

# Sistema de logística inversa para el desarrollo sostenible de un astillero

---

## Reverse logistics system for the sustainable development of a shipyard

Martín Darío Arango-Serna <sup>1</sup>, Jairo Alberto Valencia-Salazar <sup>2</sup>, Silvana Ruiz-Moreno <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación I+D+I Logística Industrial Organizacional (GICO), Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Orcid: 0000-0001-8448-8231. Correo electrónico: mdarango@unal.edu.co

<sup>2</sup> Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Colombia. correo electrónico: jvalen50@gmail.com

<sup>3</sup> Grupo de Investigación en Modelamiento y Simulación Computacional (GIMSC), Universidad de San Buenaventura, Colombia. Correo electrónico: siruizmo@unal.edu.co

Recibido: 14 noviembre, 2019. Aceptado: 31 enero, 2020. Versión final: 18 marzo, 2020.

### Resumen

Con el advenimiento de mercados globalizados donde aumentan los desperdicios derivados de procesos productivos y ante la evidente necesidad de adoptar medidas que disminuyan los impactos negativos asociados a su disposición final, la formulación de sistemas de logística inversa a medida de las empresas que permitan realizar una disposición responsable de los residuos maximizando la obtención de valor de estos ha sido objeto de estudio en los últimos años. El objetivo de este artículo es proponer un Sistema de Logística Inversa para un astillero que se enfoque en los residuos derivados de las operaciones de mantenimiento realizadas a embarcaciones bajo un enfoque sostenible. La metodología se basó en un análisis de la literatura científica en términos de logística inversa y sostenibilidad, al igual que la caracterización de los procesos en las instalaciones del astillero, desarrollando estrategias que soporten la implementación del sistema propuesto e indicadores que controlen su futura implementación.

**Palabras clave:** cadena de suministro; disposición de residuos; logística inversa; residuos navales; sostenibilidad.

### Abstract

Due to the globalized markets that implies the increase of waste derived from productive processes and the need to take actions in order to reduce the negative impacts associated with their final disposal; the reverse logistics systems development for companies focused on the responsible disposal maximizing the obtained value is been a study problem during the last years. This article aims to propose a reverse logistics system for a shipyard, this system focuses on the materials generated by the maintenance operations made to ships in the slipway considering the sustainable development of the company. The methodology is based on a scientific literature analysis of reverse logistics systems, sustainability and the characterization of the shipyard processes and facilities. This allows to develop strategies for the system implementation and indicators to control his performance.

**Keywords:** naval waste; reverse logistics; supply chain; sustainability; waste disposal.

### 1. Introducción

Los retos y el dinamismo de los mercados globales actuales a los que se enfrentan las empresas han incluido

la conservación ambiental y el desarrollo sostenible como temas prioritarios de análisis organizacional [1], generando un interés en la implementación de procesos eficaces orientados a dar solución a estos dos ejes [2].

Para lograrlo, se han debido asumir estrategias enfocadas en la obtención de ventajas competitivas amigables con el medio ambiente, presentándose así la logística inversa como una solución que integra ambas necesidades al obtener valor de la creación de procesos que modifican un producto ya usado, mejorándolo, recicándolo o dándole una disposición final adecuada [3]–[5].

El concepto de logística enmarcado desde un enfoque tradicional, solo busca suplir la entrega de materiales a los clientes en un tiempo prudencial, enfocándose principalmente en el transporte de bienes desde el productor hacia el consumidor final [6], dado que se consideró en sus inicios como un flujo unidireccional; sin embargo, dadas las exigencias marcadas por un comercio moderno global con preocupaciones medioambientales, no solo basta con satisfacer la entrega oportuna de materiales a los consumidores, sino también integrar requerimientos ambientales y empresariales complejos [7], donde las empresas puedan verse beneficiadas con la reducción de gastos y el medio ambiente sea protegido de la explotación, lo anterior ha hecho de la logística inversa necesaria para responder a estas necesidades [2].

El diseño del Sistema de Logística Inversa propuesto se basó en la necesidad de obtener valor adicional de las actividades que se ejecutan en las instalaciones del astillero, permitiendo la obtención de beneficios económicos en el corto y largo plazo, ya que este sistema permitiría introducir la sostenibilidad a los procesos productivos realizados en la sede, extendiendo su impacto al sistema de gestión de calidad de la institución.

Este artículo presenta como principal contribución una propuesta original de un Sistema de Logística Inversa para los astilleros, considerando su pertinencia en las actividades de mantenimiento y reparación de embarcaciones son las que más residuos generan tomando en consideración las actividades desarrolladas en la sede Varadero de la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (Cotecmar).

La estructura del presente artículo se basa en una búsqueda sistemática en literatura científica que consideró la logística inversa y su relación con la sostenibilidad, lo que permitió establecer características base del Sistema de Logística Inversa. Posteriormente, se analizaron los procesos logísticos al interior del astillero y se procedió a diseñar el Sistema de Logística Inversa presentado acompañado de estrategias que apoyan su implementación y una propuesta de posibles medidas de desempeño para controlar y garantizar un adecuado funcionamiento del sistema. Finalmente, se presentan recomendaciones para su posible implementación.

## 2. Materiales y métodos

Uno de los primeros acercamientos al análisis de la logística inversa que puede ser encontrada en la literatura se encuentra en [8], donde se presenta un análisis del flujo de bienes contrario al establecido tradicionalmente; posteriormente en los años 90, en [9] presentan como definición de logística inversa la planteada por el consejo de administración logística (Council of Logistics Management), ahora llamado Consejo de profesionales en administración de la cadena de suministro (Council of Supply Chain Management Professionals), siendo esta definición: "... el proceso de planificación, ejecución y control de forma rentable de materias primas, inventario en proceso, bienes terminados y la información correspondiente desde el punto de consumo al de origen con el propósito de recapturar valor o dar una disposición final adecuada". En esta definición, es posible encontrar dos conceptos en los que la mayor parte de los sistemas de logística inversa se centran aún hoy: la obtención de valor agregado de los materiales que regresan del punto de consumo; y su disposición adecuada. Si bien esta definición se ha ampliado en [10] y [11] donde incluyen los retornos al interior de las empresas como factores que deben analizarse desde la logística inversa, en [12] se resalta la definición presentada por el consejo de logística inversa como la más acertada: "proceso de planificación, ejecución y control eficiente y rentable del flujo de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar valor o realizar una correcta eliminación". Estas definiciones permiten visualizar el alcance de un Sistema de Logística Inversa, sin embargo, se hace necesario definir una metodología clara que permita diseñarlo teniendo en consideración las características de los astilleros.

## 3. Metodología

Con el ánimo de garantizar un diseño robusto que represente la operación real de un astillero, se formula el marco metodológico ilustrado en la Figura 1, este consta de 8 pasos para la construcción del Sistema de Logística Inversa.

La etapa de *revisión bibliográfica* permite identificar fuentes secundarias de información como documentos académicos, artículos, tesis de pregrado y posgrado, e investigaciones en logística inversa; el análisis de esta información es la base para identificar los componentes que debe tener un SLI, caracterizar los flujos de materiales e información y cómo desde el ámbito académico se está abordando la implementación de la

logística inversa en las organizaciones en pro del desarrollo sostenible.

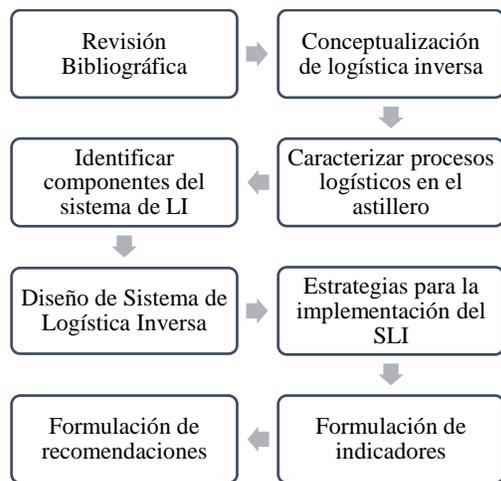


Figura 1. Metodología para diseñar el sistema de logística inversa. Fuente: elaboración propia.

Este análisis permite *conceptualizar la logística inversa* por medio de la identificación de las características de las redes de logística inversa y las recomendaciones que otros autores han realizado en el área para el diseño e implementación de SLI, haciendo posible identificar qué información se requiere para la *caracterización de los procesos logísticos* en un astillero, información obtenida a través de entrevistas y revisión de documentos propios de la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR, permitiéndose la identificación clara de las necesidades y *componentes que el Sistema* debe considerar. El análisis de información hasta este punto permite proponer *el Sistema de Logística Inversa* de tal forma que contemple las recomendaciones identificadas en la literatura científica, los procesos logísticos al interior de la institución y los componentes clave para un sistema de logística inversa exitoso. Esta propuesta está acompañada de algunas *estrategias para la implementación del SLI* que aportan a la sostenibilidad de la empresa.

En cuanto a la *formulación de indicadores* para la trazabilidad y control del SLI en caso de ser implementado, se propone la consideración de indicadores de tiempo y costos que se asocien al SLI. Finalmente, se presentan algunas *recomendaciones* que facilitan la exitosa implementación de sistemas de logística inversa.

## 4. Resultados y análisis

A partir del seguimiento de la metodología, se logra obtener un SLI que considera las características logísticas de los astilleros e incorpora la sostenibilidad a la empresa, los resultados obtenidos en cada fase metodológica se describen a continuación.

### 4.1. Revisión de la literatura científica

Desde la revisión de la literatura, es posible identificar los avances que se han realizado en el desarrollo de SLI y las metodologías que se han adoptado para implementarlos. A continuación, se describen las características más relevantes en la evolución de la logística inversa y en cómo se integra el desarrollo sostenible en organizaciones.

#### 4.1.1. Conceptualización de la logística inversa

La implementación de Sistemas de Logística Inversa permite la obtención de ventajas competitivas por lo que desde la academia y la industria se han formulado diversos modelos que buscan la integración de la logística inversa con la cadena de suministro tradicional [13]. En [14] indican la necesidad de implementar sistemas de información que integren los datos generados en la cadena de suministro y permita la generación de estrategias para la gestión de aprovisionamiento, transporte, distribución y retorno de bienes de forma eficiente; en [15] proponen el análisis de los flujos en el sistema logístico de la empresa considerando los flujos de información y materiales como un ciclo que constantemente retroalimenta la cadena de suministro, incluyendo además la toma de decisiones sobre la disposición final de los residuos y materiales retornados en el proceso. Más recientemente, en [16] presentan una propuesta con énfasis en los flujos físicos de materiales y productos para recuperación en función de su recolección, selección, procesamiento, actividades de recuperación del material como trozado y la distribución del material recuperado; bajo este mismo enfoque en [17] presentan la composición de una red de logística inversa con adopción de políticas empresariales para la inclusión de centros de inspección e incluso plantas de manufactura, contempla también la necesidad de centros de recolección e inspección; pero recomiendan la tercerización de procesos que recuperen valor a través de plantas externas de re manufactura y recuperación de valor cuando sea necesario.

La formulación de redes de logística inversa ha permitido identificar las motivaciones y posibles barreras para la implementación de un SLI; la Tabla 1 resume estos factores.

Tabla 1. motivos y barreras en la implementación de la logística inversa

Motivos	Barreras
Legislativos: En la región exigen la implementación de políticas de logística inversa	Actitud: La actitud de gerentes e incluso operarios puede representar una barrera en la adopción de un SLI
Financieros: Obtención de nuevas ganancias	Clientes: los clientes pueden preferir productos que provengan de materia prima nueva y no re manufacturada.
Mercadeo: Mejora la percepción de los clientes con una "imagen verde"	Falta de conocimiento: Aún hoy se aprecia falta de conocimiento de las ventajas de un SLI o cómo implementarlo
Costos de disposición: Es más económico implementar un SLI que el sistema de disposición convencional.	Expertos: los expertos en logística inversa no abundan.
Financiero-Legislativo: La región apoya la implementación de SLI con incentivos financieros.	Falta de capital: implementar un SLI puede representar en algunos sectores, invertir capital significativo.
Obtención de valor: La implementación de un SLI permite obtener nuevos productos o materia prima más económica para los procesos.	Temor: Esta barrera se refiere al temor de los gerentes y las empresas en general de adoptar SLI y que no aporten valor y sea un consumidor de recursos.
Calidad: Implementación de normas de calidad que requieren un SLI	Recursos humanos: Adoptar un SLI puede requerir contratación o capacitación de personal.

Fuente: adaptado de [2], [13], [18].

Una nueva motivación para adoptar SLI es la consecución del desarrollo sostenible y las ventajas competitivas que este trae consigo para las empresas, a continuación, se describen los resultados obtenidos desde la revisión de literatura científica en términos de la integración del desarrollo sostenible a la logística inversa.

#### 4.1.2. El desarrollo sostenible y la logística inversa

Para alcanzar el desarrollo sostenible, es necesario lograr un balance entre lo social, económico y ambiental como se muestra en la Figura 2. En [19] indican que la extensión de la cadena de suministro para incluir cuestiones como la reutilización, el reciclado y la renovación, añade un nivel adicional de complejidad al diseño de la cadena de suministro existente, además de un nuevo conjunto de potenciales problemas estratégicos y operativos, que a su vez puede aumentar los costos en el corto plazo; por lo que la obtención de la sostenibilidad solo se da mediante la inversión en términos de ofertas laborales que aporten al desarrollo de la sociedad alrededor de la empresa y procesos más amigables con el medio ambiente [20].

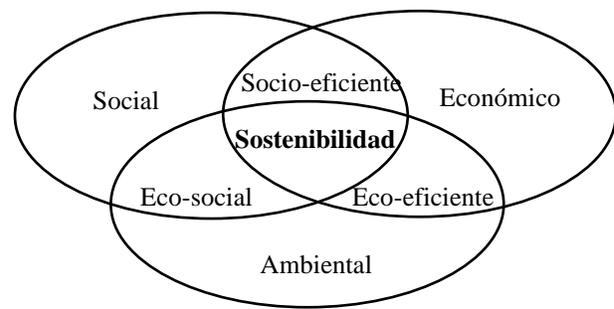


Figura 2. Integración de las tres esferas de la sostenibilidad. Fuente: adaptado de [21].

En relación con las tres esferas de la sostenibilidad; el ámbito social puede ser categorizado en cuatro áreas: equidad y seguridad brindada a recursos humanos; oportunidades de empleo; flexibilidad de la organización e investigación y desarrollo [22], [23]. Así, una empresa sostenible debe propiciar un ambiente laboral que permita al empleado desarrollarse profesional y personalmente; además de contribuir desde la investigación para el mejoramiento de la sociedad, y de ser posible, brindar oportunidades laborales propicien la empleabilidad de una región. En cuanto al factor ambiental, se incluyen la contaminación auditiva; las emisiones de gases contaminantes; la seguridad ambiental de las personas; flora y fauna del área geográfica donde se encuentra la empresa y la minimización de desperdicios que son incinerados o enviados a rellenos sanitarios [24]. Implementar medidas que se encaminen al mejoramiento de las condiciones sociales y ambientales, exige un esfuerzo financiero que va en contravía del tercer factor que lleva a la sostenibilidad: la economía de la empresa [25].

Si bien en el corto plazo se puede necesitar la inversión de dinero; en el mediano y largo plazo estas medidas pueden llevar a recuperar valor a través de los procesos sociales y ambientales instaurados [21]. Al analizar la sostenibilidad en redes logísticas, en [26] concluyen que el factor social involucra el recurso humano interno, población externa y la participación de partes interesadas a nivel social; mientras que el factor económico busca beneficios a través de la gestión de residuos, disminución del uso de recursos, mejor relación con proveedores y clientes; percibiendo beneficios económicos relativos a estas formas de recuperación. Finalmente, señalan que los factores ambientales se basan en beneficios derivados de una adecuada gestión de recogida y recuperación de productos usados. Según [27], el impacto de la logística inversa en la sostenibilidad empresarial ha sido medido a través de métodos cualitativos como el método Delphi, esto se debe a la dificultad de proponer medidas de desempeño que integren los tres niveles de la sostenibilidad.

#### 4.2. Procesos logísticos en el astillero

El astillero analizado perteneciente a la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial (COTECMAR), cuenta con un manual logístico donde se expone el compromiso económico y social para la ejecución de procesos eficientes. Igualmente, se destaca la necesidad de propender porque las actividades logísticas se puedan integrar con los demás sistemas de la corporación, haciendo un seguimiento a las tendencias tecnológicas y del mercado, dinamizando el proceso logístico a partir del análisis, adopción e implementación de las mejores prácticas a nivel mundial para la satisfacción de las necesidades corporativas.

La gestión de residuos del astillero se realiza en el centro de acopio temporal de la chatarra y de otros residuos, donde la operación y responsabilidad para manejo de materiales es del jefe de división varadero. En la Tabla 2 se presenta la caracterización de los materiales generados en esta división y la criticidad de su impacto.

Tabla 2. Impacto de residuos en las instalaciones de varadero

Proceso	Materia prima	Residuos generados	Impacto ambiental	Criticidad del impacto
Reparación de estructuras	Láminas	Retales y chatarra	Generación de residuos comunes	Medio
Elaboración de cunas de varadero	Madera	Madera contaminada	Generación de residuos peligrosos	Alto
Preparación de motores de sincroelevador	Aceites	Tambores contaminados	Generación de residuos peligrosos	Medio
	Grasa	Tambores Contaminados	Generación de residuos peligrosos	Medio
Limpieza en general	Wippers	Wippers contaminados	Generación de residuos peligrosos	Alto
	EPP	EPP Contaminados	Generación de residuos peligrosos	Alto

Fuente: [28].

#### 4.3. Componentes del sistema de logística inversa

Previamente a la creación de un sistema de logística inversa para una organización, este se debe soportar en redes diseñadas para dar un nuevo uso a los productos que ingresan al sistema [29]; tomando como referente los materiales fuera de uso generado en las actividades realizadas en el astillero, se propone para la organización en mención las siguientes redes de logística inversa que se basan en las propuestas en [30].

- Redes para el reciclaje. Las características principales de las redes de reciclaje son su descentralización y la necesidad que tienen de un gran volumen de materiales bajo la misma clasificación para lograr la rentabilidad. Estas consideraciones hacen que la implementación de redes de reciclaje en plantas de producción ya establecidas sean costosas por lo que la tercerización del servicio de reciclaje es una opción rentable para empresas que generan bajos volúmenes de productos o materiales de gran variedad [31].

- Redes para la re-fabricación de productos. Estas redes buscan adicionar o recuperar el valor de partes y componentes que no fueron usadas para su labor original o que se encuentran en un estado que no satisface las políticas de calidad de la empresa. A diferencia de las redes de reciclaje suelen ser más económicas ya que las empresas cuentan con la maquinaria e insumos requeridos para regresar el valor a los componentes que ingresan al sistema. En cuanto a las redes de productos reutilizables. Según [15] “En estos sistemas los productos recuperados se reintroducen en la cadena de suministro una vez realizadas las necesarias operaciones de limpieza y mantenimiento. Suelen ser estructuras descentralizadas por las que circulan simultáneamente productos originales y reutilizados”

Es posible encontrar estudios de configuración para sistemas de reciclaje; en [32] presentan una red de reciclaje basada en procesos de logística inversa en la ciudad de Kiteezi que incluye el procesamiento de residuos orgánicos, plásticos, papel, textil, vidrio, metales, entre otros. En el campo naval, en [33] presentan un estudio tecnológico y técnico del reciclaje de embarcaciones en Egipto.

En relación a las redes de re-fabricación de productos, en [34] hacen énfasis en la necesidad de decidir sobre la posibilidad de dar disposición final a los productos o materiales retornados o sobre su re-manufactura en función de modelos decisionales que logren identificar el valor obtenido del proceso de manufactura y los costos de disposición final, inclusive costos ambientales de procesos como la incineración; mientras en [35] hacen énfasis en la reutilización de materiales y productos retornados en mercados secundarios para la obtención de valor y recuperación de inversiones en sistemas de logística inversa. Para la construcción del sistema de logística inversa en las instalaciones de varadero, se adoptarán los tres sistemas presentados en [30].

#### 4.4. Sistema de logística inversa en un astillero

El Sistema de Logística Inversa que se propone para el astillero, es un sistema que incluye 4 etapas que se han definido en función de los procesos base de la logística inversa: Recolección, selección, recuperación de valor y análisis de la información generada en el SLI. La propuesta se visualiza en la Figura 3.

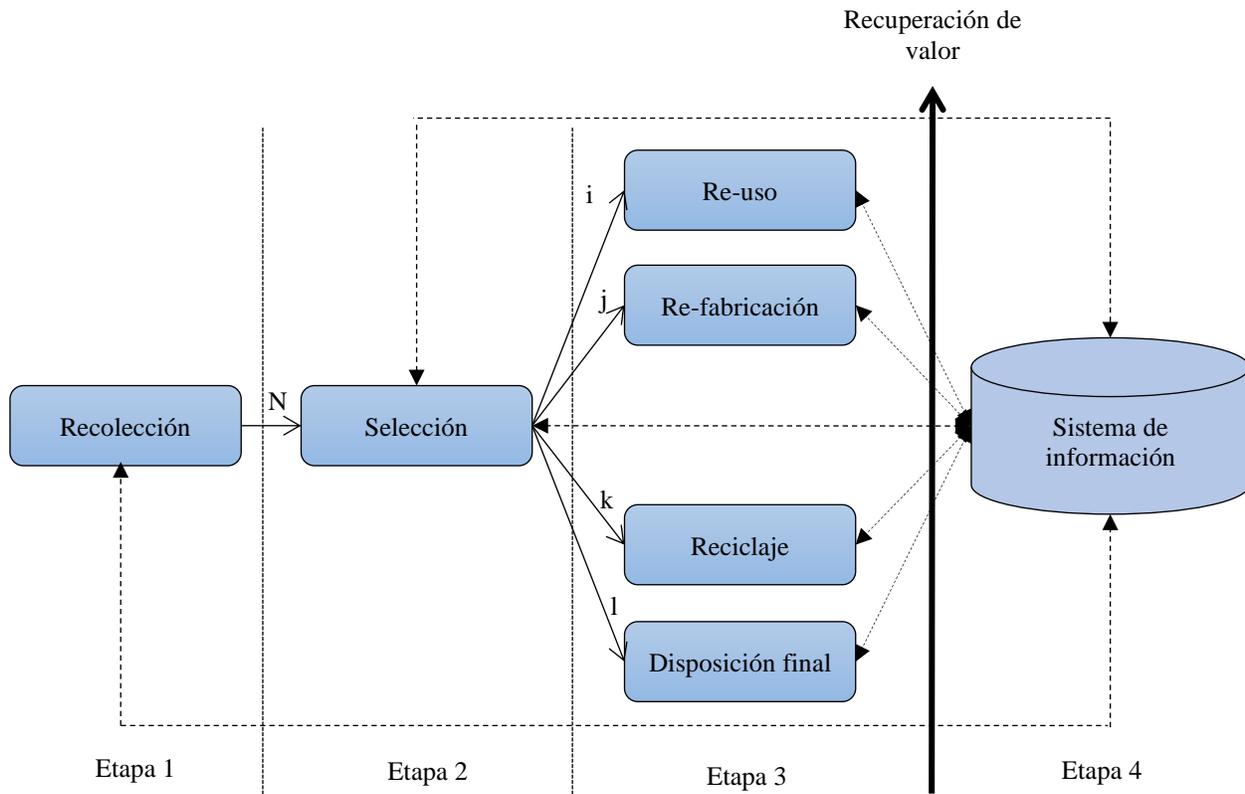


Figura 3. Sistema de Logística Inversa propuesto para un astillero. Fuente: elaboración propia.

En el SLI propuesto, las flechas continuas indican flujo de materiales, mientras que las flechas punteadas indican flujo de información. Los indicativos i, j, k y l representan los materiales que ingresan a los diferentes procesos para recuperación de valor en toneladas, siendo N las toneladas totales que ingresan al sistema. La etapa de recolección requiere que desde el astillero se garantice el cumplimiento del manual para residuos generados o se sigan las disposiciones de la ley. Durante la recolección se debe garantizar que los materiales residuos de procesos productivos no se contaminen y que los materiales que ya han sido usados y pueden generar contaminación, sean manipulados adecuadamente. Esta primera etapa está a cargo de Varadero, ya que es la instancia responsable del centro de acopio para el astillero analizado. La Tabla 3 presenta los materiales que se han identificado pueden ingresar al Sistema de Logística Inversa propuesto.

Tabla 3. Materiales que ingresan al sistema de logística inversa

Productos i que se re-usan	Productos j que se re-fabrican	Productos k que se reciclan	Productos l que se desechan
Acero Naval	Materias primas sobrantes	Acero Naval	Materiales peligrosos
Combustible reutilizable	-	Madera	-
-	-	Baterías	-

Fuente: elaboración propia.

La selección de los residuos requiere la adecuación del centro de acopio, garantizando un espacio limpio y amplio donde no se mezclen los materiales. Según la cantidad de desperdicios una persona puede realizar este proceso, ya que, si previo a la recolección se garantizó un adecuado manejo de residuos, la separación es un proceso que consumirá pocos recursos. La tercera etapa se ha denominado recuperación de valor, y está compuesta de los posibles procesos aplicables al material previamente seleccionado para recuperar su valor en función de las redes de reciclaje o re-fabricación.

En el sistema se indica cómo llevar los materiales a una disposición final agrega poco o ningún valor, ya que se deben invertir recursos para garantizar la disposición final adecuada, más aún cuando son residuos peligrosos. En segundo lugar, se encuentra el reciclaje; su aporte de valor puede variar en función del valor de los materiales en el mercado; si bien financieramente no es viable la construcción de una planta de reciclaje en los astilleros debido a la necesidad de adquirir más terreno, la variedad

de materiales que se generan y los costos de construcción, adecuación y adquisición de equipos; es viable la venta directa de estos materiales a empresas que los reciclen. En cuanto a la re-fabricación, es un proceso que agrega valor a los productos fuera de uso, ya que usando los recursos de infraestructura y maquinaria con los que cuenta la empresa, es posible dar un nuevo uso a los residuos. Finalmente, el proceso de re-uso se asocia a una recuperación de valor aún mayor, ya que, sin invertir esfuerzo o maquinaria, es posible reutilizar los productos fuera de uso de forma inmediata en otros procesos diferentes a el que lo desechó.

Un material que puede ser de gran beneficio para la empresa es el acero naval, ya que los astilleros de reciclado buscan buques que se acerquen al final de su ciclo de vida para comprarlos y desmantelarlos, el precio radica únicamente en la cantidad de acero que contenga [36], esto hace del acero naval un producto que puede generar beneficios ya sea a partir del re-uso o su venta para el reciclaje.

La cuarta etapa propuesta, se refiere a la retroalimentación y evaluación del SLI esta etapa debe estar soportada en un sistema de información que contenga los datos generados desde la misma recolección de los materiales, la selección y los procesos de recuperación. El flujo de información de este sistema debe ser bidireccional, ya que su principal propósito es retroalimentar al SLI, permitiendo identificar fallas para tomar decisiones que las corrijan o prevengan futuros problemas.

#### 4.5. Estrategias para la implementación del SLI propuesto

La presente propuesta del Sistema de Logística Inversa, debe ir de la mano de un diseño estratégico que aporte a la consecución de la sostenibilidad de la empresa; como se mostró en la Figura 2, estas estrategias deben enfocarse en hacer del proceso de logística inversa eco eficiente, socio-eficiente y eco-social. A continuación, se detallan las diferentes estrategias propuestas que se centran en la facilitación del ambiente al interior de la empresa para la implementación del SLI y la consecución de un ambiente externo propicio que contribuya al posicionamiento del astillero como una empresa sostenible.

##### 4.5.1. Capacitación

A demás de ser un requerimiento para que la implementación del Sistema de Logística Inversa sea exitosa, la capacitación se asocia directamente a la motivación del personal. Esta estrategia afecta en el corto

plazo la economía de la empresa pero en el largo plazo se asocia a un retorno de la inversión, ya que hace del SLI un sistema eficiente contribuyendo con el bienestar de los empleados [37].

#### 4.5.2. Adecuación del centro de acopio

Dado que se requiere un proceso de selección de materiales con un operario especializado que conozca el proceso de recuperación al que se dirigen, debido a los tamaños y cantidad de algunos de estos materiales (Combustibles almacenados, acero, madera, etc.), se requiere adecuar el centro de acopio de tal forma que estos materiales no se contaminen y su flujo hacia el

proceso de recuperación de valor sea fácil y rápido, requiriendo un estudio de métodos y movimientos para garantizar la seguridad del personal que selecciona y moviliza los materiales.

#### 4.5.3. Actualización de sistemas de información

Un sistema de información centralizado permite tomar decisiones que mejoren los procesos productivos y de logística inversa. Se requiere que este sistema de información cumpla con los requisitos presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Requisitos de un sistema de información funcional

Proceso	Datos que obtiene	Datos que informa	Información para Indicadores
Recolección	-Materiales recogidos -Toneladas por material -Proceso del que se deriva el material recogido -Observaciones sobre el método de almacenamiento de materiales fuera de uso	-Capacidad de bodegaje para el material recogido -Procesos que requieren se recoja material fuera de uso	-Material fuera de uso generado en un periodo de tiempo -Tiempo de recolección por material -Tiempo estimado de recogida en cada división
Selección	-Cantidad de material que se deriva a cada proceso de recuperación -Cantidad de material que se encuentra en espera para ser seleccionado	-Cantidad de material que se espera llegue de recolección -Tiempo estimado de recogida del material seleccionado -Personal encargado de la recolección	-Toneladas procesadas -Tiempo de espera por material -Tiempo de rotación -Tiempo de procesamiento por material
Recuperación de valor	Para cada uno de los procesos de recuperación de valor: -Toneladas recuperadas exitosamente -Costo de procesamiento por material -Tiempo de procesamiento de cada material	Para cada uno de los procesos de recuperación de valor: - Cantidad de material que debe recoger -Tiempo en que debe recoger el material -Estado del material que debe procesar	-Material procesado exitosamente -Tiempo de recogida real -Costo de procesamiento

Fuente: elaboración propia.

Una vez se implementen las estrategias internas para la adopción del Sistema de Logística Inversa, es necesario que se acompañe de estrategias que contribuyan desde el exterior a la generación de competitividad a través de la implementación exitosa del SLI.

#### 4.5.4. Estrategias con proveedores

Esta estrategia se asocia a la obtención de un ambiente externo a la empresa que facilite la adopción del sistema de logística inversa. En [38] se ha enfatizado la importancia de asociarse con proveedores para la reducción de costos ya que el SLI requiere la selección de proveedores de servicios de reciclaje minimicen costos [39]. Para la selección de proveedores de servicios

de reciclaje o disposición final de materiales peligrosos, se sugiere el uso de herramientas como el AHP [40], donde se consideren diferentes proveedores y los criterios propuestos en la Tabla 5; hacer uso de este método permite una toma de decisiones que en el corto plazo refleja beneficios económicos y minimiza el impacto ambiental en el largo plazo. Lo anterior se da, siempre y cuando los criterios definidos dentro de la organización se centren en estos dos objetivos.

De forma conjunta, los directivos y empleados involucrados en el funcionamiento del Sistema de Logística Inversa deben asignar haciendo uso de una escala de Likert, valores de priorización para cada uno de los componentes de la Tabla 5.

Tabla 5. Ejemplo para la selección de proveedores para recuperación de valor

Proveedores	Costo por tonelada	Frecuencia de recogida	Certificaciones	Impacto ambiental estimado	Empleos que generará
Proveedor 1					
Proveedor 2					
Proveedor 3					

Fuente: elaboración propia.

#### 4.5.5. Generación de empleo

La generación de empleo más que una estrategia, es una consecuencia de la implementación del Sistema de Logística Inversa y puede ser directa o indirecta; es directa cuando en los procesos de recolección, selección, recuperación de valor y análisis de los sistemas de información, se contrata personal de la zona o profesionales del sector; y es indirecto cuando las empresas aliadas que apoyan los procesos de logística inversa contratan personal para atender las necesidades del astillero. Se considera estrategia debido a que contribuye con el desarrollo sostenible a nivel social de la empresa.

#### 4.5.6. Visitas universitarias

Si bien esta estrategia no se relaciona directamente con el funcionamiento del Sistema de Logística Inversa, si facilita el reconocimiento de las empresas como líderes en procesos logísticos eficientes, amigables con el medio ambiente y sostenibles. Esta estrategia contribuye con el desarrollo social, facilitando a estudiantes la adquisición de conocimientos en materia de producción y logística de primer nivel, involucrando bajos costos para la empresa.

Con el fin de comparar el impacto que las estrategias propuestas tienen sobre la implementación del SLI, en la Tabla 6 se califica en una escala de 1 a 5 el impacto que generaría cada estrategia sobre los tres ámbitos de la sostenibilidad, siendo 5: Positivamente en el medio-largo plazo; 4: Positivamente en el corto-medio plazo; 3: no afecta; 2: Negativamente en el corto-medio plazo y 1: Negativamente en el Largo-medio plazo. Con esta información es posible determinar en qué posición se encontraría el sistema, si logra sostenibilidad en estas temporalidades. En caso de que las estrategias impacten negativamente alguno de los tres aspectos que integran la sostenibilidad, se caracteriza si este impacto es en el corto plazo, medio plazo o a largo plazo. Lo ideal es disminuir los impactos negativos, más aún en el largo plazo y que las estrategias se ubiquen en el extremo superior o en el extremo derecho, indicando una consecución de sostenibilidad.

Tabla 6. Análisis de impacto de estrategias

Estrategia	Social	Económico	Ambiental
4.5.1	4	4	3
4.5.2	3	3	3
4.5.3	3	5	3
4.5.4	5	5	5
4.5.5	5	4	3
4.5.6	5	5	3

Fuente: elaboración propia.

La Figura 4 presenta entonces el nivel de sostenibilidad proporcionado por el SLI, a medida que las estrategias se acercan al exterior de la gráfica, se obtiene una sostenibilidad en el largo plazo

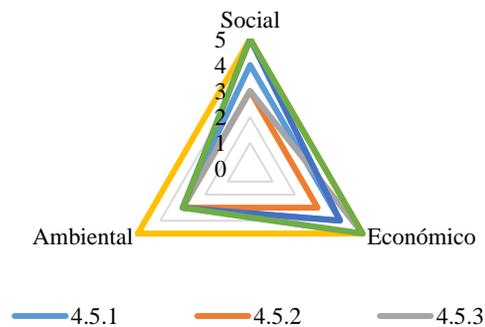


Figura 4. Análisis gráfico de sostenibilidad del Sistema de Logística Inversa. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la implementación del SLI y su aporte a la sostenibilidad empresarial, es posible inferir que las estrategias propuestas aportan a la sostenibilidad en el largo plazo, especialmente aquellas que están enfocadas a proveedores de servicios de reciclaje y recolección de materiales peligrosos. Igualmente, se espera que con este nuevo proceso se generen empleos y aumente la satisfacción del personal debido a la capacitación impartida. A nivel económico pueden observarse estrategias que impactan en el corto plazo, ya que el

estudio para redistribución y adecuación del centro de acopio requiere una inversión de bajo costo.

#### 4.6. Indicadores

En función de lo analizado en la literatura, es posible proponer un conjunto de indicadores que permitan hacer trazabilidad al Sistema de Logística Inversa propuesto,

éstos se agrupan en función de las etapas propuestas y las actividades que las conforman. La tabla 7 presenta un conjunto de indicadores para realizar trazabilidad al Sistema de Logística Inversa propuesto, estos indicadores se asocian a los tres ámbitos del desarrollo sostenible: el aspecto económico, el aspecto social y el ambiental.

Tabla 7. Conjunto de indicadores propuestos para la trazabilidad del SLI

Proceso	Ámbito sostenibilidad	Indicador
Recolección	Económico	1. Costo total de recolección 2. Toneladas de productos recolectados 3. Relación del costo de recolección y el salario del personal de recolección 4. Tiempo dedicado a la recolección de material en cada división
	Social	5. Nómina asociada únicamente a la recolección
	Ambiental	6. Emisiones generadas por vehículos de recolección 7. Contaminación auditiva generada por el proceso de recolección
Selección	Económico	8. Costo total de seleccionar los materiales recibidos 9. Costo de adecuación del centro de selección 10. Tiempo de almacenamiento del material 11. Tiempo dedicado a la selección del material
	Social	12. Nómina asociada únicamente a la selección
	Ambiental	13. Contaminación auditiva generada
Re-uso	Económico	14. Ahorro generado por el re-uso del material i 15. Toneladas procesadas para re-uso
	Social	16. Empleos directos generados en el proceso de re-uso 17. Empleos indirectos generados en el proceso de re-uso
	Ambiental	18. Porcentaje de material reusado exitosamente
Re-fabricación	Económico	19. Inversión en procesos de re-fabricación 20. Ahorro por uso de material re-fabricado
	Social	21. Empleos directos generados en el proceso de re-fabricación 22. Empleos indirectos generados en el proceso de re-fabricación
	Ambiental	23. Porcentaje de material re-fabricado exitosamente
Reciclaje	Económico	24. Costo anual de proveedores reciclaje
	Social	25. Empleos directos generados en el proceso de reciclaje 26. Empleos indirectos generados en el proceso de reciclaje
	Ambiental	27. Porcentaje de material reciclado exitosamente
Disposición final	Económico	28. Costo de contratar proveedores para disposición final de material fuera de uso 29. Porcentaje de costos asociados a la disposición final sobre el costo total de recuperación de valor
	Social	30. Empleos directos generados en el proceso de disposición final 31. Empleos indirectos generados en el proceso de disposición final
	Ambiental	32. Porcentaje de material desechado del total de material recolectado
Generales	Económico	33. Ahorro por proveedores de servicios para disposición de materiales 34. Tiempo de ciclo de cada material en el SLI 35. Costo de capacitación
	Social	36. Total de empleados directos e indirectos generados 37. Visitas industriales realizadas presentando el SLI 38. Nivel de satisfacción de los empleados
	Ambiental	39. Toneladas enviadas a procesos de recuperación de valor 40. Consumo energético total en el proceso de LI

Fuente: elaboración propia.

#### 4.7. Recomendaciones para la implementación del SLI

Caracterizar los materiales que ingresan al SLI, los procesos para la recuperación de valor y los responsables de este proceso, permite definir el sistema de logística inversa presentado en la Figura 3, sin embargo, la implementación de la presente propuesta requiere considerar algunas recomendaciones que mejoren el desempeño del sistema.

El mapeo de procesos permite identificar siete elementos clave que componen un Sistema de Logística inversa: el sistema de coordinación, las zonas de filtro, la recogida, la clasificación, el tratamiento, el sistema de información y el sistema de eliminación; cada uno de estos elementos se revisa en función de mapeo de procesos, las decisiones que se deben tomar, los costos involucrados, y las medidas de rendimiento. Aunque ya se han propuesto medidas de desempeño para retroalimentar y controlar el sistema de logística inversa, se recomienda que la revisión de las medidas de rendimiento se haga con regularidad con el fin de ajustar los objetivos a las condiciones actuales del mercado o sustituirlas por otras mejores [41]. A menos que las necesidades del mercado o de la compañía cambien, la revisión del sistema se debe centrar más en el nivel operativo [42].

Aunque el astillero tomado como referencia para el presente estudio cuenta con sistemas de información que apoyan la gestión de inventarios y los diferentes procesos desarrollados en las instalaciones de la sede Bocagrande, estos sistemas deberán adaptarse para la inclusión de un nuevo módulo de logística inversa. [3] ha señalado la necesidad de abordar el control de la incertidumbre sobre los sistemas de recuperación y reutilización de productos haciendo uso de la tecnología.

#### 5. Conclusiones

El estudio de la logística inversa y su implementación en diferentes industrias, es un tema que aún hoy es ampliamente estudiado desde la academia, sin embargo, el diseño de un Sistema de Logística Inversa requiere no solo el análisis de la literatura científica que se ha desarrollado en el área, requiere un acercamiento a los procesos, actividades y materiales que una empresa gestiona; para lograrlo se requiere obtener una visualización transversal del funcionamiento, en este caso de los astilleros, identificando el área encargada de la gestión de estos residuos y que por lo tanto deberá encabezar la implementación y seguimiento del SLI, siendo varadero en este caso de estudio.

Es posible implementar un SLI sin la necesidad de invertir grandes cantidades de recursos financieros, lo anterior se deriva de que el sistema puede considerar la subcontratación de terceros especializados en la gestión de residuos; lo que contribuye a la sostenibilidad empresarial desde la venta y recuperación de valor de materiales fuera de uso, generando beneficios ambientales y a nivel económico por la obtención ingresos o compensaciones de productos por la puesta en el mercado de productos fuera de uso, derivándose lo anterior en la generación de empleos ya sea directos o indirectos.

Al analizar los componentes del SLI, se encuentra que se debe contar con un sistema de información que posibilite la interacción entre los diferentes procesos, haciendo la toma de decisiones mucho más ágil. La definición de las características de este sistema de información debe estar ligada a los procesos logísticos del astillero, de esta forma se contaría con una retroalimentación integral y que serviría de base para mejorar los procesos productivos mediante la identificación de las actividades que generan más desperdicios, posibilitando la generación de estrategias enfocadas en la disminución de materiales que no pueden someterse a procesos de recuperación de valor.

#### Referencias

- [1] C. A. Serna, M. D. Arango, J. A. Gómez, *Dinámica de Sistemas para la Evaluación de Corredores Logísticos*, 1.ª ed. Medellín: Editorial Bonaventuriana, 2016.
- [2] S. Agrawal, R. K. Singh, Q. Murtaza, "A literature review and perspectives in reverse logistics," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 97, pp. 76-92, 2015. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.02.009
- [3] M. Jamshidi, "13 - Reverse Logistics," en *Logistics Operations and Management*, R. Z. Farahani, S. Rezapour, y L. Kardar, Eds. London: Elsevier, 2011, pp. 247-266.
- [4] E. Pinheiro, A. C. de Francisco, C. M. Piekarski, J. T. de Souza, "How to identify opportunities for improvement in the use of reverse logistics in clothing industries? A case study in a Brazilian cluster," *Journal of Cleaner Production*, vol. 210, pp. 612-619, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.11.024
- [5] C. K. Chan, N. Man, F. Fang, J. F. Campbell, "Supply chain coordination with reverse logistics: A vendor/recycler-buyer synchronized cycles model,"

- Omega*, pp. 102090, 2019. doi: 10.1016/j.omega.2019.07.006.
- [6] J. González, O. González, "Logística inversa: un análisis conceptual de nuevos flujos físicos en los canales de distribución," *ESIC Market*, vol. 110, pp. 9-21, 2001.
- [7] M. Çemberci, M. E. Civelek, N. Canbolat, "The Moderator Effect of Global Competitiveness Index on Dimensions of Logistics Performance Index," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, pp. 1514-1524, 2015.
- [8] P. R. Murphy, R. P. Poist, "Management of logistical retromovements: An empirical analysis of literature suggestions," *Transportation Research Forum*, vol. 29, no. 1, pp. 177-184, 1989.
- [9] D. S. Rogers, R. S. Tibben-Lembke, "Going backwards: reverse logistics trends and practices," Reverse Logistics Executive Council, 1998.
- [10] M. Nickl, "La evolución del concepto "Logística" al de "Cadena de Suministros" y más allá," *Compras y Existencias*, vol. 140, pp. 15-19, 2005.
- [11] L. Cure, J. C. Meza, R. Amaya, "Logística Inversa: Una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones," *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 20, 2006.
- [12] E. Contreras Castañeda, R. Tordecilla Madera, J. Silva Rodríguez, "Revisión de estudios de caso de carácter cualitativo y exploratorio en logística inversa," *Revista EIA*, no. 20, pp. 153-164, 2013.
- [13] W. Gu, C. Wang, S. Dai, L. Wei, I. R. Chiang, "Optimal strategies for reverse logistics network construction: A multi-criteria decision method for Chinese iron and steel industry," *Resources Policy*, 2019. doi: 10.1016/j.resourpol.2019.02.008
- [14] E. Maeso, "Logística inversa: Realidad o desafío," en *II Conferencia de Ingeniería de Organización*, 2002.
- [15] T. Bañegil, S. Rubio, "Sistemas de logística inversa en la empresa," *Dirección y Organización*, vol. 31, pp. 108-116, 2005.
- [16] I. E. Nikolaou, K. I. Evangelinos, S. Allan, "A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 56, pp. 173-184, 2013. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.12.009
- [17] A. Alshamsi, A. Diabat, "A reverse logistics network design," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 37, pp. 589-598, 2015. doi: 10.1016/j.jmsy.2015.02.006
- [18] F. G. Filip, D. Luminita, "Decision Support Systems in Reverse Supply Chain Management," *Procedia Economics and Finance*, vol. 22, pp. 154-159, 2015. doi: 10.1016/S2212-5671(15)00249-X
- [19] J. D. Linton, R. Klassen, V. Jayaraman, "Sustainable supply chains: An introduction," *Journal of Operations Management*, vol. 25, no. 6, pp. 1075-1082, 2007. doi: 10.1016/j.jom.2007.01.012
- [20] E. Bottani, G. Vignali, D. Mosna, R. Montanari, "Economic and environmental assessment of different reverse logistics scenarios for food waste recovery," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 20, pp. 289-303, 2019. doi: 10.1016/j.spc.2019.07.007
- [21] P. Montoya *et al.*, "Reverse logistics and its relationship to the integral and sustainable solid waste management in pr oductive sectors", *Entramado*, vol. 9, no. 1, pp. 226-238, 2013.
- [22] C. Labuschagne, A. C. Brent, R. P. G. van Erck, "Assessing the sustainability performances of industries," *Journal of Cleaner Production*, vol. 13, no. 4, pp. 373-385, 2005. doi: 10.1016/j.jclepro.2003.10.007
- [23] S. Sudarto, K. Takahashi, K. Morikawa, "Reprint - Efficient flexible long-term capacity planning for optimal sustainability dimensions performance of reverse logistics social responsibility: A system dynamics approach," *International Journal of Production Economics*, vol. 190, pp. 45-59, ago. 2017. doi: 10.1016/j.ijpe.2017.06.017
- [24] T. R. P. Ramos, M. I. Gomes, A. P. Barbosa-Póvoa, "Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns," *Omega*, vol. 48, pp. 60-74, oct. 2014. doi: 10.1016/j.omega.2013.11.006
- [25] E. Hassini, C. Surti, C. Searcy, "A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics," *International Journal of Production Economics*, vol. 140, no. 1, pp. 69-82, 2012. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.01.042
- [26] S. Dhib, T. Loukil, S. A. Addouche, A. E. Mhamedi, "Selecting configuration of reverse logistics network using sustainability indicators," en *2013 5th*

*International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, 2013, pp. 1-5.

[27] K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan, "Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future," *European Journal of Operational Research*, vol. 240, no. 3, pp. 603-626, feb. 2015. doi: 10.1016/j.ejor.2014.07.012

[28] L. N. Cruz, "Logística verde e inversa aplicada al proceso de construcción y reparación de buques en astilleros – COTECMAR," trabajo de fin de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2011.

[29] S. Agrawal, R. K. Singh, "Analyzing disposition decisions for sustainable reverse logistics: Triple Bottom Line approach," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 150, p. 104448, 2019. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104448.

[30] S. Rubio, "El sistema de logística inversa en la empresa: Análisis y aplicaciones," tesis doctoral, Universidad de Extremadura, 2003.

[31] J. Hong, R. Zheng, H. Deng, Y. Zhou, "Green supply chain collaborative innovation, absorptive capacity and innovation performance: Evidence from China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 241, p. 118377, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118377

[32] J. R. Kinobe, G. Gebresenbet, C. B. Niwagaba, B. Vinnerås, "Reverse logistics system and recycling potential at a landfill: A case study from Kampala City," *Waste Management*, vol. 42, pp. 82-92, 2015. doi: 10.1016/j.wasman.2015.04.012

[33] Y. M. A. Welaya, M. M. A. Naby, M. Y. Tadros, "Technological and economic study of ship recycling in Egypt," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 362-373, 2012. doi: 10.2478/IJNAOE-2013-0103

[34] M. Pazoki, W. Abdul-Kader, "Optimal disposition decisions for a remanufacturing system considering time value of products," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 99, pp. 124-136, sep. 2016. doi: 10.1016/j.cie.2016.07.015

[35] C. T. de Oliveira, M. M. M. Luna, L. M. S. Campos, "Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy," *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 562-573, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.319

[36] K. P. Jain, J. F. J. Pruyn, J. J. Hopman, "Quantitative assessment of material composition of end-of-life ships using onboard documentation," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 107, pp. 1-9, 2016. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.11.017

[37] B. T. Hazen, J. Huscroft, D. J. Hall, F. K. Weigel, J. B. Hanna, "Reverse logistics information system success and the effect of motivation," *Int Jnl Phys Dist & Log Manage*, vol. 44, no. 3, pp. 201-220, 2014. doi: 10.1108/IJPDLM-11-2012-0329

[38] T.-Y. Liao, "Reverse logistics network design for product recovery and remanufacturing," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 60, pp. 145-163, 2018. doi: 10.1016/j.apm.2018.03.003.

[39] C. Prakash, M. K. Barua, "An analysis of integrated robust hybrid model for third-party reverse logistics partner selection under fuzzy environment," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 108, pp. 63-81, 2016. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.12.011

[40] A. Entezaminia, M. Heydari, D. Rahmani, "A multi-objective model for multi-product multi-site aggregate production planning in a green supply chain: Considering collection and recycling centers," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 40, Part 1, pp. 63-75, 2016. doi: 10.1016/j.jmsy.2016.06.004.

[41] M. D. Arango Serna, S. Ruiz Moreno, L. F. Ortiz Vásquez, J. A. Zapata Cortes, "Indicadores de desempeño para empresas del sector logístico: Un enfoque desde el transporte de carga terrestre," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 25, no. 4, pp. 707-720, 2017. doi: 10.4067/S0718-33052017000400707

[42] M. K.- Olejnik, K. Werner-Lewandowska, "The Reverse Logistics Maturity Model: How to determine reverse logistics maturity profile? - method proposal," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 1112-1119, 2018. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.027