceso de planificación, implementación y control eficiente del flujo de productos, servicios e información desde el punto de origen hasta el punto de consumo.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la secuencia generalizada de la cadena logística se representa en la Figura 2.2 siguiente:

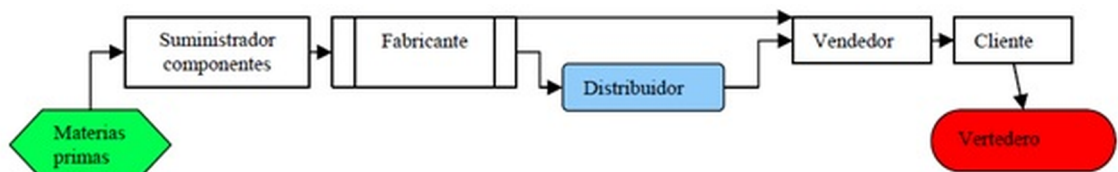


FIGURA 2.2: Cadena logística.

La aparición del concepto de logística sustentable ha llevado a la innovación y rediseño de los procesos, destacándose entre estas nuevas formas de hacer, los términos relacionados con la Logística Verde y Logística Inversa.

Los autores que abordan el tema de la logística verde o logística sustentable, se dividen en dos grupos: algunos abordan ambos conceptos de modo independiente y otros, integran las actividades de ambas tendencias en un sistema interrelacionado.

Parada (2010) define a la logística verde como el proceso de reducir al mínimo el impacto ecológico de la logística. Por otro lado, Beredugo (2024) señala que la logística sostenible se refiere a la integración de los aspectos ambientales, sociales y económicos, consideraciones en el diseño, planificación, ejecución y seguimiento de las operaciones logísticas y sistemas para minimizar los impactos negativos al medio ambiente. Además, argumenta que los objetivos de la logística sostenible se centran en lograr un equilibrio entre crecimiento económico, protección ambiental y equidad social.

Ren *et al.* (2020) combina ambos términos y define la Logística Verde y Sustentable como la planificación, control, gestión e implementación de un sistema logístico a través de tecnologías logísticas avanzadas y gestión ambiental, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia logística.

El término de Logística Inversa evolucionó con el nacimiento de la conciencia ambiental a nivel mundial y luego de que las empresas americanas descubrieran los beneficios económicos que representaba la incorporación de prácticas responsables con el medio ambiente. En años siguientes, la Logística Inversa se fortalece debido a la presión ejercida por la escasez y encarecimiento de algunas materias primas, hasta convertirse en parte fundamental de la estrategia de las organizaciones, especialmente de las grandes multinacionales. En los últimos años, se muestra como solución al incremento de la producción y a la creciente preocupación por la conservación del medio ambiente.

Council Logistic Management en 1992 publica la primera definición conocida de logística inversa: "...El término comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos; una perspectiva más amplia incluye todo lo relacionado con las actividades

logísticas llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución y rehúso de materiales y su disposición final” (López, 2013).

En el transcurso de los años, a partir de las experiencias adquiridas, varios autores han abordado el concepto, tales como Rogers y Tibben-Lembke (2011); Dekker *et al.* (2004); Lacoba (2003), introduciendo el término de ”productos fuera de uso” para aquellos materiales que cumplen su función de diseño y, al final de su vida útil, son destinados a desecho; Parada (2010), Nieto (2012), Batista (2016), entre otros se han sustentado en esta definición de LI para desarrollar sus investigaciones.

La Tabla 2.1 resume algunos de los conceptos revisados y sus principales aportes.

TABLA 2.1: Definiciones de Logística Inversa.

| Autor | Concepto de Logística Inversa | Aporte |
|-------------------------------|---|---|
| Rogers y Tibben-Lembke (1999) | Proceso de mover productos desde su destino final con el propósito de recapturar valor o disponer adecuadamente de ellos. | Definen la logística inversa en términos de rentabilidad y sostenibilidad, diferenciándola de la logística tradicional. |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| Lacoba (2003) | Las referencias al concepto de Logística Inversa se realizan tanto desde el punto de vista de las devoluciones como desde la perspectiva de la recuperación de productos y, generalmente, de una manera excluyente...podemos hablar de una logística de devoluciones (<i>return logistics</i>) y de una logística para la recuperación (<i>recovery logistics</i>) como dos realidades que coexisten en el concepto de Logística Inversa. | Separa la devolución y la recuperación en dos corrientes interdependientes de la LI. |
| Castro y Auxiliadora-Amador (2003) | Es el papel de la logística en el retorno de productos, el reciclado, la sustitución y/o reutilización de materiales, así como en la restauración, recuperación y reprocesamiento. | Incorpora los métodos de aplicación al concepto. |
| Rogers y Tibben-Lembke (2011) | Es el proceso de planificar, implementar y controlar eficientemente el flujo de materias primas, inventario en curso, productos terminados y la información relacionada con ellos, desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el propósito de recapturarlos, crearles valor, o desecharlos. | Plantea la necesidad de un proceso de planificación y control para la gestión de la logística inversa en cada punto de la cadena de suministro. |

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| Srivastava (2007) | Relaciona la logística inversa con la gestión de la cadena de suministro verde, enfocándose en minimizar el impacto ambiental. | Conecta la logística inversa con la sostenibilidad y la responsabilidad corporativa. |
| Govindan <i>et al.</i> (2015) | Parte de un sistema de cadena de suministro de circuito cerrado, donde los productos y materiales vuelven a la cadena productiva mediante reciclaje, reparación o reutilización. Integra la logística inversa dentro de modelos de negocio circulares y sostenibles. | Integra la logística inversa dentro de modelos de negocio circulares y sostenibles. |
| Nanayakkara <i>et al.</i> (2022) | Es la fuerza impulsora detrás del flujo circular de materiales, ya que promueve el retorno de productos a la cadena de suministro para agregar valor. | Identifica como valor agregado el retorno de materiales a la cadena de suministro. |
| Galiana (2024) | Se trata de la gestión de las devoluciones por parte del cliente hasta llegar al proveedor o distribuidor. | Mencionan los <i>stakeholders</i> finales dentro del proceso logístico inverso. |
| | | |

A modo de resumen, Dekker *et al.* (2004) plantea que la definición de Logística Inversa ha ido cambiando con el tiempo, comenzando con una sensación de "dirección equivocada", pasando por un énfasis excesivo en el medio ambiente; volviendo a los pilares originales del concepto, y viniendo finalmente a una ampliación de su alcance. Además, la lectura de los autores Bensalem y Kin (2019) quienes dedican su investigación a explorar la Logística Inversa en el trabajo intelectual de las tres últi-

mas décadas, evidencia la evolución de esta nueva forma de hacer, hasta convertirse en un campo específico con investigadores y referencias consolidadas.

Una vez definidos los conceptos de logística verde y logística inversa, podemos ilustrar su relación mediante la Figura 2.3. En esta se resumen los principales aspectos en los que incide cada tendencia y aquellos que son comunes para ambas. Dicha figura, se muestra de la manera siguiente:

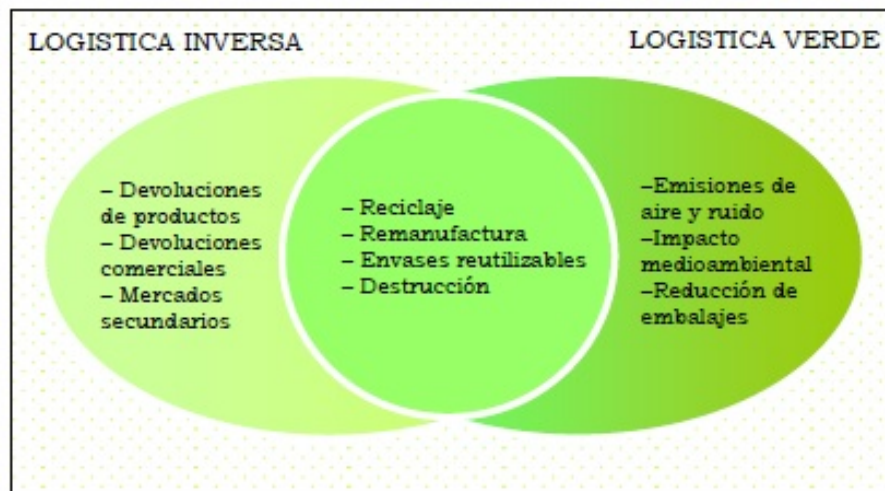


FIGURA 2.3: Logística verde y logística inversa. Fuente (Rogers y Tibben-Lembke, 1999).

Según los conceptos aportados por los autores y teniendo en cuenta el diagrama de la cadena logística de la Figura 2.4, la incorporación de las operaciones de logística inversa se integra a la secuencia tradicional de la siguiente manera:

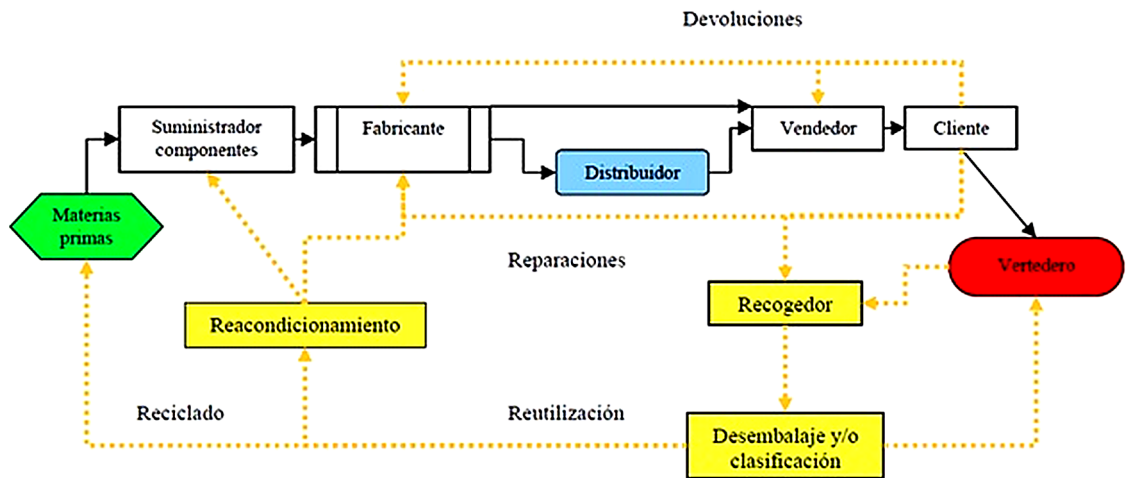


FIGURA 2.4: Integración de la logística directa e inversa.

La Tabla 2.2 resume la comparación entre la Logística Directa o Convencional y la Logística Inversa, evaluando aspectos de interés que son contrapuestos, según las características de cada una.

TABLA 2.2: Diferencias entre la logística directa y la logística inversa.

| Logística directa | Logística inversa |
|---|--|
| Estimación de la demanda relativamente cierta | Estimación de la demanda más compleja |
| Transporte de uno a muchos, generalmente | Transporte de muchos a uno, generalmente |
| Calidad del producto uniforme | Calidad del producto no uniforme |
| Envase uniforme del producto | Envase a menudo dañado o inexistente |
| Precio relativamente uniforme | Precio en función de muchos factores |
| Reconocida importancia a la rapidez de entrega | Poca importancia, en general, de la rapidez de entrega |
| Costos definidos y monitorizados por sistemas de contabilidad | Costos menos visibles y rara vez contabilizados |
| Gestión de inventario relativamente sencilla | Gestión de inventario muy compleja |
| Ciclo de vida del producto gestionable | Ciclo de vida del producto más complejo |
| Métodos de marketing bien conocidos | Marketing complejo por varios factores |

Las alternativas de tratamiento para productos, envases y embalajes pueden consultarse en la Tabla 2.3:

TABLA 2.3: Alternativas de tratamiento.

| Para los productos | Para los envases y embalajes |
|-------------------------|------------------------------|
| Devolución al proveedor | Reutilización |
| Reventa | Restauración |
| Reacondicionamiento | Reciclaje |
| Restauración | |
| Reprocesamiento | |
| Reciclaje | |
| Vertedero | |
| Canibalización | |

Los autores Torres Argüelles *et al.* (2019) identifican cuatro dimensiones de la sustentabilidad: ecológica, económica, social y tecnológica, las cuales relacionan los principales indicadores que permiten su medición. La LI se encuentra integrada en la dimensión ecológica. Los indicadores que certifican sus resultados se referencian en la norma ISO 14001:2015 "Sistema de Gestión Ambiental" los paramétricos de Industria Limpia. La siguiente Tabla 2.4 resume los indicadores antes mencionados:

TABLA 2.4: Indicadores.

| ORDEN | INDICADOR | AUTORES |
|---|---|--|
| CULTURA Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL | | |
| ECONÓMICO | Necesidad / urgencia de trabajo Costo económico / beneficio económico Costo del ciclo de vida Funcionalidad y flexibilidad | (Ahi & Searcy, 2015), (Singh Sangwan, 2017), (Govindan et al., 2016), (Kucukaltan, Irani, & Aktas, 2016), (Zaman & Shamsuddin, 2017), (Singh Sangwan, 2017). |
| SOCIAL | Seguridad y salud Participación pública Contaminación acústica Impacto visual Uso de materiales regionales | (Ahi & Searcy, 2015), (Singh Sangwan, 2017), (Govindan et al., 2016), (Kucukaltan et al., 2016). |
| GESTIÓN DE INICIATIVAS VERDES | | |
| MEDIO AMBIENTE | | |
| TRANSPORTE | Emisiones de carbono (CO2) Gases de efecto invernadero (GEI) Combustible alternativo Capacidad de carga | (Evangelista, Colicchia, & Creazza, 2017), (Mariano, Gobbo, Camoto, & Rebelatto, 2017), (Sureeyatanapas, Poophukhok, & Pathumrakul, 2018), (He, Chen, Liu, & Guo, 2017). |
| ENERGÍA | Consumo de energía Residuos de energía Energía renovable Ahorro energético | (Brunke & Blas, 2014), (Noppers, Keizer, Bolderdijk, & Steg, 2014), (Singh Sangwan, 2017). |
| HUELLA ECOLÓGICA | Huella ecológica Huella de carbono | (Tseng, Chiu, Tan, & Siriban-Manalang, 2013), (Govindan et al., 2016). |
| AGUA | Consumo de agua Estrategias que ayuden a reducir el consumo de agua | (Bedesworth & Hanak, 2013), (Singh Sangwan, 2017), (Evans, 2014), (Kastner, Lau, & Kraft, 2015). |
| DESECHOS | Desechos tóxicos Separación / gestión de residuos | (Prieto, 2016), (Tashkiri, Behera, Tan, & Park, 2014). |
| RECICLAJE | Reciclaje de materiales y embalaje Recolección de materiales al final de su vida útil | (Masoumik, Alodul-Rashid, Olugu, & Raja Ghazilla, 2014), (Ohnishi et al., 2016). |
| INFRAESTRUCTURA | Uso de los recursos renovables Infraestructura verde | (Jedliński, 2014), (Puentes, Arozamena, & Evans, 2015). |
| EVALUACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA | | |
| CERTIFICACIONES | ISO 14000 Industria limpia | ("ISO 14000," 2015), (Ortega Rivasvelasco et al., 2015), (Instituto de Investigación Humana de Monterrey, 2016). |

Basado en este estudio, utilizaremos los indicadores de sustentabilidad enfocados en manejo de desechos, reciclaje y el cumplimiento de la ISO 14001:2015 como indicadores que evalúan la eficacia de la logística inversa. Además, se analizan los indicadores estratégicos de la organización controlando el impacto luego de las acciones de mejora implementadas.

La investigación contenida en el artículo de ESAN (2021) en donde se tuvo en cuenta los comportamientos actuales del consumo de bienes de mercado y su predicción futura, indica que los desechos a nivel mundial en el 2050 crecerán 70 % en comparación a las cifras actuales. Mientras que, en el caso de los términos generacionales conocidos popularmente como Generación X, millennials y Z (cohortes demográficos nacidos entre los años 1963 y 2001), el 55 %, 61 % y 58 % de ellos respectivamente, están dispuestos a incrementar sus gastos para adquirir productos sostenibles y ecoamigables.

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS

El preámbulo para poder determinar el destino final de esos recursos clasificados como desechos, parte de la correcta identificación y clasificación de los mismos.

En la revisión de la Norma ISO 14001, se observa que no clasifica residuos directamente, pero exige que las empresas gestionen correctamente sus desechos. En el contexto local, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) UNIÓN (2021) , publicada en 2003 y actualizada posteriormente, es la ley marco que regula la prevención, manejo y gestión integral de los residuos en México. Una de sus funciones principales es clasificar los residuos para establecer responsabilidades, normas de manejo y tratamiento adecuado. Esta ley clasifica los residuos en tres grandes categorías:

1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU): También conocidos como residuos municipales o domiciliarios; generados en hogares, oficinas, comercios, escuelas, mercados, etc.
2. Residuos de Manejo Especial: No son peligrosos, pero requieren manejo diferenciado por su volumen, composición o condiciones de manejo; generados en procesos industriales, comerciales, de servicios, de construcción o transporte.
3. Residuos Peligrosos: Poseen una o más características peligrosas: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o biológicoinfecciosidad; su mal manejo representa riesgo para la salud y el ambiente.

Varios autores centran su investigación en el tratamiento, enfocados principalmente en residuos químicos y/o biológicos, debido a la alta carga de contaminación que portan y el nocivo impacto que generarían al medio ambiente si se destinan al destino final incorrecto; sin embargo, su análisis brinda pautas que serán utilizadas en el desarrollo de este proyecto. A continuación, en la Tabla 2.5 se resumen las clasificaciones brindadas por varios autores que abordan el tema:

TABLA 2.5: Tipos de residuos y métodos de tratamiento.

| Referencia | Origen | Características físico-químicas | Peligrosidad | Tratamiento |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Aziz <i>et al.</i> (2023) | MSW lixiviados | Q: COD, pH, compuestos orgánicos | Implícita por contaminantes | Adsorción, ozonización, etc. |
| Meng <i>et al.</i> (2014) | Plásticos, papel, orgánicos | C, H, O, cenizas, calorífico, cloro | Cloro, PVC → corrosivos/tóxicos | Térmico, pirolisis |
| Walsh <i>et al.</i> (2010) | Residuos peligrosos | Compuestos clorados, metales | Alta: formación de PCDD/Fs | Incineración con control emisiones |
| Varshney <i>et al.</i> (2021) | Domésticos, industriales, sanitarios | Características peligrosas definidas | Toxicidad, reactividad, corrosividad | Físico, químico, biológico, incineración |
| Wang <i>et al.</i> (2024) | Metalúrgico industrial | Metales pesados, pH, composición | Alta: metales y residuos cáusticos | Pyrometalurgia, reciclado |

2.2 TEORÍAS Y MODELOS FUNDAMENTALES

La logística inversa se ha sustentado en teorías y modelos que han contribuido a enriquecer la investigación desarrollada por varios intelectuales sobre temas de logística y cadena de suministro. Uno de los términos más abordados se refiere a Cadenas de Suministro Cerradas (*Closed-Loop Supply Chains*, CLSC). Se resume como sistemas integrados que gestionan el flujo de productos, información y recursos en ambas direcciones: desde los proveedores hasta los clientes (logística directa) y desde los clientes de vuelta a los proveedores o fabricantes (logística inversa). Las cadenas de suministro cerradas buscan recuperar valor a través de la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje de productos y materiales. Las CLSC promue-

ven prácticas sostenibles al reducir la cantidad de residuos generados y al minimizar la necesidad de materias primas nuevas (Sarkis, 2003).

Nanayakkara *et al.* (2022) enuncia en su investigación este modelo de ciclo cerrado en el que los productos, al final de su vida útil, son recuperados y reciclados para su uso en la producción de nuevos productos. El modelo de ciclo abierto implica la eliminación o disposición final de los productos y el modelo híbrido, es la combinación de elementos del ciclo cerrado y el ciclo abierto. La elección del modelo adecuado dependerá del tipo de producto, las regulaciones gubernamentales y las expectativas del consumidor. La implementación exitosa de cualquier modelo requiere una planificación cuidadosa y una gestión efectiva de la cadena de suministro.

La Teoría de los Recursos y Capacidades (*Resource-Based View*, RBV), según Guide y Wassenhove (2009), se centra en cómo las empresas pueden obtener y mantener una ventaja competitiva sostenible a través de la posesión y explotación efectiva de capacidades y recursos valiosos, raros, inimitables y no sustituibles. La capacidad de gestionar eficientemente la devolución y recuperación de productos se puede convertir en un recurso valioso.

El know-how especializado en la logística inversa, las relaciones sólidas con proveedores de servicios de reciclaje y recuperación, y el acceso a tecnología avanzada para el procesamiento de productos devueltos, son ejemplos de recursos raros. Una red bien establecida y eficiente de logística inversa, que permita recuperar productos y materiales de alta calidad y reintroducirlos en la cadena de suministro, puede ser difícil de sustituir e imitar por la competencia. Las empresas que dominan la logística inversa pueden diferenciarse de sus competidores y construir una ventaja competitiva sostenible (Barney, 1991).

La Teoría de la Sostenibilidad y la logística inversa están estrechamente relacionadas ya que ambas buscan minimizar el impacto ambiental y promover prácticas empresariales sostenibles. La Teoría de la Sostenibilidad se centra en el equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental.

Al recuperar productos y materiales para su reutilización, reciclaje o remanufactura, la logística inversa puede generar ahorros económicos y nuevas oportunidades de ingresos. Esto apoya la sostenibilidad económica, ya que promueve la rentabilidad y la eficiencia a largo plazo. Dichas conductas no solo mejoran su reputación y relaciones con los stakeholders, sino que también contribuyen a la sostenibilidad social y ambiental.

La aplicación de la logística inversa constituye un paso clave para implementar la Teoría de la Sostenibilidad en la práctica empresarial, ya que facilita la gestión responsable de los recursos y residuos, contribuye a la rentabilidad económica y promueve el bienestar social (Govindan *et al.*, 2015).

2.2.1 MODELOS DE APLICACIÓN

Los autores Batista (2016), Betancur *et al.* (2019) y Sarmiento (2022) proponen diferentes metodologías para la aplicación de la logística inversa, cada uno de ellos en diferentes sectores de la industria. Además, se analiza la propuesta de los autores Ordaz *et al.* (2014), quienes proponen la utilización de la herramienta MRLI, como lista de chequeo digital para el diagnóstico organizacional enfocada en la logística inversa. Nanayakkara *et al.* (2022) propone la aplicación de un modelo estructurado en tres etapas, el cual se concentra en la aplicación de la logística inversa para el tratamiento de las devoluciones derivadas del comercio electrónico.

Introduciendo las nuevas tecnologías, Rajput y Singh (2019) se enfoca en describir un modelo de industria 4.0 para una economía circular integrada con logística inversa que se compone de varios elementos clave, como el diseño de productos para la circularidad, la implementación de tecnologías avanzadas como la inteligencia de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) para permitir la trazabilidad y el monitoreo en tiempo real de los materiales y productos, y la colaboración entre diferentes actores a través de plataformas digitales. Este modelo tiene como objetivo mejorar

significativamente los procesos relacionados con la logística inversa en el contexto de una economía circular sostenible, lo que puede conducir a una reducción significativa en los residuos generados, a una mejora en la eficiencia operativa y a una mayor satisfacción del cliente. En resumen, este modelo propuesto se basa en una combinación de diseño para la circularidad, tecnologías avanzadas como IoT e IA y colaboración digital para mejorar significativamente los procesos relacionados con la logística inversa en el contexto de una economía circular sostenible.

Actualmente, existen varios modelos de aplicación de la logística inversa, los cuales son utilizados para la gestión efectiva del flujo material en la cadena de suministro de las organizaciones. Autores como Toktay *et al.* (2004), Atasu *et al.* (2008) y Krikke (2011) exploran las siguientes estrategias:

- Modelo de Devoluciones Directas al Vendedor (D2R): En este modelo, los clientes devuelven los productos directamente al vendedor o fabricante. Este enfoque permite una mayor visibilidad y control sobre el proceso de devolución, lo que facilita la gestión eficiente de los productos devueltos.
- Modelo de Devoluciones a Centros de Distribución (D2DC): En este modelo, los clientes devuelven los productos a los centros de distribución de la empresa en lugar de hacerlo directamente al vendedor. Los centros de distribución se encargan de recibir, inspeccionar y gestionar las devoluciones antes de reintegrar los productos al inventario o enviarlos a otras ubicaciones para su procesamiento.
- Modelo de Recolección en el Punto de Venta (RtV): En este modelo, los productos devueltos son recolectados por la empresa en el punto de venta, como tiendas minoristas o puntos de servicio. Esto puede simplificar el proceso para los clientes y garantizar una rápida recuperación de los productos devueltos.
- Modelo de Intercambio (Swap): En este modelo, los clientes intercambian productos usados por productos nuevos o reacondicionados. Este enfoque fomenta

la devolución de productos al mismo tiempo que genera ventas adicionales para la empresa.

- Modelo de Recolección Domiciliaria (Pick-up): En este modelo, la empresa recoge los productos devueltos directamente en el domicilio del cliente. Esto puede ser conveniente para los clientes y ayudar a aumentar las tasas de devolución al eliminar las barreras logísticas.
- Modelo de Recuperación de Productos a través de Acuerdos con Terceros (3PL): En este modelo, la empresa subcontrata a terceros proveedores de servicios logísticos (3PL) para gestionar la recuperación y procesamiento de productos devueltos. Esto puede ser útil para empresas que no tienen la capacidad o los recursos internos para gestionar la logística inversa por sí mismas.
- Modelo de Recompra (Buy-back): En este modelo, la empresa compra productos usados a los clientes a cambio de descuentos en productos nuevos o créditos en la tienda. Esto puede incentivar a los clientes a devolver productos usados y generar ingresos adicionales para la empresa a través de la reventa de productos reacondicionados.

Según las características de cada empresa, se determinan cuál o cuáles son los modelos que favorecen su integración en los procesos logísticos, en función de sus necesidades operativas, estratégicas y de mercado. Además, parte de su implementación, requiere una planificación cuidadosa, colaboración con socios de la cadena de suministro y disposición de medios tecnológicos para su aplicación.

2.3 APLICACIONES DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Supplier (2023) en su análisis "Logística inversa: factores y estadísticas para 2023", se enfoca en el impacto que genera el comercio electrónico y los principales retos a los que se enfrenta la logística inversa para adecuarse a las tendencias actuales.

Refiere que según una encuesta en Estados Unidos de la Federación Nacional de Minoristas (NRF) y la firma de análisis de datos Appriss Retail, para el 2022 se esperaba que la tasa de devoluciones de toda la mercancía minorista se mantuviera en 16.5 %, la realidad es que al cierre del año representó un 16.6 %, evidenciando el incremento de este comportamiento en los consumidores. Según Baufest (2023), las siete tendencias para el 2023 en torno a la logística inversa, hacen foco en los tres ejes que las empresas buscarán maximizar: negocios, usuarios y tecnologías:

1. Integración de la logística inversa en el flujo general de logística.
2. Cambio de foco hacia la rentabilidad de la logística inversa
3. Recommerce
4. Mayor visibilidad de cara al consumidor
5. Automatización de procesos
6. Aplicación de inteligencia artificial, data analytics y machine learning
7. ¿Fin de la gratuidad de las devoluciones?

A partir de los temas analizados, se resume lo siguiente como fundamento para la implementación de un modelo de logística inversa.

- Establecer reciprocidad económica: esto se expresa en la reducción de costos, disminución del uso de materiales o recuperación del producto/insumo no conforme.
- Beneficios legislativos: Se busca cumplir con la normatividad vigente y la exención de impuestos.
- Compromiso ambiental: se quiere disminuir el impacto ambiental y mejorar la imagen externa. (Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles) (ONU, 2016)

- Optimización de procesos: esto implica mejorar la gestión de devoluciones por garantía y a su vez reducir los tiempos de respuesta al cliente.

Algunas empresas han implementado la logística inversa de manera exitosa, aplicando métodos innovadores y obteniendo resultados significativos. A continuación, se presentan algunos ejemplos destacados según la plataforma educativa AprendeLogística.com (2023):

1. H&M: ha establecido puntos de recolección en todas sus tiendas para recibir ropa usada. Estos artículos se reciclan para crear nuevas líneas de ropa. Este programa no solo reduce los residuos textiles, sino que también disminuye los costos de producción al reutilizar materiales existentes.
2. Apple: ofrece un programa de intercambio en el que los clientes pueden devolver sus dispositivos antiguos a cambio de un descuento en nuevos productos. Los dispositivos devueltos se desarmen, y sus materiales se reciclan para fabricar nuevos productos. Este programa ayuda a reducir el desperdicio electrónico y recupera materiales valiosos para su reutilización.
3. UPS: permite a los clientes reutilizar cajas viejas para devolver productos. Este enfoque no solo facilita el proceso de devolución para los clientes, sino que también promueve la sostenibilidad al reducir la necesidad de nuevos materiales de embalaje.
4. Walmart: ha implementado un sistema de logística inversa eficiente para manejar los productos devueltos y el exceso de inventario. La compañía revende estos productos a través de canales secundarios o los dona a organizaciones benéficas, minimizando así el desperdicio y optimizando el uso de recursos.

Estos ejemplos citados de diversas fuentes muestran cómo la logística inversa puede ser utilizada de manera efectiva para mejorar la sostenibilidad, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente. Cada una de estas empresas ha desarrollado

estrategias específicas que aprovechan al máximo los beneficios de la logística inversa, demostrando su importancia en la gestión moderna de la cadena de suministro.

El autor Wlamyr *et al.* (2022), aborda en su trabajo experiencias de logística inversa en diferentes países, teniendo mayor foco en los países latinoamericanos. En Brasil, se destaca la implementación de un sistema de recolección y reciclaje de baterías de plomo-ácido, que ha permitido reducir significativamente la cantidad de residuos peligrosos en vertederos y mejorar la calidad del aire y el agua. En Colombia, se ha implementado un sistema de recolección y reciclaje de residuos electrónicos que involucra a empresas, gobiernos y consumidores, favoreciendo la reducción de los impactos ambientales negativos asociados con estos materiales. En otros países como España, México y Estados Unidos también se han implementado programas exitosos de logística inversa para diferentes tipos de materiales como envases, neumáticos y productos farmacéuticos. Estos programas han permitido reducir los costos asociados con la eliminación de residuos, mejorar la imagen corporativa y cumplir con las regulaciones gubernamentales. En general, se destaca la importancia de una colaboración efectiva entre empresas, gobiernos y consumidores para garantizar una gestión adecuada y sostenible de los residuos a través de la logística inversa.

2.4 BENEFICIOS Y DESAFÍOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa ofrece numerosos beneficios económicos, ambientales y sociales; también presenta varios desafíos que las empresas deben gestionar cuidadosamente para implementar un sistema eficaz y eficiente. El autor (Grabara *et al.*, 2014) expone los siguientes elementos a considerar:

2.4.1 BENEFICIOS

1. Sostenibilidad Ambiental:

- Reducción de Residuos: Al reciclar, reutilizar y remanufacturar productos, las empresas pueden reducir significativamente la cantidad de residuos que terminan en los vertederos, contribuyendo así a la conservación del medio ambiente.
- Conservación de Recursos Naturales: La reutilización de materiales y productos ayuda a conservar los recursos naturales al reducir la necesidad de materias primas nuevas.
- Protección de Activos: Las empresas de alta tecnología incentivan a sus clientes a devolver sus productos, por temor a que el conocimiento tecnológico pueda pasar a manos de la competencia y para evitar competir con los mercados secundarios, que pueden utilizarse para comprar sus productos.

2. Beneficios Económicos:

- Recuperación de Valor: Los productos devueltos pueden ser reciclados o remanufacturados para recuperar materiales valiosos, lo que puede reducir los costos de producción y generar ingresos adicionales.
- Reducción de Costos Operativos: Implementar programas de logística inversa puede llevar a una gestión más eficiente de los inventarios y reducir los costos asociados con la eliminación de residuos.

3. Mejora de la Imagen Corporativa:

- Responsabilidad Social y Ambiental: Las empresas que implementan prácticas de logística inversa a menudo son percibidas como más responsables social y ambientalmente, lo que puede mejorar su reputación y fortalecer la lealtad del cliente.

- Cumplimiento Regulatorio: Muchas regiones tienen regulaciones estrictas sobre la gestión de residuos y reciclaje. La logística inversa ayuda a las empresas a cumplir con estas normativas.

4. Mejora de la Satisfacción del Cliente:

- Políticas de Devolución Eficientes: Un sistema de logística inversa bien implementado permite a las empresas manejar devoluciones de manera eficiente, mejorando la experiencia del cliente y su satisfacción general.
- Servicios de Garantía y Reparación: Facilita la gestión de servicios post-venta como reparaciones y reemplazos, lo que puede aumentar la lealtad del cliente.

2.4.2 DESAFÍOS

En contraposición a sus ventajas, la aplicación de la LI también asocia desafíos que exigen a las empresas la inversión de recursos y capacidades, para lograr su superación y avanzar en el alcance de la sostenibilidad. Los autores Rubio y Jiménez-Parra (2014) exponen algunos de ellos:

1. Complejidad Operativa:

- Gestión de Flujos de Trabajo Inversos: Integrar y gestionar los flujos de trabajo inversos junto con las operaciones de logística tradicionales puede ser complicado y requiere una planificación cuidadosa.
- Coordinación con Múltiples Partes: La logística inversa a menudo implica la coordinación con múltiples partes interesadas, incluyendo proveedores, minoristas y servicios de transporte, lo que puede aumentar la complejidad operativa.

2. Costos Iniciales:

- **Inversión en Infraestructura:** Implementar sistemas de logística inversa requiere una inversión inicial significativa en infraestructura, tecnología y capacitación del personal.
- **Costos de Transporte y Almacenamiento:** El transporte y almacenamiento de productos devueltos pueden ser costosos, especialmente si los productos deben ser transportados a largas distancias o almacenados durante períodos prolongados.

3. Gestión de Datos y Rastreo:

- **Seguimiento de Productos Devueltos:** Mantener un seguimiento preciso de los productos devueltos y su estado puede ser un desafío, especialmente si los sistemas de información no están bien integrados.
- **Análisis de Datos:** Las empresas necesitan analizar grandes volúmenes de datos para entender las razones de las devoluciones y mejorar continuamente sus procesos, lo cual puede ser complejo y demandar recursos.

4. Problemas de Calidad y Condición del Producto:

- **Variabilidad en las Condiciones de los Productos:** Los productos devueltos pueden variar ampliamente en cuanto a su condición, lo que puede complicar el proceso de evaluación y decisión sobre su destino final.
- **Desafíos en la Remanufactura:** La remanufactura de productos devueltos requiere procesos específicos y control de calidad, lo que puede aumentar la complejidad y los costos.

2.5 PROPUESTAS DE MEJORA Y TENDENCIAS FUTURAS DE LA LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa está evolucionando rápidamente, y hay varias propuestas de mejora y tendencias futuras que están moldeando su desarrollo. Aquí se presentan

algunas de las más relevantes:

2.5.1 PROPUESTAS DE MEJORA

1. Automatización y Tecnología de Información:

- Implementación de Sistemas de Gestión Avanzada: Utilizar software de gestión de devoluciones y sistemas de rastreo para mejorar la eficiencia y precisión en el manejo de productos devueltos
- Uso de Inteligencia Artificial (IA): Implementar IA para predecir devoluciones, optimizar rutas de recolección y procesamiento, y mejorar la toma de decisiones sobre el destino de los productos devueltos.

2. Mejora en la Infraestructura Logística:

- Centros de Procesamiento Especializados: Establecer centros de procesamiento dedicados exclusivamente a manejar productos devueltos, lo que puede mejorar la eficiencia y reducir costos.
- Optimización del Transporte: Implementar prácticas de transporte más eficientes, como la consolidación de envíos y el uso de vehículos ecológicos, para reducir costos y el impacto ambiental.

3. Colaboración y Alianzas Estratégicas:

- Colaboración con terceros: Trabajar con proveedores logísticos de terceros (3PL) especializados en logística inversa para mejorar la eficiencia y aprovechar su experiencia y recursos.
- Alianzas con otros sectores: Establecer alianzas con empresas de reciclaje, remanufactura y organizaciones benéficas para optimizar el destino final de los productos devueltos (Wardani *et al.*, 2022).

2.5.2 TENDENCIAS FUTURAS

1. Economía Circular:

- Enfoque en Ciclos de Vida Cerrados: Las empresas están adoptando modelos de economía circular que buscan mantener los productos y materiales en uso el mayor tiempo posible a través de la reutilización, reparación, y reciclaje.
- Diseño para la Sostenibilidad: Incorporar principios de diseño sostenible para facilitar el reciclaje y la remanufactura de productos, lo que puede reducir la cantidad de residuos y mejorar la eficiencia de la logística inversa.

2. Tecnología Blockchain:

- Transparencia y Trazabilidad: Utilizar blockchain para mejorar la transparencia y trazabilidad en la cadena de suministro inversa, lo que puede ayudar a gestionar mejor las devoluciones y garantizar la autenticidad y estado de los productos.
- Mejora en la Gestión de Datos: Blockchain puede facilitar una gestión de datos más segura y eficiente, lo que mejora la coordinación y reduce errores en el proceso de logística inversa (Wardani *et al.*, 2022).

3. Sostenibilidad y Responsabilidad Social:

- Aumento de la Regulación Ambiental: Las regulaciones ambientales más estrictas están impulsando a las empresas a adoptar prácticas de logística inversa más sostenibles para cumplir con las normativas y reducir su huella ecológica.
- Expectativas del Consumidor: Los consumidores están cada vez más interesados en la sostenibilidad y prefieren marcas que adopten prácticas responsables. Esto está incentivando a las empresas a mejorar sus programas de logística inversa.

4. Economía de Servicios: Social:

- Modelos de Negocio Basados en Servicios: El cambio hacia modelos de negocio basados en servicios, como el alquiler y la suscripción, está transformando la logística inversa al requerir procesos eficientes para la devolución y mantenimiento de productos (Sheykin, 2025).

El autor Rodríguez (2023) en su publicación para la revista Marketing4Ecommerce nos muestra las herramientas top para la gestión de la logística inversa en México. Estas son Akzent, Dawa, EGL, Geodis y Kensa Logistics.

2.5.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO DE LA LOGÍSTICA INVERSA

La presente investigación adopta como base metodológica el procedimiento propuesto por Batista (2016) para el diseño de la logística inversa (LI), por su alto nivel de sistematicidad, aplicabilidad operativa y alineación con los requerimientos de organizaciones que gestionan sus propios residuos en entornos industriales y constructivos.

El procedimiento integra enfoques metodológicos reconocidos, tales como el sistémico-estructural, histórico-lógico y análisis-síntesis, que permiten abordar de forma integral los componentes del sistema logístico inverso, considerando sus relaciones funcionales y la dinámica de los flujos físicos, informativos y financieros. Esta visión sistémica resulta particularmente adecuada para empresas del sector de suministros industriales y de construcción, donde coexisten múltiples fuentes generadoras de residuos y procesos con distintos grados de trazabilidad.

El modelo metodológico seleccionado destaca por:

1. **Orientación a empresas con gestión interna de residuos:** A diferencia

de otros procedimientos diseñados para entidades especializadas en reciclaje o comercialización de subproductos, este enfoque está orientado a empresas que operan ciclos productivos completos y deben integrar la logística inversa en su estructura operativa, como es el caso de las organizaciones del sector estudiado.

2. **Incorporación de una taxonomía avanzada de residuos:** El procedimiento contempla una clasificación multivariable de residuos basada en criterios morfológicos, físico-químicos, de peligrosidad, origen temático y viabilidad de tratamiento. Esta desagregación permite establecer estrategias diferenciadas para el manejo de materiales, condición necesaria para sistemas que manejan productos ferrosos, plásticos técnicos, residuos de embalaje, piezas obsoletas o contaminantes.
3. **Diseño modular y formalización de subprocesos:** Se propone una estructuración clara y jerarquizada de los subprocesos logísticos inversos —recolección, concentración, clasificación, almacenamiento, tratamiento y transportación—, representados mediante flujogramas operativos y validados a través de Redes de Petri. Esta definición operativa brinda un marco claro para la estandarización y mejora continua de las actividades logísticas, minimizando fallos y optimizando recursos.
4. **Incorporación del Cuadro de Mando Integral (CMI):** La propuesta considera la creación de un CMI específico para la logística inversa, contemplando dimensiones como cliente, procesos internos, formación y aprendizaje, medio ambiente y finanzas. Esta herramienta permite un control sistemático del desempeño, orientado tanto a la sostenibilidad como a la eficiencia económica.
5. **Adaptabilidad a Diversos Contextos Productivos:** Aunque desarrollado inicialmente para la industria tabacalera, el procedimiento se basa en principios universales de gestión de residuos y cadena de suministros inversa, lo que lo hace adaptable a otros sectores, como el industrial y de la construcción,

caracterizados por su generación de materiales reutilizables, obsoletos o con potencial de reincorporación.

En conjunto, estos elementos hacen del procedimiento propuesto por Batista (2016) una herramienta pertinente para la estructuración del diseño de logística inversa en empresas de suministros industriales y de construcción. Su implementación permitirá no solo mejorar la eficiencia operativa y el cumplimiento regulatorio, sino también fomentar la responsabilidad ambiental, abrir nuevas oportunidades de recuperación de valor e integrar la gestión residual como un subsistema funcional dentro de la cadena de suministro.

2.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Al analizar las principales referencias sobre Logística Inversa, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. Se revisó la literatura para analizar los principales modelos y teorías relacionadas con la logística inversa.
2. Se determinó el modelo propuesto por Batista (2016) como la metodología de aplicación de la logística inversa en la empresa objetivo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

Para analizar los problemas relacionados con el impacto de la logística en las empresas, se realiza una revisión de literatura para identificar, comparar, seleccionar y analizar las pautas y métodos propuestos por los autores en el tema de aplicabilidad de la Logística Inversa a los procesos de la organización. Con base a esta revisión, se realiza una propuesta de aplicación de la Logística Inversa y el uso de indicadores sustentables en los procesos, para un manejo eficiente de los desechos, impacto económico y la contribución al desarrollo sostenible de la organización. La metodología de aplicación de la logística inversa, se sustenta en la propuesta de la autora Batista (2016). El procedimiento tiene como referentes: el modelo para el diseño de sistemas de reciclajes de residuos de envases en zonas turísticas de Rodríguez (1997) y la metodología de diseño de la Cadena de Suministros Inversa realizada por Lanier (2008).

3.1.1 FASE I. PREPARACIÓN DE LAS CONDICIONES PARA EL ESTUDIO

Objetivo: determinar las bases y elementos de entrada para realizar el diseño de la LI.

Paso 1. Caracterización de la organización

En este paso se ejecuta un diagnóstico organizacional enfocado a la caracterización de la gestión de residuos que se realiza en la empresa.

Paso 2: Recopilación de datos base

La recopilación de datos base está dirigida hacia las fuentes de emisión de residuos, así como elementos que se deben conocer en la empresa para llevar a cabo el proceso de LI. Los aspectos a tener en cuenta para este paso son:

- Identificación por tipo material de los residuos.
- Volúmenes de emisión de los residuos.
- Medios de transporte.
- Frecuencia de recogida.
- Mercados y demanda actual de los productos reciclables.
- Recursos para la realización de los subprocesos.

Técnicas a utilizar: revisión documental, tormenta de ideas y observación directa.

3.1.2 FASE II. DIAGNÓSTICO DE LA LOGÍSTICA INVERSA

En esta fase se analizan cuáles son los problemas fundamentales que tiene el desempeño de la LI en cuanto a sus funciones y parámetros. El análisis parte de la fuente de generación de los residuos, los cuales constituyen objetos de trabajo que se incorporan para ser transformados dentro del sistema logístico.

Objetivo: analizar el estado actual de la LI, para detectar los puntos críticos.

Paso 3. Identificación y análisis de los elementos que integran la LI actual.

La configuración del proceso de LI se describe a través de flujogramas, donde se hace necesario un análisis crítico de la recolección, concentración, colocación, clasificación, transportación, almacenamiento y tratamiento de los residuos una vez culminado el ciclo completo (Hevia Lanier et al., 2006).

Paso 4. Análisis del nivel de servicio percibido por el cliente de la LI

El nivel de servicio (NS) percibido por el cliente de la LI se determina según Campaña (2005). Para ello se aplica una encuesta, donde se agrupan los datos necesarios para el estudio en cuanto a la percepción que tiene el cliente sobre el tratamiento de residuos que se generan en la organización. Para el análisis se deben seleccionar los clientes de la Logística Inversa de la empresa. Con la información declarada se hace un análisis de los resultados obtenidos y se evalúa la situación actual respecto a la escala de referencia, la cual se ilustra en la figura 3.1 siguiente:

Paso 5. Cálculo de los indicadores para evaluar la LI

La evaluación cuantitativa se desarrolla mediante los siguientes indicadores:

1. Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi).
2. La tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI).
3. Margen de recuperación del valor (MRV).

| Intervalos INS (%) | Categorías cualitativas del Nivel de Servicio al Cliente | | Intervalos INS(D) (puntos) |
|----------------------------|--|--|-------------------------------|
| $(INS_{(d)} > 90)$ | ↑ : Rango del Servicio : ↓ | 1. Nivel de servicio muy alto | $(INS_{(D)} > 4.50)$ |
| $(80 < INS_{(d)} \leq 90)$ | | 2. Nivel de servicio alto | $(4.00 < INS_{(d)} \leq 4.5)$ |
| $(70 < INS_{(d)} \leq 80)$ | | 3. Nivel de servicio medio | $(3.50 < INS_{(d)} \leq 4.0)$ |
| $(50 < INS_{(d)} \leq 70)$ | | 4. Nivel de servicio débil / bajo | $(2.50 < INS_{(d)} \leq 3.5)$ |
| $(INS_{(d)} \leq 50)$ | | 5. Nivel de servicio pobre / muy bajo | $(INS_{(d)} \leq 2.5)$ |

FIGURA 3.1: Evaluación del Nivel de Servicio.

Estos indicadores se analizan cuantitativamente y se identifican los puntos que inciden sobre los resultados no deseados, los cuales se tomarán como brechas con oportunidades de mejora.

Paso 6. Balance dinámico de los parámetros de la LI

En su concepción, este balance contempla:

- Balance de los ciclos: se debe determinar por residuo y por cliente de la LI para determinar el ciclo logístico inverso. Este ciclo se realiza teniendo en cuenta la recogida de los residuos en la empresa y su frecuencia por producto/residuo que adquiere.
- Balance residual: en este balance se deben determinar los residuos en sus diferentes estrategias de destino final.
- Balance ecológico: deben verificarse las emanaciones de sustancias al entorno y al ambiente de trabajo. El propósito es determinar las variaciones que deben hacerse en los parámetros de operación de los subprocesos; los volúmenes de desperdicio y desechos.
- Balance financiero: deben confrontarse los ingresos y ahorros económicos de la

actividad residual a partir de su tratamiento.

Del balance dinámico se extraen los problemas o puntos críticos para garantizar la competitividad en la satisfacción de los niveles de servicio al cliente de la LI.

Herramientas y técnicas: lista de chequeo, flujograma, encuesta y tormenta de ideas.

3.1.3 FASE III. DISEÑO DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Objetivo: diseñar la Logística Inversa a partir de los resultados del diagnóstico realizado.

Paso 7. Clasificación de los residuos

La clasificación de los residuos se debe realizar teniendo en cuenta los siguientes pasos, los cuales fueron abordados en el epígrafe 2.1.1 del capítulo anterior:

1. Clasificación según los criterios del análisis morfológico para los residuos peligrosos y no peligrosos.
2. Clasificación en origen, características físico-químicas, grado de peligrosidad, flujo temático y posible tratamiento.

Paso 8. Determinación de las estrategias para el tratamiento y destino final

En conjunto con el diseño de los subprocesos, es necesario tener en cuenta cuál será la estrategia con los productos que han llegado al final de su vida útil. La clasificación se realiza teniendo en cuenta las estrategias de LI siguientes:

1. Estrategia de reutilización: se mantiene la estructura del envase o producto para su destino a otro fin.
2. Estrategia de reciclaje: se utiliza como material a reinsertar en la operación.

3. Estrategia de reacondicionamiento: consiste en dar un tratamiento al residuo para la mejora de la calidad de este y recuperación del valor inicial.
4. Estrategia de reventa: se comercializa el residuo a terceras empresas.
5. Vertido: al no poder explotar al máximo las estrategias mencionadas se debe de realizar el vertido controlado.

Paso 9. Diseño de los subprocesos de la Logística Inversa

En este paso se realiza un diseño de los subprocesos (clasificación y tratamiento, almacenamiento y transporte) que han de llevarse a cabo en un canal de distribución inversa. Para lograr este objetivo, es necesario emplear la técnica de tormenta de ideas y revisión documental a través del estudio del subproceso que se trate y hacer una propuesta de las actividades que en realidad son necesarias para cada caso en particular. La representación de estos subprocesos individualmente se realiza teniendo en cuenta los flujogramas y proporcionando a la empresa la Ficha del proceso de Logística Inversa. Para determinar la validez de los flujos, así como su integración, se propone utilizar las Redes de Petri según la propuesta del autor Vega de la Cruz (2014).

Paso 10. Balance dinámico de los parámetros definidos

Para cumplir esta etapa se realiza un análisis similar al desarrollado en el paso 4. La diferencia está en que se realiza con el diseño de la LI y los resultados que se piensan alcanzar. Están presentes los balances: de ciclos, residual, ecológico y financiero.

Paso 11. Cuadro de Mando Integral de la Logística Inversa (CMILI)

Para la realización de este paso se utilizan las perspectivas del CMILI abordadas por Hevia Lanier (2008) donde la autora de la investigación define un conjunto de indicadores. El CMILI está basado en las perspectivas cliente, medio ambiente, procesos internos, formación y aprendizaje y financiera. Para su correcta puesta en

práctica se deben tener en cuenta los valores y objetivos a monitorear. Estos deben ser una variable objetiva, medible y utilizar datos confiables para evitar falsas interpretaciones. Además, es necesario determinar para cada uno el tiempo de cálculo, relación con objetivos y subprocesos de LI en términos de eficacia (satisfacción del cliente) y eficiencia (aprovechamiento de los recursos), impacto y estado deseado.

Herramientas y técnicas: tormenta de ideas, revisión documental, flujograma, redes de Petri.

Paso 12. Elaboración de un programa de implementación

El cumplimiento a este paso se debe a la implementación de todas las acciones declaradas en la Fase III del procedimiento, con el fin de lograr que la LI aporte beneficios cuantitativos a la organización. Para ello, es preciso elaborar un plan de acción donde queden plasmadas las actividades, acciones, plazos y responsables de todas estas acciones en el tiempo planificado.

La representación gráfica del modelo descrito se ilustra en la Figura 3.2 a continuación:

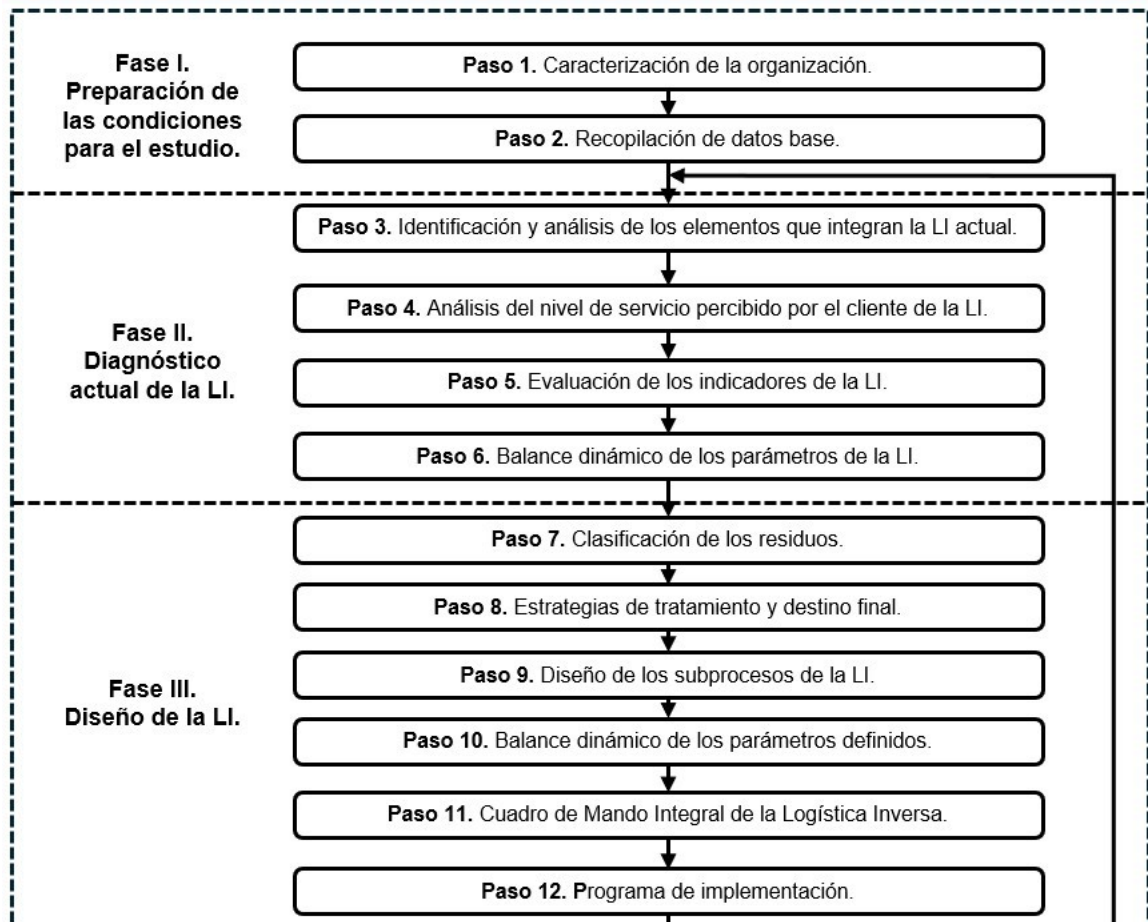


FIGURA 3.2: Modelo de Implementación de la Logística Inversa.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se aplica la metodología propuesta, basada en el modelo enunciado por Batista (2016), para complementar el proceso de aplicación de la LI a la empresa caso de estudio. Como parte de la secuencia a seguir, iniciaremos con la Fase 1 del procedimiento.

4.1 FASE I: PREPARACIÓN DE LAS CONDICIONES PARA EL ESTUDIO.

En esta fase se muestra la información relacionada con los antecedentes históricos de la organización, así como sus procesos operativos y su nivel de enfoque hacia la gestión eficiente de residuos y material no conforme.

4.1.1 PASO 1: CARACTERIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.

La empresa seleccionada fue fundada en Estados Unidos. Se especializa en ser un proveedor internacional de suministros para la industria y construcción. La fiabilidad en sus operaciones de abastecimiento y el trato personalizado con el clien-

te proporcionan una gestión de inventario eficiente. El reabastecimiento se integra dentro del proceso productivo del cliente en el lugar que lo requiere, aplicando soluciones de inventario y tecnología novedosa para garantizar el suministro necesario y alineado a las operaciones del consumidor, lo que convierte a esta organización en un aliado estratégico para la gestión de suministros industriales. Esta empresa tiene presencia en México desde principios de los años 2000 y actualmente cuenta con más de 50 sucursales a lo largo del país, lo que evidencia el crecimiento y la oportunidad de negocio en el territorio mexicano.

4.1.2 PASO 2: RECOPIACIÓN DE DATOS BASE.

Para el caso de estudio, el flujo material se comporta según se describe en la Figura 4.1 que se muestra a continuación:

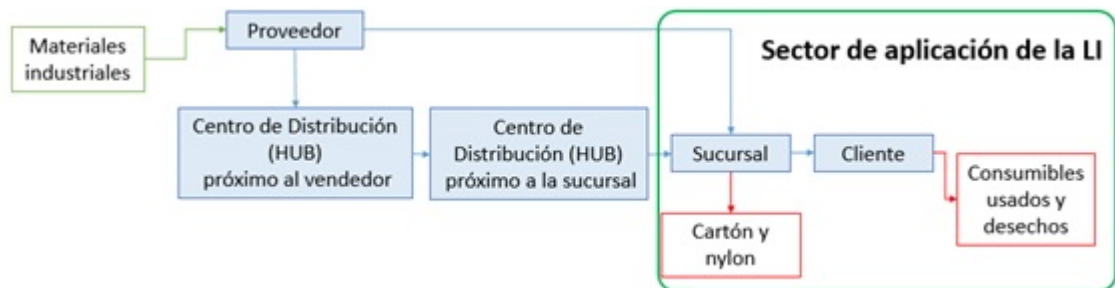


FIGURA 4.1: Flujo de material.

La empresa evalúa la demanda de los clientes que consumen un determinado material y, en función de las cantidades a adquirir, se realiza la compra y almacenaje desde el Centro de Distribución para los pedidos que exigen grandes volúmenes; o la sucursal, para el caso de pedidos pequeños o materiales adquiridos a través de un proveedor local. Una vez llegado a la sucursal, se realiza la recolección del material demandado y se conforman los pedidos a enviar. El material recolectado, es reenvasado en las cajas personalizadas. Ajustado a este flujo material, el punto de incidencia en el tratamiento de desechos se concentra en los eslabones Sucursal y

Cliente. La preparación del material para el envío y los desechos generados luego de su uso, constituyen los principales puntos de incidencia para establecer estrategias alineadas a la logística inversa.

4.2 FASE II: DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA LI

En esta fase se identifican las brechas y puntos de incidencia para la mejora de la operación de los procesos con enfoque a la LI.

4.2.1 PASO 3: IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN LA LI ACTUAL

En la identificación de los datos relevantes para la investigación, se procede a determinar los puntos de interés relacionados con la LI.

4.2.2 ESTADO DE RECURSOS ACTUALES

En este apartado hacemos referencia a los recursos humanos y materiales con los que se cuenta para la ejecución de las actividades actuales.

Área de estudio: Sucursal estratégica

Personal directo a la operación: 2

Personal indirecto a la operación: 5

Vehículos de transporte: 2 (panel Fiat Ducato y camioneta Dodge RAM 1200)

4.2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE DESECHOS

- Residuos de empaque

La generación de desechos se concentra, en gran volumen, en las operaciones de la sucursal y durante el proceso de reabastecimiento de las soluciones de inventario que se encuentran instaladas en los locales de los clientes. El material llega a la sucursal, desde el centro de distribución, en *composites* y tarimas retractiladas, las cuales se abren y desarman para recibir el material, caja por caja. Los desechos generados en esta actividad son los siguientes:

- Papel retráctil (emplaye)
- Material de preservación del contenido (papel café y/o plástico burbuja)
- Bolsas de nylon
- Cajas de cartón

La siguiente actividad que genera desperdicios ocurre durante la recolección y conformación de los kits para los pedidos de los clientes. Durante esta operación se pueden dar cuatro circunstancias:

1. Tomar el 100 % del material que contiene la caja (0 desechos).
2. Tomar una parcialidad del total que contiene la caja (0 desechos, duplicación del material de envase).
3. Unificar material de varias cajas en una (se desecha la(s) caja(s) originales)
4. Realizar kits en cajas específicas por requerimientos del cliente (se desecha la(s) caja(s) originales y se duplica el material de envase).

Los desechos que se generan en esta actividad son los siguientes:

- Papel retráctil (emplaye)
- Bolsas de nylon

- Cajas de cartón
- Tarimas de madera

La última actividad que genera desechos de empaque se ejecuta durante el proceso de reabastecimiento de las soluciones de inventario. En esta práctica, el material debe ingresarse a las máquinas *Vending Machine* y en formato a granel en bins con sistema de identificación por radiofrecuencia RFID, por tanto, todo el material que se utilizó para contenerlo y transportarlo, se desecha en este punto de la operación. El diagrama de la Figura 4.2 refleja el proceso descrito:

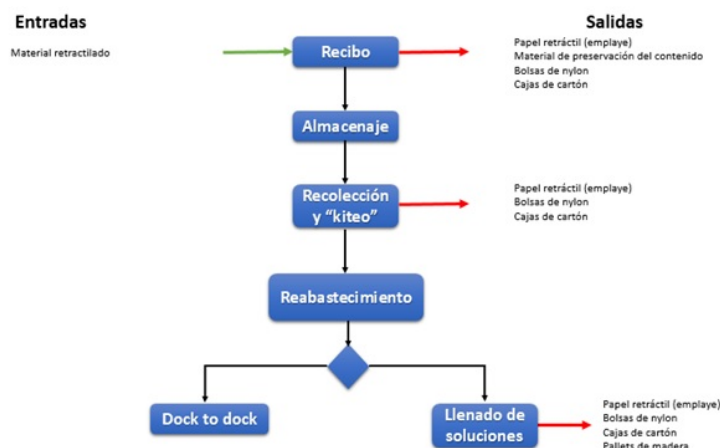


FIGURA 4.2: Diagrama operacional y puntos de generación de desechos.

■ Residuos de consumibles

En las operaciones diarias de la sucursal se generan desechos de oficina y medios de protección personal discontinuados por uso, los cuales se disponen en contenedores de basura en los puestos de trabajo. Estos materiales se generan en un alto volumen; por tanto, se consideran como la segunda fuente de residuos del proceso de operación de la sucursal. La especificación de residuos por área es la siguiente:

■ Oficina

- Papel de impresión

- Etiquetas
- Papel de contracara para etiquetas
- Rollo de papel carbón
- Plásticos
- Almacén
 - Tela (guantes, chalecos, fajas y trapo industrial)
 - Plástico (cuchillas, lente de seguridad y cinta adhesiva)
 - Madera
- Residuos de material sin valor comercial

En el inventario del almacén existe material que pierde valor comercial, por obsolescencia, lento movimiento (NCI), deterioro o devoluciones de calidad o disfuncionalidad para el cliente. Este material está compuesto de metal en su mayoría y es destinado a *Scrap*. Este es el único residuo que tiene un destino final que aporta un retorno monetario al proceso, pues se vende como chatarra a empresas recuperadoras de hierro. Sin embargo, dichos recursos no se revisan y clasifican de forma efectiva; por tanto, se obvia la posibilidad de detectar componentes que puedan ser comerciables. Los recursos que se generan están compuestos de (hierro, acero, cobre, bronce y aluminio).

La Figura 4.3 muestra el comportamiento de la generación de los materiales anteriormente listados, tomando como base un mes de operación:

| Eslabón de la CS | Material | Descripción | Consumo (u/mes) | Peso unitario (kg) | Volumen de desechos generados (kg/mes) | Total por material (kg/mes) |
|------------------|----------|----------------------------|-----------------|--------------------|--|-----------------------------|
| Sucursal | Cartón | Cajas 0153 | 100 | 0.53 | 53 | 238.62 |
| | | Body Guard | 62 | 0.61 | 37.62 | |
| | | MCR | 40 | 0.7 | 28 | |
| | | Varias | 400 | 0.3 | 120 | |
| | Plástico | Bolsas de Nylon | 1500 | 0.0015 | 2.25 | 23.25 |
| | | Papel retráctil grande | 4 | 4 | 16 | |
| | | Papel retráctil pequeño | 5 | 1 | 5 | |
| | Metal | Material destinado a SCRAP | | | 200 | 200 |
| | Madera | Tarimas | 20 | | | 20 |
| Cliente | Cartón | Cajas 0150 | 300 | 0.1 | 30 | 374 |
| | | Cajas 0151 | 300 | 0.2 | 60 | |
| | | Cajas 0152 | 300 | 0.3 | 90 | |
| | | Cajas 0153 | 200 | 0.45 | 90 | |
| | | Cajas 0199 | 200 | 0.52 | 104 | |
| | Tela | Guantes | 8880 | 0.008 | 71.04 | 72.64 |
| | | Mangas | 160 | 0.01 | 1.6 | |
| | Nitrilo | Guantes | 12350 | 0.02 | 247 | 247 |
| | Plástico | Envases de plástico | 450 | 0.02 | 9 | 9 |
| | Aluminio | Envases de aerosoles | 225 | 0.05 | 11.25 | 11.25 |
| | | | | | | 1195.76 |

FIGURA 4.3: Volumen de generación de material de desecho para un mes de operación.

Concluyendo lo anteriormente descrito, se presenta el mapa de operación de la Figura 4.4 que resume la información levantada acerca del flujo operacional y los desechos manejados por la organización.

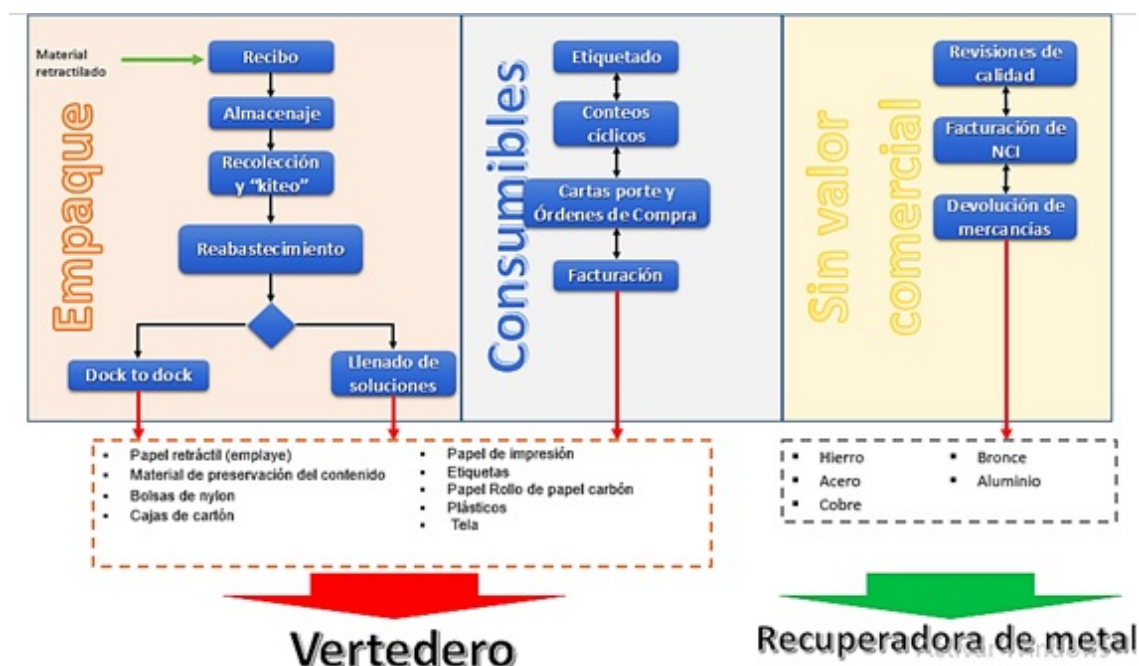


FIGURA 4.4: Mapeo de la situación actual.

4.2.4 PASO 4: ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO PERCIBIDO POR EL CLIENTE.

Los procesos actuales de recuperación de desechos no van dedicados a un cliente externo, por lo que el beneficiario de estas actividades es actualmente la propia empresa. En este sentido, la organización no tiene métricas definidas que evalúen el Nivel de Servicio, por tanto, no es perceptible de forma tangible ni genera un impacto en los indicadores de rendimiento y financieros de la organización. Este aspecto se considera una brecha para generar alternativas de medición y control como parte del desarrollo de este proyecto. Con base en el autor Campaña (2005), se realizó la encuesta reflejada en el Anexo A.1, aplicada a 26 colaboradores de la organización, la cual se rige por una escala de 1-5 puntos, siendo 5 el resultado óptimo. Los resultados obtenidos se analizan en la Tabla 4.1 siguiente, en donde se evalúa la situación en que se encuentra la empresa:

| No. | Dimensiones del servicio | Promedio |
|-----|---|----------|
| 1 | ¿Cómo percibe el servicio de tratamiento de desechos brindado por nuestra empresa? | 3.3 |
| 2 | ¿Considera que las áreas establecidas para la colocación de desechos son suficientes? | 2.6 |
| 3 | ¿Los puntos de ubicación y contenedores de desechos se encuentran correctamente identificados? | 3.3 |
| 4 | ¿Se encuentran correctamente segregados los materiales? | 2.3 |
| 5 | ¿Considera que los plazos de recolección de desechos es el adecuado? | 3.3 |
| 6 | ¿Se siente capacitado para clasificar desechos por categorías? | 3.3 |
| 7 | ¿Considera que la política de tratamiento de desechos aporta beneficios económicos a la empresa? | 3.1 |
| 8 | ¿Considera que la política de tratamiento de desechos aporta beneficios ambientales a la empresa? | 3.5 |

TABLA 4.1: Evaluación del Nivel de Servicio.

Al promediar los resultados, se obtiene que el nivel de servicio percibido por los clientes de la LI es de 3.1; en evaluación de estos resultados según la relación de las categorías cualitativas del nivel de servicio y los intervalos, establecidos por Campaña (2005) significa que la empresa tiene un nivel de servicio débil/bajo. El resultado constituye un elemento desfavorable para el desempeño de la organización. Además, se identifica una percepción más crítica en los cargos operativos (2,6), los cuales, por las actividades que desempeñan, se encuentran directamente vinculados a la generación y evacuación parcial de estos. Estos hallazgos evidencian las áreas de oportunidad para favorecer la incorporación de la LI a los procesos actuales.

4.2.5 PASO 5: EVALUACIÓN DE LOS INDICADORES DE LI

El funcionamiento actual de las operaciones de la empresa caso de estudio no tiene establecidos indicadores que permitan cuantificar el aporte de procesos de tratamiento y reutilización; en este sentido, se identifica como una necesidad a cubrir para poder identificar cuánta oportunidad no se aprovecha por no tener herramientas para hacerla medible. Estas brechas se consideran base para el diseño de indicadores relacionados con la LI. En consecuencia, se medirá el comportamiento actual analizando el rendimiento de los indicadores de interés que se definen a continuación y se relacionan en el Anexo A.2 de este proyecto:

1. Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi).
2. Tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI).
3. Margen de recuperación del valor (MRV).

Aplicando los indicadores a los datos de los residuos que se manejan para un mes de trabajo relacionados en la tabla 4.3, se identifica una Tasa de recuperación por tipo de residuo de 0 % para cartón, plástico y madera y 100 % para metal, según las condiciones actuales de operación. Se evidencia que solo el metal, tiene un TRi satisfactorio con respecto al resto de los tipos de desechos, los cuales presentan un rendimiento crítico.

Analizando la tasa de recuperación a nivel de instalación se obtiene un 14 %. Esto demuestra el aprovechamiento de los desechos de metal, del total de los residuos con potencial.

En el caso del indicador de Margen de recuperación del valor (MRV), no es posible determinarlo en esta etapa inicial, específicamente para el caso del metal, pues los valores base de los precios varían en función del valor comercial que tenga la pieza o componente metálico. Para medir este indicador se diseña el formato 4.2 siguiente:

TABLA 4.2: Trazabilidad del precio comercial de componentes metálicos.

| NP | Precio (USD/Ciento) | Cantidad a scrap | Monto total (USD) |
|----|---------------------|------------------|-------------------|
| | | | |

4.2.6 PASO 6. BALANCE DINÁMICO DE LOS PARÁMETROS DE LA LI

El balance dinámico constituye la base para determinar las deficiencias que presenta la empresa. Se sustenta en el análisis del ciclo logístico inverso, el comportamiento de los residuos y el balance ecológico.

Balance de los ciclos

El proceso de recolección de residuos, se realiza por el Servicio de Recolección Regular Municipal, el cual cumple un ciclo de recogida semanal. Sin embargo, este servicio se encuentra designado solo a la recopilación de desechos comunes, los cuales no aportan a la eficiente gestión de desechos y, por consiguiente, impactan en la huella ecológica. Por otra parte, aquellos desechos derivados de materiales ferrosos, se segregan y evacuan cumpliendo un ciclo variable, en dependencia del nivel generado y la capacidad de los contenedores que se disponen para su almacenaje. Se puede definir, a priori, una frecuencia de evacuación de 2 veces/año, pues este ciclo se deriva de los planes de depuración de inventario para aquellos materiales sin valor comercial. Teniendo en cuenta esta información, se puede resumir la tabla 4.3 que se muestra a continuación:

TABLA 4.3: Ciclos de recolección de desechos

| Tipo de desecho | Ciclo de recolección | Responsable |
|-----------------|----------------------|---|
| Papel | 1 vez/semana | Servicio de Recolección Regular Municipal |
| Cartón | 1 vez/semana | Servicio de Recolección Regular Municipal |
| Plástico | 1 vez/semana | Servicio de Recolección Regular Municipal |
| Madera | 2 vez/mes | Servicio de Recolección Regular Municipal |
| Metal | 2 veces/año | Propia empresa |

Balance residual

El balance residual depende de los resultados arrojados por el paso 5 en su evaluación cuantitativa. En el caso de la empresa, los elementos que conforman este balance se determinan por la cantidad de residuos a los cuales la empresa no les proporciona tratamiento, las estrategias de disposición final y los residuos que tienen como estrategia el vertido. La siguiente tabla nos muestra el promedio de estos volúmenes de generación en kg:

TABLA 4.4: Generación mensual de residuos.

| | Material | Total por material (kg/mes) |
|--|----------------|-----------------------------|
| | Cartón | 624,62 |
| | Plástico | 32,25 |
| | Metal | 211,25 |
| | Madera | 540 |
| | Tela y nitrilo | 1427,42 |
| | | 2295,54 |

De estos volúmenes relacionados, solo se le brinda un destino final reutilizable a los desechos metálicos, lo que representa el 14 % del total, dejando el resto de los materiales con un 0 % de aprovechamiento.

Balance ecológico En la empresa caso de estudio, se lleva un balance a nivel corporativo, conforme al Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). En este se informa el impacto ecológico enfocado a la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂, producto de las actividades de transportación y consumo de energía eléctrica. Además, la organización ostenta la certificación ISO 14001, que proporciona un marco para reducir su huella de carbono y el impacto ambiental a través de diversas herramientas y mejores prácticas.

En el caso de los residuos de interés para el presente proyecto, no se definen métricas específicas en las bases operacionales (HUB, sucursales y *sites* de clientes) para el monitoreo de los comportamientos de tratamiento de residuos, estos serán definidos en los pasos 9 y 10 de la fase de diseño.

Balance financiero Para el desarrollo del balance financiero correspondiente a los residuos que reporten beneficios económicos, bajo la situación actual, se utiliza

como referencia el año 2024. En el primer semestre se agregaron a caja chica de la sucursal, un monto de 6537.00 pesos, producto de la venta de 1.7 toneladas de metal. En el segundo semestre se notó un incremento en la cantidad de metal destinada a *scrap*, debido a la depuración de inventario obsoleto y/o sin valor comercial que se realiza a cierre de año, generando un beneficio de 9228.71 pesos, sumando un total de 15765.71 pesos ingresados a caja chica procedente solo de la evacuación de desechos metálicos. Esta situación refleja un área de oportunidad enorme, pues se refleja un retorno monetario de solo una clasificación de material que ya no cuenta con valor de venta, quedando varias clasificaciones que actualmente no son aprovechadas y teniendo en cuenta la cotización de estas en el mercado local, su valor de recompra promedia en \$ 2500, \$ 9000 y \$ 1200 pesos para el papel y cartón, plástico y madera respectivamente.

4.3 FASE III: DISEÑO DE LA LOGÍSTICA INVERSA.

Los resultados del levantamiento de información en la Fase II del procedimiento serán los elementos de entrada para ejecutar la presente fase. El objetivo a lograr es el diseño de la Logística Inversa supliendo las brechas detectadas.

4.3.1 PASO 7: CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.

La clasificación de los desechos se desarrolla, teniendo como referencia el análisis morfológico que propone la autora Ordaz *et al.* (2014), con adecuaciones en función de las características de la empresa y la Norma Mexicana vigente que se analizó anteriormente en el apartado 2.1.1.

Esta clasificación se desglosa en los siguientes aspectos:

- Origen

- Características físico-químicas
- Peligrosidad
- Posible tratamiento

Para definir las estrategias para el tratamiento y destino final, se tomaron como base las variantes definidas por la LI en la tabla 2.3.

La clasificación y posible tratamiento, se relacionan en la tabla del Anexo A.3.

4.3.2 PASO 8: ESTRATEGIAS PARA EL TRATAMIENTO Y DESTINO FINAL.

En la sección anterior, exploramos las alternativas de tratamiento y destino final de estos residuos generados. En la presente sección, identificaremos estas variantes, así como los beneficios que tributan a la explotación de estas alternativas.

En la tabla 2.3 se relacionan los tratamientos determinados para cada residuo, los cuales se resumen a continuación:

Para los productos

- Reacondicionamiento
- Reventa
- Reciclaje

En este aspecto referido a los productos, es importante destacar que, debido a que las empresas que componen el sector del comercio de productos industriales, la gama de materiales que manejan es muy diversa y solo se encuentra limitada por el objeto social o restricciones gubernamentales y políticas internas en cuanto a

determinada línea de productos y/o componentes. Teniendo en cuenta esta pauta, se identifican áreas de oportunidad relacionadas con los productos que pierden su valor inicial, pero aún contienen una porción de valor que puede ser aprovechada si se realizan los procesos correctos.

Reacondicionamiento: En esta alternativa, se determinan dos familias potenciales de productos que se pueden tratar bajo esta estrategia: tornillería y herramientas. El uso de esta estrategia está condicionado por la pauta de reacondicionar, siempre y cuando el producto no sufra una deformación física o estructural de sus componentes que condicionen el uso para el que fue destinado.

Para el caso de la tornillería, la principal condición que influye en que este producto sea clasificado como SCRAP es la corrosión. El almacenaje prolongado y el ambiente pueden provocar la proliferación del óxido en componentes ferrosos; no obstante, existen tratamientos químicos que permiten revitalizar estos materiales. La revisión de criterios y alternativas de tratamiento, propuestas por los autores Fontana (1986); Revie y Uhlig (2008); G1-03 (2017) y la revisión de la norma 8407:2021 (2021) permiten establecer pautas para la determinación del tratamiento, las cuales se resumen en la Tabla 4.5.

TABLA 4.5: Clasificación de materiales oxidados según restaurabilidad

| Grado | Estado del material | Reparación | Tratamiento sugerido |
|-------|--|------------|--|
| I | Oxidación leve: capa superficial delgada, sin afectación estructural | Alta | Limpieza mecánica (lijado, cepillado) y aplicación de recubrimiento protector (pintura, imprimante) |
| II | Oxidación intermedia: penetración parcial con posible afectación funcional | Moderada | Decapado químico o abrasivo, posible aplicación de pasivadores y posterior recubrimiento |
| III | Oxidación severa: pérdida de masa, grietas o fragilidad estructural evidente | Baja | Evaluar reemplazo del componente, reciclaje del material o confinamiento como residuo no recuperable |

Teniendo en cuenta estos criterios, se clasifica para la estrategia de reacondicionamiento los materiales que se identifiquen con grado de oxidación I y II y, además, cumplan con la condición de que el análisis costo-beneficio derivado del reproceso sea factible.

En el caso de las herramientas, el proceso de clasificación para su tratamiento se determina mediante dos criterios principales: Operativa y No operativa. La clasificación operativa, agrupará aquellas herramientas que mantienen su estado funcional y mecánico o este puede ser restablecido mediante un tratamiento leve. Las No operativas serán aquellos útiles que sufrieron daños estructurales y/o funcionales que impactan en su capacidad de uso y cuyo costo de readecuación no sea factible.

Reventa: Los residuos que tendrán como destino la reventa, serán aquellos que hayan sido restaurados mediante los criterios definidos anteriormente, obteniéndose el beneficio correspondiente según su valor comercial.

Reciclaje: Esta estrategia se destina como destino final de aquellos residuos que fueron decantados como no recuperables o no factibles luego de la aplicación de los filtros para restaurar o revender. Aunque esta estrategia no ofrece un impacto representativo respecto a las estrategias anteriores, de igual manera aporta económicamente a las organizaciones. Según una evaluación del mercado de compraventa de fierro, la tonelada de metal tiene un precio de compra en el rango de los 4000-5000 MXN por parte de las empresas recuperadoras. Por tanto, teniendo en cuenta el histórico de generación de residuos de la sucursal caso de estudio, se estima un aporte superior a los 500 MXN mensuales.

Para los envases y embalajes

- Reutilización
- Reciclaje
- Vertido

En este aspecto referido a los envases y embalajes, es importante señalar que el principal criterio de clasificación está condicionado a la capacidad del recurso para seguir cumpliendo su función de contención y conservación de contenido, una vez que se reintegre al proceso.

Reutilización: La estrategia de reutilización se utiliza para aquellos materiales tales como bolsas de plástico, cajas de cartón o tarimas de madera o plástico, que después de su uso en el proceso, aún conservan las características estructurales y estéticas que permiten incorporarse nuevamente al uso normal. Los puntos invalidantes serán, para el caso de bolsas de nylon y cartón, la presencia de agujeros o manchas de grasa u otro componente que reste presencia visual al empaque o impida la adherencia de las cintas de embalaje; para las tarimas, se descartan aquellas que presenten una estructura debilitada y/o inestabilidad. En ambos casos, el material que no cualifique, será clasificado como defectuoso y, por consiguiente, identificado como desechos de cartón, plástico y madera.

Reciclaje: De manera similar al apartado correspondiente a las estrategias para productos, el material de envase y embalaje que se destine para reciclar, se vende a empresas recuperadoras en dependencia de la propiedad física que lo identifique. Los precios del mercado para estos componentes se reflejan en la tabla 4.6 siguiente:

| Material | Reciclado promedio |
|----------|--------------------|
| Cartón | 2750 (MXN/t) |
| Papel | 2750 (MXN/t) |
| Plástico | 9000 (MXN/t) |
| Madera | 55 (MXN/u) |

TABLA 4.6: Materiales y su reciclado promedio

Vertido: Esta estrategia se determina para todo material que haya perdido toda capacidad de reutilización y/o reciclaje debido a la contaminación química o biológi-

ca, siempre y cuando no viole las características para ser identificado como desecho común doméstico y evacuado por el Servicio de Recolección Regular Municipal.

4.3.3 PASO 9: DISEÑO DE LOS SUBPROCESOS.

El diseño de los subprocesos de la empresa se ejecuta a partir de la secuencia de las actividades que se realizan para cumplimentar los nuevos procesos de LI incorporados. Tomando la empresa caso de estudio, se elabora la Ficha de Proceso de Logística Inversa, la cual se muestra en el Anexo A.4 y relaciona las actividades, responsables, aspectos legales, entradas y salidas, proveedores y clientes, registros y el diagrama de flujo que identifica la secuencia de pasos para el desarrollo del subproceso.

Con el objetivo de comprender de manera estructurada el comportamiento del proceso de logística inversa, se diseñó una Red de Petri que representa los tres subprocesos involucrados: Clasificación y Tratamiento, Almacenamiento y Transporación. Esta herramienta permite modelar tanto la secuencia lógica de actividades como los puntos críticos de decisión y bifurcación, facilitando la identificación de oportunidades de mejora. La representación básica en Red de Petri se puede observar en el Anexo A.5. Para ello, se identifican 22 transiciones y 22 condiciones o estados (plazas) de los subprocesos definidos. La red desplegada, se muestra en la figura 4.5 a continuación:

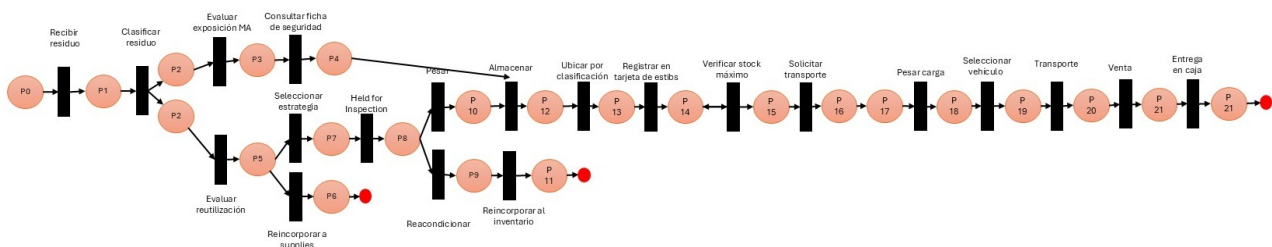


FIGURA 4.5: Red Petri de los subprocesos de LI.

El uso de una Red de Petri como herramienta de análisis facilita visualizar con claridad la estructura operativa del proceso e identificar interdependencias entre actividades.

Los elementos relevantes a destacar se centran en aquellos puntos de la red que son propensos a acumulación (salida es más lenta que la entrada), que presentan algún recurso crítico para su ejecución, y/o que dependen de la calibración correcta de un parámetro de decisión. Los puntos propensos a acumulación se identifican en las actividades P4, P15 y P17, debido a que sus transiciones se encuentran condicionadas por la disponibilidad de la ficha de seguridad del producto, decisión efectiva del gatillo de acción para solicitar el transporte en dependencia de la apreciación de volumen o peso, y disponibilidad del vehículo de transporte en el momento oportuno, respectivamente. Además, se identifica la transición T9 Reacondicionar material, como un cuello de botella, pues requiere la intervención de varias subactividades asociadas que recargan los tiempos de ejecución (Anexo A.4. Ficha de Proceso, subproceso Almacenamiento).

Estos hallazgos fundamentan la propuesta de rediseño del proceso y constituyen un aporte práctico relevante para la implementación efectiva de la logística inversa en la empresa. Es válido destacar que el nuevo proceso se concibe con gatillos de acción y control manuales, los cuales dependen de la intervención humana; sin embargo, en esta fase preliminar de implementación se asume como riesgo, pues es necesario aplicar estas actividades de la forma más sencilla posible, para luego incorporar mejoras según los hallazgos de oportunidad detectados durante las actividades de mejora continua.

Los subprocesos diseñados se integran a la operación actual, creando la sinergia necesaria para el desarrollo de las actividades de LI de manera fluida y con la utilización óptima de recursos. Partiendo del mapeo inicial, se realiza el nuevo mapa con la relación de integración planteada. El mapa se observa en la figura 4.6 a continuación:

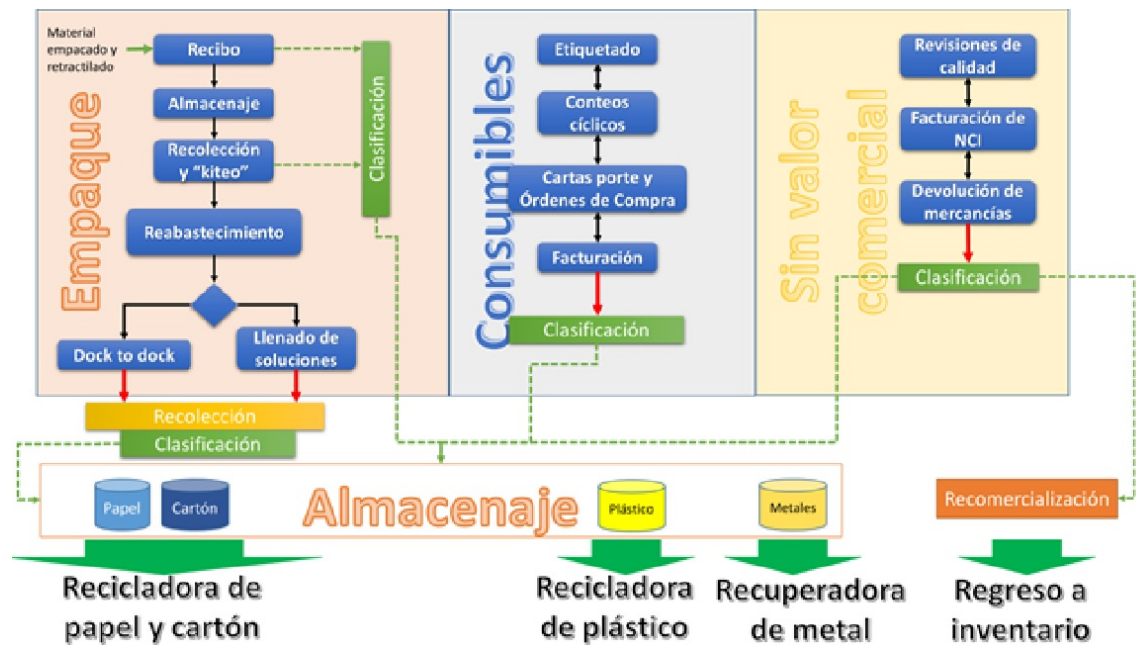


FIGURA 4.6: Mapeo de la situación propuesta.

La replanificación de los recursos humanos y materiales necesarios para la ejecución de las nuevas actividades, se muestra a continuación:

Área de estudio: Sucursal estratégica

Personal directo a la operación: 3

Personal indirecto a la operación: 5

Vehículos de transporte: 2 (panel Fiat Ducato y camioneta Dodge RAM 1200)

Se define como cambio, la incorporación de un nuevo puesto de trabajo directo a la operación.

4.3.4 PASO 10: BALANCE DINÁMICO DE LOS PARÁMETROS DEFINIDOS.

El balance dinámico actualizado se realiza teniendo como referencia las brechas detectadas en el paso 6. Para su desarrollo se emplean técnicas como la revisión documental, entrevistas y observación directa.

Balance de los ciclos En el balance previo se encontró como hallazgo que los ciclos de recolección del 80 % de los materiales que se generan, se evacúan a través del servicio estatal. Este sistema se valora como eficiente en cuanto a su frecuencia, sin embargo, resta protagonismo respecto al aspecto ambiental, pues no se sigue el destino final adecuado. La propuesta de diseño para los ciclos de evacuación para esta etapa preliminar, no puede fijarse con frecuencias específicas, pues se carece de datos históricos. Se propone el establecimiento de gatillos de acción para la evacuación de los residuos, los cuales estarán condicionados por peso/volumen. Para el caso de papel y cartón, plástico y madera, el valor de acción depende del volumen. En el caso de los metales, serán regidos por el peso. La importancia de registrar los días transcurridos entre una evacuación y la siguiente nos permite formar un histórico. Esto tiene el objetivo de identificar una frecuencia en días específica para cada tipo de material, favoreciendo la determinación de los ciclos de entrega por tipo de residuo. Para ello se propone la siguiente tabla 4.7:

| Residuo | Frecuencia por mes | | | | | | | | | | | | Días | Ciclo | Días/Ciclo |
|----------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|-------|------------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | | | |
| Cartón | | | | | | | | | | | | | | | |
| Papel | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plástico | | | | | | | | | | | | | | | |
| Madera | | | | | | | | | | | | | | | |
| Metales | | | | | | | | | | | | | | | |

TABLA 4.7: Formato de registro de frecuencia de recolección de residuos por mes.

Para la aplicación en la empresa caso de estudio, se identifican los recursos y capacidades con los que cuenta para el desempeño de la actividad. Los vehículos disponibles son dos: Fiat Ducato para el transporte de papel y cartón, madera y plásticos, debido a su capacidad en volumen; y Dodge RAM 1200 para el traslado de metales por su capacidad de peso y facilidad de descarga en los centros de reciclaje. La capacidad de estos recursos representa la pauta para establecer los gatillos de acción en función de aprovechar su capacidad óptima. La tabla 4.8 siguiente resume las capacidades y el punto de orden para iniciar el subproceso de transportación:





| Residuo | Dimensión consolidada | Medio de envase | Dimensiones (m) | Capacidad de carga del vehículo | Gatillo de acción |
|----------|-----------------------|--|--------------------|---------------------------------|-------------------|
| Cartón | 0.6 m ³ |  | 1.2 x 0.5 x 1 | 10 pacas | 8 pacas |
| Papel | 1.5 m ³ |  | 1.14 x 1.14 x 1.12 | 3 contenedores | 3 contenedores |
| Plástico | 1.5 m ³ |  | 1.14 x 1.14 x 1.13 | 4 contenedores | 4 contenedores |
| Madera | 1.8 m ³ |  | 1 x 1.2 x 1.5 | 20 tarimas | 20 tarimas |
| Metales | 1 ton |  | 1 x 1.2 x 0.5 | 1.2 ton | 1 huacal |

TABLA 4.8: Resumen de residuos y sus características de envase

Balance residual y ecológico

En esta sección se analizan los aspectos residuales y ecológicos a la par, pues sus objetivos de diseño se encuentran estrechamente relacionados. El establecimiento de un sistema de clasificación y tratamiento permitirá una mejor disposición de los desechos con potencial de aprovechamiento. Los materiales como papel y cartón, plástico, metal y madera serán tratados completamente, obteniendo beneficios. Los derivados de tela y nitrilo serán vertidos debido a su bajo margen de aprovechamiento. Esto representa un 26.7 % del total de los desechos que se generan en los procesos operativos del caso de estudio.

Para facilitar la clasificación, se disponen contenedores ubicados en el área de generación de desechos que cumplirán la secuencia de colores utilizados internacionalmente para cada categoría de interés. Los materiales a recolectar serán papel y plásticos dispuestos en los siguientes contenedores temporales según la figura 4.7:



FIGURA 4.7: Contenedores de colores por categoría de desechos.

Los indicadores que aportan visibilidad al aspecto ecológico son: Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi) y Tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI), los cuales fueron definidos en el paso 5 del presente proyecto para sentar las bases del estado inicial de la LI. Se estima una TRi del 90 % para productos con alternativas de tratamiento y TRNI de un 73 % del total de desechos generados por la unidad de negocio.

Balance financiero El diseño de la LI tiene como objetivo reforzar el aspecto financiero, agregando valor a procesos que anteriormente engrosaban los gastos operativos. Los subprocesos diseñados para la empresa caso de estudio, permitirán un aprovechamiento monetario mensual de alrededor de 3,400 MXN, lo que representa un 32,03 % del valor inicial de los productos a disponer con estrategias de tratamiento. El análisis costo-beneficio se presenta en el Anexo A.6 y evidencia un balance neto aproximado de 359,965.00 MXN anual y una Tasa de retorno (ROI) de 69 %, en donde impacta en gran medida, los ahorros por concepto de contratación

de servicios 3PL para la recolección de desechos. Lo anterior, sustenta la factibilidad de incorporar los procesos de LI en la empresa caso de estudio.

El resumen de balances que resulta de la propuesta de diseño para la empresa caso de estudio, permite justificar la hipótesis planteada al inicio del proyecto. La aplicación de los subprocesos de la LI contribuye a la reducción del impacto ambiental, debido a la optimización en el tratamiento de desechos y aporta un beneficio económico, pues al reducir los costos concepto de evacuación de desechos y aumentar el rublo de ventas de material reutilizado y/o reciclado, se obtiene un balance positivo en la aplicación de los nuevos procedimientos.

4.3.5 PASO 11: CUADRO DE MANDO INTEGRAL DE LA LI.

El desarrollo de la fase de diseño permite sentar las bases para la conformación del cuadro de mando integral. Para el caso de estudio, se definen las cuatro perspectivas que conforman la herramienta, adaptadas con indicadores clave (KPIs) orientados a la recuperación de valor, eficiencia operativa y sostenibilidad. El CMILI diseñado se muestra en la figura 4.8 a continuación:

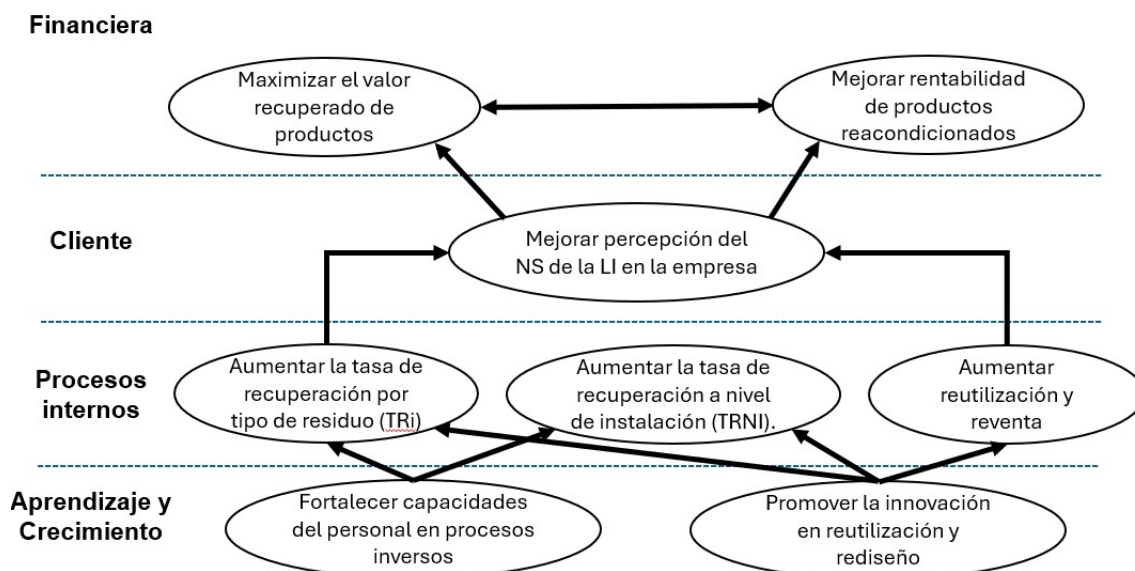


FIGURA 4.8: Cuadro de Mando Integral de la Logística Inversa (CMILI).

Los indicadores correspondientes a cada perspectiva se evaluarán de la siguiente manera, resumida en la tabla del Anexo A.7. La explicación correspondiente a cada métrica se detalla a continuación:

Perspectiva: formación y aprendizaje

- Personal capacitado en gestión de logística inversa. Indica el grado de formación del equipo en procesos clave como clasificación, manipulación, trazabilidad, etc. Asegura competencia técnica y mejora continua. Tiene como pauta cumplirse al 100 % durante el proceso de implementación y capacitación del personal. Este indicador se mantiene de manera permanente para ajustarse a las variaciones de la plantilla.
- Innovación y mejora de procesos de LI.

Mide la capacidad del sistema para innovar en rediseño de productos, mejora de procesos o implementación de nuevas tecnologías. Permite que los colaboradores participen de forma activa en la identificación de oportunidades.

Perspectiva: clientes

- Índice de percepción del Nivel de Servicio.

Como se analizó previamente en el paso 4 la herramienta propuesta por el autor Campaña (2005) se convierte en la métrica para valuar la percepción del nivel de servicio de la LI. Se pretende que el desarrollo en la implementación de los subprocesos de la LI, se caracterice por un impacto contundente en este indicador por parte del equipo interno de la organización.

Perspectiva: procesos internos

- Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi).
- Tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI).

Como se analizó previamente en el paso 5, ambos indicadores enfocados a la evaluación del componente ecológico, permitirán identificar el rendimiento de los procesos de tratamiento efectivo de los desechos con el objetivo de minimizar el impacto ambiental.

- Productos recuperados para reutilización y reventa.

Mide la efectividad en la recuperación de valor, indicando qué porcentaje se aprovecha en lugar de desecharse. Refleja la madurez del sistema inverso.

Perspectiva: financiera

- Margen de recuperación del valor (MRV).

Como se identificó en el paso 5 del procedimiento de aplicación de la LI, este indicador se define con el objetivo de cuantificar el retorno de valor de un ítem respecto al precio comercial, luego de cumplimentar su tratamiento. Para ello se aplicará el formato de trazabilidad relacionado en la tabla 4.2. Autores como Guide y Wassenhove (2009) y Rogers y Tibben-Lembke (1999) comentan

que si el valor recuperado es inferior al 30 %, se suelen buscar solo beneficios ambientales o cumplimiento normativo, más que rentabilidad directa; sin embargo, sugieren que por encima 50 % de recuperación del valor económico inicial se considera un umbral aceptable en la mayoría de los estudios, ya que suele justificar económicamente el proceso de logística inversa.

- Mejorar rentabilidad de productos reacondicionados

Para aquellos materiales cuyo tratamiento sea definido como reacondicionamiento y reventa, el margen de ganancia neto por unidad reacondicionada constituye el indicador que permite calcular la utilidad obtenida tras recuperar y revender productos. Es clave para demostrar que la logística inversa puede ser rentable si se gestiona adecuadamente.

La medición de cada uno de estos indicadores aporta datos cuantitativos para sostener la hipótesis planteada y evidencia una medida del cumplimiento de los objetivos ambientales y económicos que persigue la empresa con la adopción de los procesos de LI.

4.3.6 PASO 12: PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.

Una vez diseñados los elementos a considerar para incorporar la LI a los procesos actuales de la organización, se procede a desarrollar las actividades del plan de implementación. El plan definido contiene las actividades para el desarrollo de los pasos 13, 14 y 15 del procedimiento, como parte de las actividades a desarrollar para la incorporación de la LI a los procesos actuales de la organización. El diagrama se relaciona en el Anexo A.8 del presente proyecto.

4.3.7 Valoración de la investigación.

El análisis realizado nos permite validar una herramienta que facilita la incorporación de prácticas de LI para el desempeño sostenible de organizaciones que optan por reducir su impacto al medio ambiente. La propuesta para el caso de estudio y su enfoque en el sector de suministros industriales evalúa los siguientes impactos:

1. Viabilidad estratégica y operativa de la Logística Inversa (LI): La implementación de procesos de logística inversa en empresas de suministros industriales y de construcción no solo es viable, sino también estratégica. Permite recuperar valor de productos y materiales que antes eran considerados residuos, mejorando la eficiencia operativa y aportando a la sostenibilidad empresarial.
2. Beneficios económicos tangibles: El análisis costo-beneficio realizado demuestra que, a pesar de los costos iniciales de implementación, la logística inversa genera retornos positivos a través del ahorro en disposición de residuos, la reventa o reutilización de materiales recuperados y la mejora en la imagen corporativa ante clientes ambientalmente conscientes.
3. Contribución a la sostenibilidad ambiental y cumplimiento normativo: La LI permite una reducción significativa en la cantidad de residuos enviados a disposición final, apoyando los objetivos ambientales de las organizaciones y el cumplimiento de regulaciones locales e internacionales en materia de gestión de residuos.
4. Importancia del enfoque integral: La logística inversa debe ser concebida como un sistema integrado que involucra áreas como gerencia, almacén y ventas. Solo con una visión transversal es posible maximizar su efectividad.
5. Factores críticos de éxito: Se identificaron como elementos clave para una implementación exitosa: la capacitación del personal, el diseño de políticas claras de clasificación y recuperación, la inversión en infraestructura adecuada (conte-

nedores de residuos), y la incorporación paulatina de tecnologías de información para el control y trazabilidad.

6. Alineación con tendencias globales y competitividad: La adopción de prácticas de logística inversa coloca a la empresa en sintonía con las tendencias globales hacia la economía circular y fortalece su posicionamiento competitivo al demostrar responsabilidad social y compromiso ambiental.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permite fundamentar las siguientes conclusiones generales:

1. Se identifica el procedimiento de aplicación propuesto por Batista (2016) como una herramienta práctica para la implementación de la Logística Inversa.
2. Se identificaron los criterios de clasificación (origen, características físico-químicas y peligrosidad) y posible tratamiento (reacondicionamiento, reventa, reciclaje) como los aspectos a aplicar en la empresa caso de estudio para el desarrollo de los subprocesos de LI.
3. Se define la Ficha de Proceso de la LI para los nuevos subprocesos (Clasificación y tratamiento, Almacenaje y Transportación) a integrar a los procesos operativos de la empresa.
4. Se definen el cuadro de mando integral de la LI con los indicadores económicos y ambientales a medir, en el cual se proyectan los siguientes resultados:
 - Se identifica un retorno de aproximadamente 3400 MXN/mes para un Margen de Recuperación de Valor (MRV) de 32,03 % del valor inicial de los productos a disponer a través de estrategias de tratamiento.

- El análisis costo-beneficio evidencia un balance neto aproximado de 359,965.00 MXN anual y una Tasa de retorno (ROI) de 69 %.
- Se estima una Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi) del 90 % para productos con alternativas de tratamiento y Tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI) de un 73 % del total de desechos generados por la unidad de negocio.

CAPÍTULO 6

RECOMENDACIONES

Para la continuidad del presente proyecto se recomienda lo siguiente:

- Continuar el procedimiento, desarrollando la fase IV “Implementación y control” de conjunto con el equipo de trabajo de la empresa caso de estudio.
- Validar las operaciones de control manual e incorporar herramientas automatizadas para optimizar actividades.
- Validar el desempeño de la LI a nivel sucursal y extrapolar el procedimiento de implementación hacia los HUB de la empresa caso de estudio.

APÉNDICE A

ANEXOS

A.1 ANEXO 1: ENCUESTA NIVEL DE SERVICIO

Para la obtención de los datos que servirán como base para el estudio, se aplica la siguiente encuesta.

Estimado colaborador:

Necesitamos que responda a las siguientes interrogantes, las cuales tienen como objetivo conocer su nivel de satisfacción con respecto al servicio que ofrece la empresa con enfoque a la logística inversa. Por favor, otorgue la evaluación que usted considere tiene la empresa en cada indicador que le relacionamos a continuación. Para ello, se utilizará un orden ascendente, siendo 5 la mayor y 1 la menor calificación. Marque con una (X) sus respuestas en cada caso.

¿Cuál es el tipo de cargo que desempeña?

☐ Operativo

☐ Administrativo

TABLA A.1: Encuesta Nivel de Servicio (NS).

| No. | Dimensiones del servicio | Evaluación | | | | |
|-----|---|------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Como percibe el servicio de tratamiento de desechos brindado por nuestra empresa | | | | | |
| 2 | Considera que las áreas establecidas para la colocación de desechos son suficientes | | | | | |
| 3 | Los puntos de ubicación y contenedores de desechos se encuentran correctamente identificados | | | | | |
| 4 | Se encuentran correctamente segregados los materiales | | | | | |
| 5 | Considera que los plazos de recolección de desechos es el adecuado | | | | | |
| 6 | Se siente capacitado para clasificar desechos por categorías | | | | | |
| 7 | Considera que la política de tratamiento de desechos aporta beneficios económicos a la empresa | | | | | |
| 8 | Considera que la política de tratamiento de desechos aporta beneficios ambientales a la empresa | | | | | |

A.2 ANEXO 2: INDICADORES DE RENDIMIENTO DE LA LI.

TABLA A.2: Indicadores de recuperación de residuos

| Indicador | Función de Cálculo | Leyenda |
|---|---|--|
| Tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi). | $TRi = \left(\frac{VEi}{VGi} \right) \times 100$ | VEi: Volúmenes recuperados del residuo i. VGi: Volúmenes potenciales generados de residuo i. |
| Tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI). | $TRNI = \left(\frac{\sum_{i=1}^m TRi/100}{m} \right) \times 100$ | TRi: Tasa de recuperación del residuo i. m: Número de residuos. |
| Margen de recuperación del valor (MRV). | $MRV = \frac{V_f}{V_o} \times 100$ | V _o : Valor comercial base consolidado. V _f : Valor final de venta consolidado. |

A.3 ANEXO 3: CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.

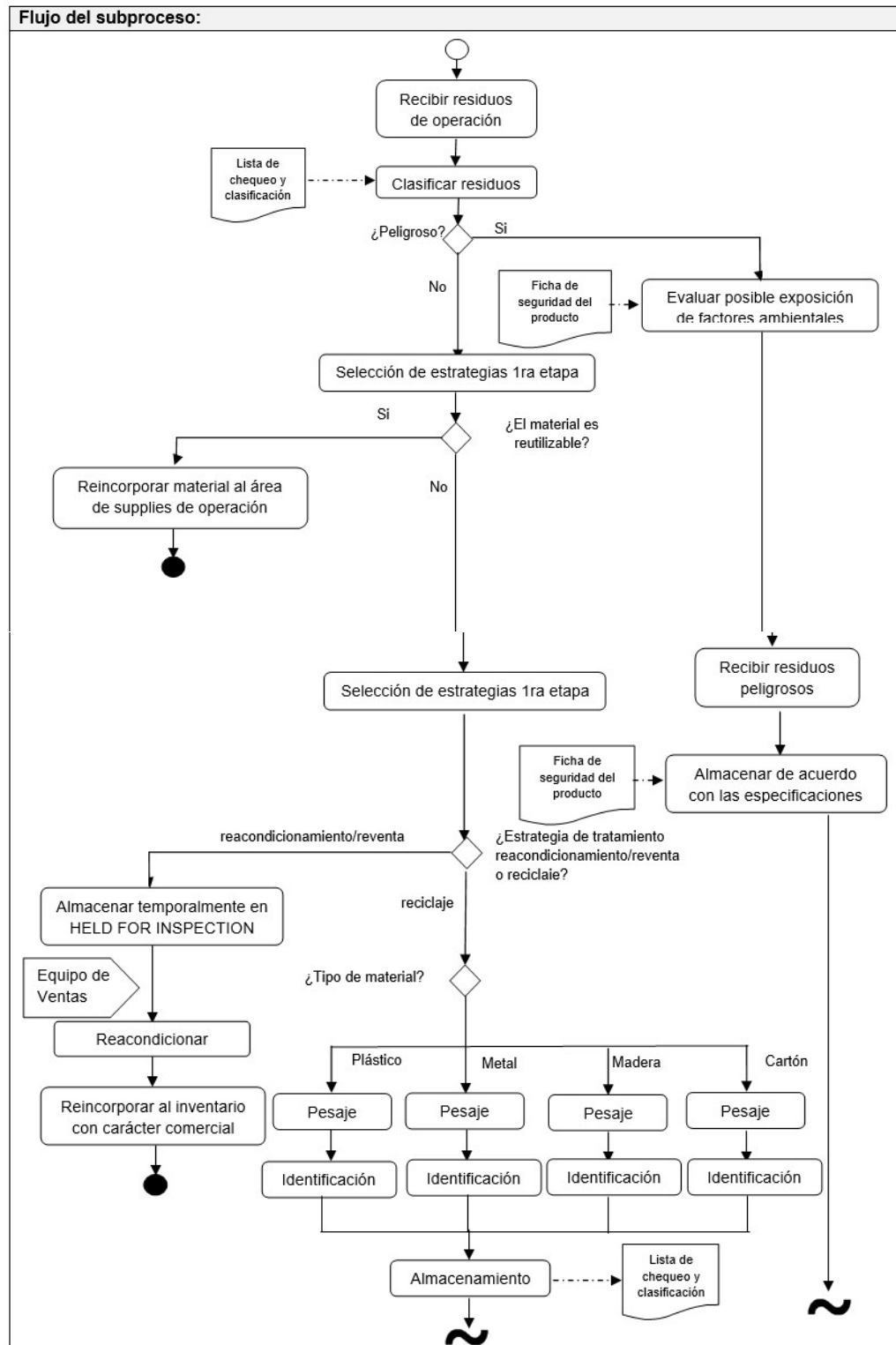
| Residuo | Origen | Características Físico-químicas | Peligrosidad | Posible tratamiento | Flujos temáticos |
|------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Sucursal | | | | | |
| Cajas 0153 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas Body Guard | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas MCR | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas Varias | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Material de oficina | Residuo de oficina | Residuos sólidos | No peligroso | Residuos del proceso productivo | - |
| Bolsas de Nylon | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Papel retráctil grande | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |

| | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Papel retráctil pequeño | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Material desti- nado a SCRAP | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/7 Reutilizable | Residuos de envase y embalaje |
| Tarimas | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cliente | | | | | |
| Cajas 0150 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas 0151 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas 0152 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas 0153 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |
| Cajas 0199 | Residuo industrial | Residuos sólidos | No peligro- so | Reutilizable/reciclable | Residuos de envase y embalaje |

| | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|------------------|--------------|---|---|
| Guantes (tela) | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligroso | Vertido | Asimilables a residuos sólidos urbanos o industriales |
| Mangas (tela) | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligroso | Vertido | Asimilables a residuos sólidos urbanos o industriales |
| Guantes (nitrilo) | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligroso | Vertido | Asimilables a residuos sólidos urbanos o industriales |
| Envases de plástico | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable (previa segregación) | Residuos de envase y embalaje |
| Envases de aerosoles (aluminio) | Residuo comercial | Residuos sólidos | No peligroso | Reciclable (despresurización y segregación) | Residuos de envase y embalaje |

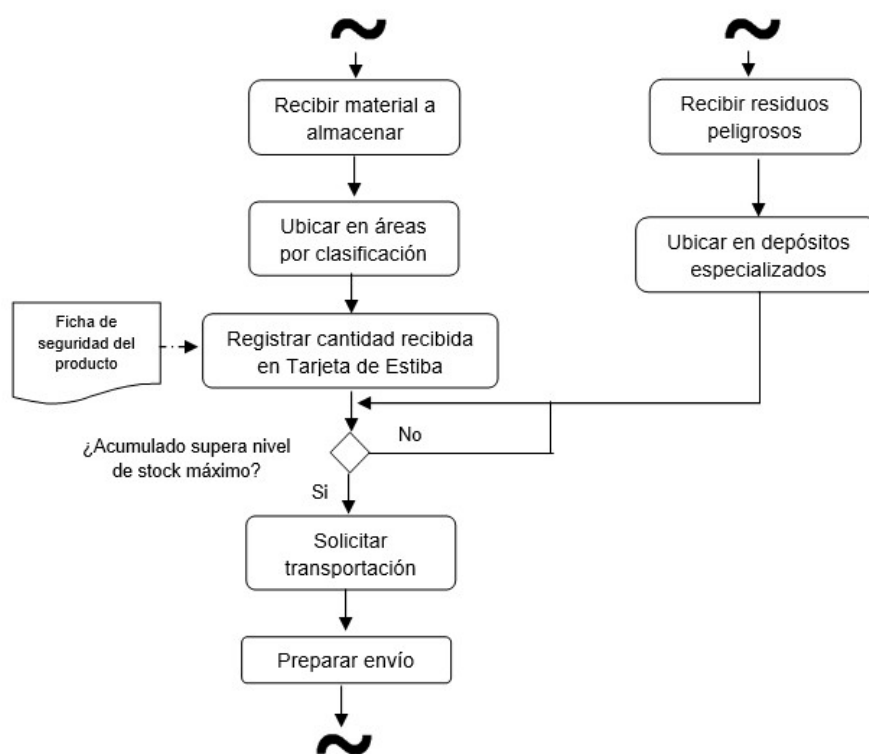
A.4 ANEXO 4: FICHAS DE PROCESO.

| FICHA DEL PROCESO LOGÍSTICA INVERSA | |
|--|--|
| SUBPROCESO: Clasificación y Tratamiento. | RESPONSABLE SUBPROCESO: Gerente de Sucursal. |
| OBJETIVOS: <ul style="list-style-type: none"> • Separar los diferentes residuos que serán recuperados, reutilizados, reciclados, reacondicionados o desechos • Identificar los residuos peligrosos y no peligrosos. | |
| ALCANCE: Operación en Sucursal y servicio al cliente. | |
| ENTRADAS: Material de desecho de la operación sin estrategia de deposición. | RESPONSABLE: Líder de almacén. |
| PROVEEDORES: Área de recibo, recolección, empaque y entrega. | |
| SALIDAS: Residuos con estrategia de deposición final. | RESPONSABLE: Gerente de Operaciones de la Sucursal. |
| CLIENTES: Área de almacén. | |
| COMPETENCIAS: Conocimientos de clasificación según tipo de material, capacidad de decisión efectiva, habilidades en el manejo de desechos, conocimientos sobre tipos de tratamiento de residuos y conocimientos sobre evaluación costo-beneficio. | |

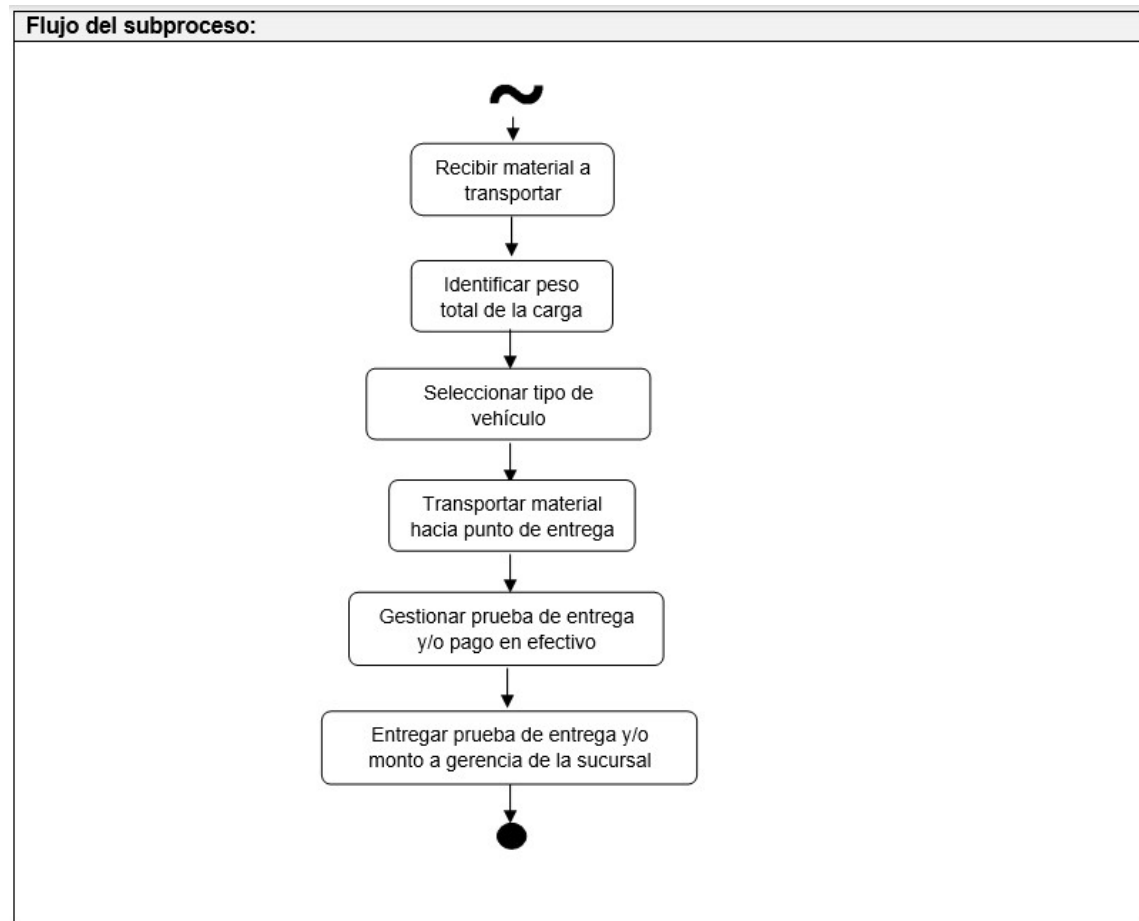


| | |
|--|--|
| SUBPROCESO: Almacenamiento | RESPONSABLE SUBPROCESO: Gerente de Sucursal. |
| OBJETIVOS: <ul style="list-style-type: none">• Almacenar el residuo hasta su transporte para la disposición final. | |
| ALCANCE: Operación en Sucursal. | |
| ENTRADAS: Residuos con estrategia para almacenar | RESPONSABLE: Líder de almacén. |
| PROVEEDORES: Área de clasificación. | |
| SALIDAS: Residuo para transportar | RESPONSABLE: Gerente de Operaciones de la Sucursal. |
| CLIENTES: Área de tratamiento. | |
| COMPETENCIAS: Conocimientos de clasificación según tipo de material, capacidad de decisión efectiva, habilidades en el manejo de desechos, conocimientos sobre tipos de tratamiento de residuos. | |
| Nota: Para los materiales que se defina su estrategia de tratamiento como restauración y/o reventa, se debe tramitar el pedido de ayuda al equipo de ventas, para identificar proveedor de servicio de reparación y seguimiento a dicha actividad. Posteriormente, el equipo de venta continuar el proceso de reventa para determinar el mercado objetivo y prospección del material. | |

Flujo del subproceso:



| | |
|--|--|
| SUBPROCESO: Transportación. | RESPONSABLE SUBPROCESO: Gerente de Sucursal. |
| OBJETIVOS: <ul style="list-style-type: none"> • Transportar los residuos hacia destino final. • Gestionar prueba de entrega y/o pago en efectivo por carga entregada. | |
| ALCANCE: Operación en Sucursal y Empresa recicladora. | |
| ENTRADAS: Residuos para transportar | RESPONSABLE: Gerente de Operaciones de la Sucursal. |
| PROVEEDORES: Área de clasificación. | |
| ALIDAS: Residuo entregado y constancia de pago. | RESPONSABLE: Gerente de Operaciones de la Sucursal. |
| CLIENTES: Empresa recicladora (externo) y Gerencia de la sucursal. | |
| COMPETENCIAS: Conocimientos de clasificación según tipo de material, capacidad de decisión efectiva, habilidades en el manejo de desechos, conocimientos sobre tipos de tratamiento de residuos. | |
| NOTA: Una vez entregado el saldo recaudado a la gerencia, este se debe ingresar a caja chica en caso de efectivo y en caso de depósito, identificar la cuenta de ingreso. En ambos casos se notifica al departamento de finanzas, el monto y la fuente de ingresos para que se refleje la entrada en los saldos contables de la sucursal. | |



Referencias:

| | | |
|---------------------|--|--------------------|
| FP: XX-XX-XX | Fecha de Entrada en Vigor: 00-00-00 | Edición: 01 |
| Realizado: | Revisado: | Aprobado: |

A.5 ANEXO 5: REDES PETRI DEL PROCESO DE LI.

Transiciones

SUBPROCESO 1: Clasificación y Tratamiento

T1: Recibir residuos de operación

T2: Clasificar residuos

T3: Evaluar exposición a factores ambientales

T4: Consultar ficha de seguridad

T5: Evaluar reutilización

T6: Reincorporar a operación

T7: Seleccionar estrategia (reacondicionar / reciclar)

T8: Almacenar temporalmente

T9: Reacondicionar material

T10: Pesaje por tipo de material

T11: Reincorporar al inventario

SUBPROCESO 2: Almacenamiento

T12: Recibir material a almacenar

T13: Ubicar por clasificación

T14: Registrar en tarjeta de estiba

T15: Verificar stock máximo

T16: Solicitar transportación

SUBPROCESO 3: Transportación

T17: Recibir para transporte

T18: Pesar carga total

T19: Seleccionar vehículo

T20: Transportar

T21: Gestionar prueba de entrega/pago

T22: Entregar prueba/monto a gerencia

Plazas*SUBPROCESO 1: Clasificación y Tratamiento*

P0: Inicio

P1: Residuos recibidos

P2: Residuos clasificados

P3: Evaluación ambiental

P4: Ficha de seguridad disponible

P5: ¿Reutilizable?

P6: Reincorporado a supplies

P7: Estrategia definida

P8: Almacenado temporalmente

P9: Reacondicionado

P10: Material pesado

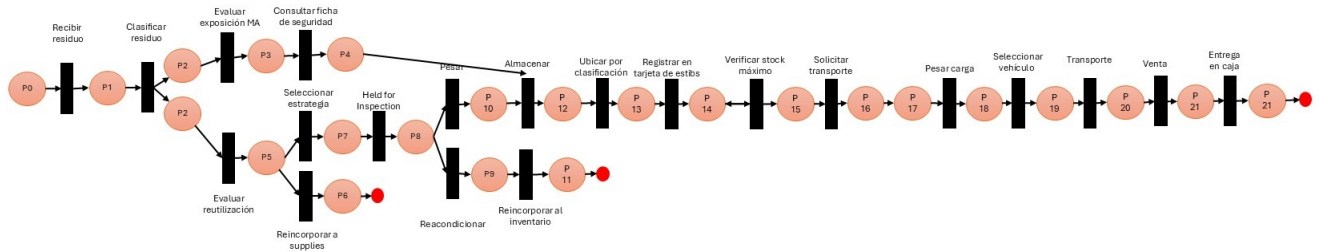


FIGURA A.1: Red Petri de los subprocesos de LI diseñados.

P11: Reincorporado comercialmente

SUBPROCESO 2: Almacenamiento

P12: Material a almacenar

P13: Ubicado

P14: Registrado en tarjeta de estiba

P15: ¿Supera stock máximo?

P16: Solicitud de transporte

P17: Material para transporte

SUBPROCESO 3: Transportación

P18: Carga pesada

P19: Vehículo seleccionado

P20: Material en entrega

P21: Prueba/pago gestionado

P22: Entregado a gerencia

A.6 ANEXO 6: ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO.

| Categoría de Costo | Descripción | Costo Estimado | Frecuencia | Total Anual |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| Inversión inicial | Maquinaria, software, etc. | 0 | Una vez | 16176 |
| Costos operativos | Mano de obra, energía, etc. | 30400 | Mensual | 364800 |
| Costos logísticos adicionales | Transporte | 600 | Mensual | 7200 |
| Costos de capacitación | Entrenamiento de personal | 1896 | Una vez | 1896 |
| Costos administrativos | Gestión, supervisión, etc. | 158 | Mensual | 45504 |
| Mantenimiento y soporte | Equipos, sistemas | 63700 | Una vez | 82400 |
| Total de Costos | | | | 517976 |

TABLA A.4: Tabla de Costos Anuales.

| Categoría de Beneficio | Descripción | Beneficio Estimado | Frecuencia | Total Anual |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|
| Recuperación de materiales | Reutilización, reciclaje | 3400 | Mensual | 40800 |
| Reducción de costos de disposición | Evita pago por manejo de residuos | 65349.74 | Mensual | 784196.88 |
| Mejora de imagen empresarial | Valor intangible | 0 | Anual | 0 |
| Ingresos por ventas de residuos | Venta de materiales recuperados | 4000 | Mensual | 48000 |
| Ahorro por uso de componentes | Reutilización en producción | 412 | Mensual | 4944 |
| Subvenciones o incentivos | Gubernamentales | 0 | Anual | 0 |
| Total de Beneficios | | | | 877940.88 |

TABLA A.5: Tabla de Beneficios Estimados Anuales.

| Indicador | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Total de costos anuales | 517976 |
| Total de beneficios anuales | 877941 |
| Balance neto (Beneficios - Costos) | 359965 |
| Tasa de retorno (ROI) | 69 % |

TABLA A.6: Indicadores financieros.

A.7 ANEXO 7: CUADRO DE INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI).

| Perspectiva | Objetivo Estratégico | Indicadores Clave (KPI) | Meta sugerida |
|----------------------------------|--|---|--------------------------------|
| Financiera | Maximizar el margen de recuperación del valor (MRV) | Valor final de venta consolidado vs. Valor comercial base consolidado. | $\geq 30 \%$ (óptimo: 70 %) |
| | Mejorar rentabilidad de productos reacondicionados | Margen de ganancia neto por unidad reacondicionada | $\geq 20 \%$ |
| Clientes | Incrementar la percepción del NS de la LI en la empresa | Índice de percepción del Nivel de Servicio (Encuesta de evaluación del NS) | ≥ 4.5 |
| Procesos Internos | Aumentar la tasa de recuperación por tipo de residuo (TRi) | Volúmenes recuperados del residuo i vs. volúmenes potenciales generados de residuo i | $\geq 95 \%$ |
| | Aumentar la tasa de recuperación a nivel de instalación (TRNI) | Tasa de recuperación del residuo i vs. número de residuos con potencial de recuperación | $\geq 90 \%$ |
| | Aumentar reutilización y reventa | % de productos recuperados para reutilización y reventa | $\geq 60 \%$ |
| Aprendizaje y Crecimiento | Fortalecer capacidades del personal en procesos inversos | % de personal capacitado en gestión de logística inversa | 100 % |
| | Promover la innovación en reutilización y rediseño | Nº de mejoras implementadas en procesos de logística inversa al año | ≥ 3 mejoras/año |

TABLA A.7: Cuadro de Indicadores Clave de Desempeño (KPI).

A.8 ANEXO 8: PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA LI.

| Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Responsable |
|---|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Preparación | 5 días | lun 25/08/25 | vie 29/08/25 | |
| Presentación de proyecto al equipo directivo | 1 día | lun 25/08/25 | lun 25/08/25 | Facilitador |
| Presentación de proyecto al equipo operativo | 1 día | mar 26/08/25 | mar 26/08/25 | Facilitador |
| Capacitación del personal | 2 días | mié 27/08/25 | jue 28/08/25 | Facilitador |
| Evaluar la perspectiva formación y aprendizaje del CMILI | 1 día | vie 29/08/25 | vie 29/08/25 | Facilitador |
| Organización de los subprocesos de LI | 29 días | mar 26/08/25 | vie 03/10/25 | |
| Incluir en la documentación de la sucursal las Fichas de proceso diseñadas | 1 día | mar 26/08/25 | mar 26/08/25 | Gerente de sucursal |
| Incorporar las métricas del CMILI a los indicadores de la sucursal | 1 día | mié 27/08/25 | mié 27/08/25 | Gerente de sucursal |
| Disponer recursos para el desarrollo de los nuevos subprocesos | 4 días | mar 26/08/25 | vie 29/08/25 | Gerente de sucursal |
| Implementación de registros diseñados | 4 días | mar 26/08/25 | vie 29/08/25 | Líder de almacén |
| Habilitación de las áreas de clasificación y almacenaje | 2 días | lun 01/09/25 | mar 02/09/25 | Líder de almacén |
| Establecer los ciclos logísticos inversos determinados | 1 día | mié 03/09/25 | mié 03/09/25 | Gerente de sucursal |
| Implementación de subprocesos de la LI | 23 días | mié 03/09/25 | vie 03/10/25 | Líder de almacén |
| Feedback con el equipo de trabajo | 1 día | lun 15/09/25 | lun 15/09/25 | Gerente de sucursal |
| Análisis de los indicadores definidos en el CMILI | 20 días | lun 06/10/25 | vie 31/10/25 | |
| Evaluación de los indicadores del CMILI | 1 día | lun 06/10/25 | lun 06/10/25 | Gerente de sucursal |
| Feedback con el equipo directivo y operativo | 1 día | mar 07/10/25 | mar 07/10/25 | Gerente de sucursal |
| Aplicación de medidas correctivas y preventivas en caso de existir desviaciones | 18 días | mié 08/10/25 | vie 31/10/25 | Líder de almacén |

BIBLIOGRAFÍA

- 8407:2021, I. (2021), «Corrosion of metals and alloys — Removal of corrosion products from corrosion test specimens», .
- ACLIMA, B. (2020), «La importancia de la logística inversa para la Economía Circular - Aclima», *AClima*.
- APRENDELOGÍSTICA.COM (2023), «DESCUBRE 5 EJEMPLOS de LOGÍSTICA INVERSA en EMPRESAS», .
- ATASU, A., V. D. R. GUIDE y L. N. V. WASSENHOVE (2008), «Product reuse economics in closed-loop supply chain research», *Production and Operations Management*, **17**.
- AZIZ, H. A., S. F. RAMLI y Y. T. HUNG (2023), «Physicochemical Technique in Municipal Solid Waste (MSW) Landfill Leachate Remediation: A Review», .
- BARNEY, J. (1991), «Firm Resources and Sustained Competitive Advantage», *Journal of Management*, **17**.
- BATISTA, L. V. (2016), «Procedimiento para el diseño de la Logística Inversa en la fábrica de cigarros Lázaro Peña de Holguín», , págs. 1–122.
- BAUFEST (2023), «.....Tendencias en logística inversa en 2023 Baufest», .
- BENSALEM, A. y V. KIN (2019), «A bibliometric analysis of reverse logistics from 1992 to 2017», *Supply Chain Forum*, **20**.

- BEREDUGO, M. (2024), «Sustainable logistic», URL <https://www.researchgate.net/publication/377384699>.
- BETANCUR, L. A., L. D. R. LADINO y E. F. S. ÁLVAREZ (2019), «DISEÑO DE UN MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA EMPRESAS DEL SECTOR INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PEREIRA, RISARALDA», .
- CAMPAÑA, M. P. (2005), «Contribución al control de gestión en elementos de la cadena de suministro. Modelo y procedimientos para organizaciones comercializadoras», *Ingeniería Industrial. Santa Clara, Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas*.
- CASTRO, R. C. y M. AUXILIADORA-AMADOR (2003), «Administración de la Cadena de Suministro», *Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras. UNITEC. Tegucigalpa*.
- CHRISTOPER, M. (1999), «Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service (Second Edition)», *International Journal of Logistics Research and Applications*, **2**.
- DEKKER, R., K. MINDERFURTH y L. WASSENHOVE (2004), *Reverse Logistics*, Springer Berlin Heidelberg, URL <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-24803-3>.
- ESAN, C. (2021), «Beneficios de la logística inversa en la gestión de proyectos de una empresa.», .
- FONTANA, M. G. (1986), «Corrosion engineering. Third edition.», .
- G1-03, A. (2017), «Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.», *ASTM Special Technical Publication*.
- GALIANA, J. M. (2024), «¿Qué es la Logística? Definición, Componentes y su Rol en la Cadena de Suministro», .

- GOVINDAN, K., H. SOLEIMANI y D. KANNAN (2015), «Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future», .
- GRABARA, J., M. MAN y M. KOLCUN (2014), «The Benefits of Reverse Logistics», *International Letters of Social and Humanistic Sciences*, **26**, págs. 138–147.
- GUIDE, V. D. R. y L. N. V. WASSENHOVE (2009), «The evolution of closed-loop supply chain research», *Operations Research*, **57**.
- KRIKKE, H. (2011), «Impact of closed-loop network configurations on carbon footprints: A case study in copiers», *Resources, Conservation and Recycling*, **55**.
- LACOBÁ, S. R. (2003), «EL SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA EMPRESA: ANÁLISIS Y APLICACIONES», , págs. 1–289 URL <http://www.pcid.es/public.htm>.
- LAGUNAS, C. A. G. (2024), «Aplicación de logística inversa para el aprovechamiento de materiales reciclados», , págs. 1–132.
- LANIER, F. H. (2008), *Metodología de diseño de la Cadena de Suministros Inversa. Un acontribución a la Logística Reversa.*, Tesis Doctoral.
- LÓPEZ, A. L. I. (2013), «Logística Inversa (I)», .
- MELO, M. F. (2024), «El mundo está inundado de residuos plásticos.», *Statista*.
- MENG, A., Y. LONG, Q. LI y Y. Z. H. ZHOU (2014), «Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics», .
- MENTZER, J. T., W. DEWITT, J. S. KEEBLER, S. MIN, N. W. NIX, C. D. SMITH y Z. G. ZACHARIA (2001), «DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT», *Journal of Business Logistics*, **22**.
- NANAYAKKARA, P. R., M. M. JAYALATH, A. THIBBOTUWAWA y H. N. PERERA (2022), «A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns», *Cleaner Logistics and Supply Chain*, **5**.

NIETO, D. C. (2012), *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*, Marge Books.

ONU, O. D. L. N. U. (2016), «Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe», .

ORDAZ, D. I. S., O. P. DÍAZ, F. H. LANIER, A. E. CUJAE y C. DE LA HABANA-CUBA PROFESOR AUXILIAR CORREO (2014), «Modelo de referencia de la logística inversa en la cadena de refrescos», .

PARADA, J. L. (2010), «Incorporación de la Logística Inversa en la Cadena de Suministros y su influencia en la estructura organizativa de las empresas», URL www.tesisenxarxa.net.

RAJPUT, S. y S. P. SINGH (2019), «Connecting circular economy and industry 4.0», *International Journal of Information Management*, **49**.

REN, R., W. HU, J. DONG, B. SUN, Y. CHEN y Z. CHEN (2020), «A systematic literature review of green and sustainable logistics: Bibliometric analysis, research trend and knowledge taxonomy», .

REQUENA, S. M. (2021), «Determinantes económicos de los tiraderos clandestinos: efectos heterogéneos de la recolección de residuos», URL <http://hdl.handle.net/11651/4730>.

REVIE, R. W. y H. H. UHLIG (2008), *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition*.

RODRÍGUEZ, H. M. (1997), *Modelo para el diseño o mejoramiento del Sistema de Reciclaje de residuos de envases en zonas turísticas*, Tesis Doctoral.

RODRÍGUEZ, J. (2023), «Top 10 Las mejores soluciones para gestionar tu logística inversa en México (2023) - Marketing4eCommerce México», *Marketing4eCommerce*, URL <https://marketing4ecommerce.mx/top-10-las-mejores-soluciones-para-gestionar-tu-logistica-inversa-en-mexico-2023>

- ROGERS, D. S. y R. S. TIBBEN-LEMBKE (1999), «Going backwards: reverse logistics trends and practices. Reverse Logistics Executive Council Pittsburgh», *ittsburgh, PA, USA: Reverse Logistics Executive Council*.
- ROGERS, D. S. y R. S. TIBBEN-LEMBKE (2011), «Reverse Logistics Trends and Practices», *Logistics Management*.
- RUBIO, S. y B. JIMÉNEZ-PARRA (2014), «Reverse Logistics: Overview and Challenges for Supply Chain Management», *International Journal of Engineering Business Management*, **6**.
- SARKIS, J. (2003), «A strategic decision framework for green supply chain management», *Journal of Cleaner Production*, **11**.
- SARMIENTO, D. F. V. (2022), «METODOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR Y LOGÍSTICA INVERSA EN EL ALGODÓN PARA LA INDUSTRIA TEXTIL EN», .
- SHEYKIN, H. (2025), «Cómo aprovechar los beneficios de un modelo de negocio basado en servicios», *FINMODELSLAB*.
- SRIVASTAVA, S. K. (2007), «Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review», .
- SUPPLIER, P. L. S. (2023), «Logística inversa factores y estadísticas para 2023 4pl», *4PL*.
- SUÁREZ, A., J. A. M. I. G. ACOSTA y D. I. I. M. G. A. I. J. A. A. SUÁREZ (2001), «LA LOGÍSTICA MODERNA Y LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL», .
- TOKTAY, L. B., E. A. VAN DER LAAN y M. P. DE BRITO (2004), *Managing Product Returns: The Role of Forecasting*.

- TORRES ARGÜELLES, P., V. HERNÁNDEZ GÓMEZ, A. NORIEGA MORALES y S. ORTEGA RIOSVELASCO (2019), «NECESIDADES DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA LOGÍSTICA TRADICIONAL A LA LOGÍSTICA SUSTENTABLE DENTRO DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES», , págs. 1–5.
- UNIÓN, C. D. D. D. H. C. D. L. (2021), «Ley General Para La Prevención Y Gestión Integral De Los Residuos (LGPGIR)», *Última reforma publicada DOF 18-01-2021*.
- VARSHNEY, R., P. SINGH y D. YADAV (2021), *Hazardous wastes treatment, storage, and disposal facilities*.
- VEGA DE LA CRUZ, L. O. (2014), *Procedimiento para la modelación multicriterio de los recursos más representativos en los sistemas logísticos.*, Tesis Doctoral.
- VIDALES, K. B. V. y N. L. V. GARCÍA (2021), «LA LOGÍSTICA SUSTENTABLE EN LOS PUERTOS MARÍTIMOS: CASO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS», **68**.
- VITASEK, K. (2013), «Supply chain management: Terms and Glossary», *Healthcare informatics : the business magazine for information and communication systems*, **17**.
- WALSH, M., S. CORMIER, K. VARNER y B. DELLINGER (2010), «By-products of the Thermal Treatment of Hazardous Waste: Formation and Health Effects.», *EM (Pittsburgh, Pa.)*.
- WANG, Y., H. ZHAO, X. WANG, J. CHONG, X. HUO, M. GUO y M. ZHANG (2024), «Transformation and Detoxification of Typical Metallurgical Hazardous Waste into a Resource: A Review of the Development of Harmless Treatment and Utilization in China», .
- WARDANI, S. A., N. U. HANDAYANI y M. A. WIBOWO (2022), «Barriers for Implementing Reverse Logistics in the Construction Sectors», *Journal of Industrial Engineering and Management*, **15**.

WLAMYR, P.-A., D. PEREZ, M. VLADIMIR, A. JUNIOR y F. DE PAULA SANTANDER (2022), «Impact Of Reverse Logistics On Organizations», URL www.jlls.org.

WYCKOFF, D. D. y R. H. BALLOU (1973), «Business Logistics Management», *Journal of Marketing*, **37**.

ZAGURY, J. (2020), «UNA VISIÓN GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN NUESTRO PLANETA», .

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Yasiel Hernández Suárez

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

IMPACTO DE LA INTEGRACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA EN LA
CADENA DE SUMINISTRO DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA
DE PRODUCTOS INDUSTRIALES.

Yasiel Hernández Suárez, nacido el 14 de marzo de 1993 en La Habana, Cuba. Sus padres son Julia Suárez Martín y Felipe Hernández Ledesma. Realizó sus estudios de ingeniería en la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE), titulándose como Ingeniero Industrial en el año 2017. Ha formado su experiencia en áreas de producción y tecnología de medicamentos farmacéuticos, proyectos e inversiones, seguridad y salud en el trabajo, logística y operaciones.