



**Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.**

**Diana Paola Trujillo Sánchez**

**Facultad de Ingeniería  
Ingeniería industrial  
Ibagué, 2019**



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

**Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.**

**Diana Paola Trujillo Sánchez**

**Trabajo de grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniera Industrial**

**Director:**

**Doctor Carlos Antonio Meisel Donoso**

**Director programa Ingeniería industrial universidad de Ibagué**

**Co-director:**

**Profesor Andrés Alberto García León**

**Profesor programa Ingeniería Industrial Universidad de Ibagué**

**Facultad Ingeniería  
Ingeniería industrial  
Ibagué, 2019**



## Contenido

Resumen.....	4
Introducción .....	6
Lista de Tablas .....	12
Lista de Figuras.....	12
1. Capítulo 1. Marco Teórico.....	14
1.1 La logística en las decisiones de la cadena de suministro.....	14
1.1.1 Logística y cadena de suministro .....	14
1.1.2 Enfoque de la logística empresarial .....	17
1.1.3 Logística inversa .....	17
1.1.4 Gestión de residuos.....	25
1.1.5 Logística verde.....	27
1.2 Concepto de la cadena de suministro con enfoque holístico .....	29
1.3 Características y factores a tener en cuenta en el diseño de una cadena de suministro inversa <sup>31</sup>	
1.4 Diseño de la cadena de suministro .....	42
1.4.1 Estrategia de ubicación .....	43
1.4.2 Estrategia de inventario .....	45
1.4.3 Estrategia de transporte .....	47
1.4.4 Desarrollo sostenible .....	48
2 Capítulo 2. Casos Empíricos .....	51
2.1 Referentes internacionales .....	51
2.2 Referentes nacionales.....	61
2.3 Análisis de las variables que intervienen en el diseño.....	69
3 Capítulo 3. Aspectos Relevantes para el diseño de cadena de recuperación de llantas usadas 74	
3.1 Decisiones de Diseño .....	75
3.2 Desarrollo Sostenible .....	81
3.3 Uso de Tecnologías .....	82



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

4	CONCLUSIONES .....	86
	REFERENCIAS.....	89

## Resumen

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general Identificar las bases conceptuales, premisas teóricas y elementos a considerar para el diseño de una cadena de abastecimiento dedicada a la recuperación de llantas usadas en el contexto urbano considerando los fundamentos de la logística inversa.



Esto a partir de una metodología basada en tres fases de las cuales es posible obtener información relevante alrededor de las cadenas de suministro inversa en diversos sectores del mercado. Estas fases son: 1. Un marco de referencia que permitió determinar bases conceptuales y teóricas que intervienen en el diseño de cadenas de suministro con enfoque holístico resaltando la consideración de flujos inversos. 2. La caracterización de casos empíricos referenciados en la literatura científica relacionadas con el diseño de cadenas de abastecimiento considerando las perspectivas de la logística inversa, y 3. El estudio de un caso de recuperación de neumáticos en desuso relacionados con estas decisiones.

Dentro de los principales resultados se destaca que a partir de las bases conceptuales y teóricas, y los casos empíricos existentes alrededor de las cadenas de logística inversa es posible construir diseños de cadenas de recuperación de llantas usadas en el contexto urbano con consideraciones relevantes como la recuperación de recursos, transporte, localización, inventario y la legislación.

**Palabras clave:** llantas usadas, logística inversa, abastecimiento, recuperación, valor agregado.

## **Abstract**

This research work has as a general objective Identify the conceptual bases, theoretical premises and elements to consider for the design of a supply chain dedicated to the recovery of tires used in the urban context considering the foundations of reverse logistics.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

This is based on a methodology based on three phases from which it is possible to obtain relevant information around the reverse logistics supply chains in various market sectors, these phases are: 1. A frame of reference that allowed to determine conceptual and theoretical bases that intervene in the design of supply chains with a holistic approach highlighting the consideration of reverse flows; 2. The characterization of empirical cases referenced in the scientific literature related to the design of supply chains considering the perspectives of reverse logistics; and 3. The study of a case of tires related to these decisions.

Among the main results, it is possible to highlight that, based on the conceptual and theoretical bases, and the empirical cases existing around the reverse logistics chains, it is possible to build tire recovery chain designs used in the urban context with relevant contexts such as resource recovery, transportation, location, inventory and legislation.

**Keywords:** tires, logistics, supply, tires, supplies.

## **Introducción**

Las llantas usadas, en términos medio ambientales, desde que se generalizó el uso del automóvil en el mundo se ha considerado una problemática para la que los estados han generado pocas alternativas de solución, o alternativas que logren un impacto significativo para la mitigación del problema. Al respecto, Colombia y el departamento del Tolima no son la excepción, en Ibagué por ejemplo no existen



sitios de recolección ni mucho menos un plan de recolección de residuos de llantas usadas y la situación se agrava vertiginosamente al considerar tres perspectivas: el habitante que quiere entregar para recolección, un generador comercial de llantas usadas y un productor<sup>1</sup>.

Una solución viable ha sido la logística inversa la cual tiene un enfoque hacia tiene un enfoque hacia la recuperación de productos post consumo, lo cual ha adquirido una atención considerable, en función al crecimiento del concepto de sustentabilidad (Maquera, 2012), esta incluye el procesamiento de la mercancía devuelta debido a daños, inventario, estacional, reposición, recuperación, retiro y exceso de inventario, así como programas de reciclaje, programas de materiales peligrosos, eliminación de mercancía obsoleta, entre otras acciones (Graczyk & Witkowski, 2011). En Ibagué es posible identificar un conjunto de problemáticas alrededor de las cadenas de logística inversa que posiblemente acrecientan la problemática de la recuperación o desecho de las llantas usadas, en primer lugar, se desconoce un sitio de recolección y tendría las siguientes opciones: esperar un programa de recolección el cual no tiene periodicidad, llevarla a cielo abierto o entregarla a un generador de llantas usadas (por ejemplo, a un monta llantas).

A raíz de lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo brindar un marco de referencia que permita un posterior modelamiento de una cadena de abastecimiento para la recuperación de llantas usadas en el contexto urbano de la ciudad de Ibagué, a razón de que son escasas las investigaciones que se han realizado para el diseño de cadenas de abastecimiento dedicado a la recuperación de llantas usadas y la mayoría de ellas se centran en soluciones para cadenas con un solo producto y para un periodo simple en ambientes poco adaptables al

---

<sup>1</sup> Contaminación por llantas abandonadas. Recuperado el 4 de julio de 2017, de <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/tolima/ibague/248480-contaminacion-por-llantas-abandonadas> (21 de febrero de 2015).



contexto local. Así mismo los objetivos de optimización han sido estudiados en dos enfoques independientes: La maximización de utilidades y la minimización del impacto ambiental.

Este es un trabajo que contribuye a un proyecto macro como es la modelación de la cadena de suministro, ya que esta se configura en un aporte significativo en primer lugar, para las empresas productoras y comercializadoras de llantas, así como talleres automotrices en el acopio, recuperación y manejo de este tipo de desechos de una forma ambientalmente sostenible. Y para el municipio de Ibagué, en la medida en que permite reducir el impacto ambiental que estos generan, a la vez en que brinda la posibilidad de pensarse proyectos sociales a partir de la recuperación, el re manufactura y la producción de otro tipo de productos a partir de neumáticos usados o rechazados por la industria automotriz.

En el mismo orden de ideas, es posible indicar que este trabajo surge de la preocupación de la industria automotriz a la hora de gestionar los desechos de neumáticos usados o rechazados por efectos de fábrica, y a su vez el impacto medio ambiental que la mala gestión de los mismos genera al no existir una cadena de abastecimiento que se ocupe del manejo de este tipo de residuos.

Como respuesta y propuesta de solución a esta problemática, este estudio metodológicamente se estructuró en tres momentos: el marco de referencia que permitió conocer trabajos investigativos alrededor de cadenas de suministro para la recolección de llantas usadas y alternativas de solución a la problemática ambiental que se genera a partir de estos desechos. Lo cual conllevó al segundo momento, el cual consistió en un ejercicio de caracterización de casos empíricos que dan cuenta de las cadenas de abastecimiento desde la perspectiva de la logística inversa, identificando las características y el procedimiento a seguir como punto de partida para una propuesta de diseño de cadena de abastecimiento de logística inversa de llantas usadas en el municipio de Ibagué, siendo este el tercer momento del estudio.



La metodología utilizada para la elaboración del documento producto de la asistencia de investigación se basa en el marco de revisión de literatura propuesto por Newbert (2007), el cual consta de siete fases. La primera etapa tuvo por objeto encontrar las palabras claves para la revisión de literatura, para este fin se seleccionaron los artículos más relevantes y a partir de estos se desarrollaron nuevas palabras clave y sinónimos relevantes las cuales para este estudio fueron: Supply management chain, reverse logistics, used tires, waste management, decisions, design, recovery, catering, value added, “resources, transportation, location, inventory and legislation”, closed Loop Supply Chain.

En la segunda etapa se hace uso de las palabras claves para formar frases o cadenas de búsqueda que ayuden a encontrar literatura relevante del tema de estudio como las siguientes frases:

- Reverse supply chain
- Logistics and “supply chain”
- “Reverse supply chain” and “holistic approach”
- (Decisions or design) and “reverse logistics” and transportation
- (Decisions or design) and “reverse logistics” and inventory
- “Reverse logistics” and “value added”

En la tercera etapa, la búsqueda se limita a artículos científicos de revistas especializadas de alto impacto en la clasificación de Scimago SJR (ubicadas en los cuartiles 1 y 2) para asegurar la calidad de las publicaciones. Se incluyeron preferiblemente revistas en idioma inglés disponibles en las bases de datos de ScienceDirect y Scopus. La búsqueda se restringió al título, resumen y palabras clave de los artículos. El filtro temporal fueron los últimos diez años comprendidos entre 2008 a 2019, en algunas búsquedas también se debió implementar otros filtros como áreas de estudio.

Para la cuarta etapa se consolidaron los resultados de búsqueda de las bases de datos usadas y se realiza la eliminación de duplicados con el fin de tener un



resultado más relevante a la investigación. Finalmente, en la quinta etapa se leen todos los resúmenes de los artículos restantes para así descartar aquellos que no tienen relevancia para el tema y se eliminan los artículos que son revisiones de libros y en la sexta etapa se hace una completa revisión de los artículos seleccionados clasificándolos según año de publicación y categoría o concepto clave.

Esto con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados, de forma general brindar un marco de referencia que permita un posterior modelamiento de una cadena de abastecimiento para la recuperación de llantas usadas en el contexto urbano de la ciudad de Ibagué que permita identificar la configuración adecuada en términos de un desempeño balanceado entre costos e impacto ambiental generado. Para el cual se plantearon tres objetivos específicos: en primer lugar, una revisión de referentes académico-científicos que permitieran estructurar el marco de referencia, en segundo lugar, una caracterización de casos empíricos de cadenas de suministros que evidenciaran procesos de logística inversa, y finalmente, en tercer lugar una propuesta de diseño de cadena de abastecimiento de logística inversa de llantas usadas en el municipio de Ibagué.

Para este último, las decisiones de diseño de esta cadena de abastecimiento se constituyó en la recuperación de recursos a partir del Drop-off o recolección en puntos de entrega considerándose estos los talleres automotrices de gran cobertura parqueaderos de la secretaría de tránsito y transporte del municipio, transporte a partir del servicio subcontratado en completa coordinación con los puntos de entrega, localización en dos centros de acopio en la zona comercial e industrial de Ibagué como lugar estratégico, nueve niveles de inventario, cumpliendo con la legislación y normativa vigente en Colombia y al día con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, haciendo uso de los recursos tecnológicos gratuitos disponibles al público y a los ciudadanos como estrategia de difusión y de conocimiento de la estrategia.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---



### **Lista de Tablas**

Tabla 1 Características de la Logística Inversa.....	32
Tabla 2 Factores de mayor influencia en tres sectores empresariales.....	44
Tabla 3 Comparación de Modos de Transporte .....	48
Tabla 4 Análisis de Sensibilidad para Diferentes Demandas .....	54
Tabla 5 Identificación y Análisis de Variables. ....	69
Tabla 6 Programas del sistema de Recolección Selectiva de Llantas Usadas ....	76
Tabla 7 Sistema de Almacenaje de Neumáticos .....	77
Tabla 8 Legislación Marco .....	80
Tabla 9 Legislación de Residuos Sólidos.....	80

### **Lista de Figuras**

Figura 1 Etapas para el Buen Manejo de la Logística. ....	18
Figura 2 Flujos Básicos de Procesos Logísticos. ....	19
Figura 3 Clasificación de Retornados.....	21
Figura 4 Logística Inversa y Logística Verde .....	28
Figura 5 Red de Cadena de Suministro inversa Genérica. ....	32
Figura 6 Red de Logística Inversa Propuesta. ....	34
Figura 7 Enfoque de Modelado .....	35
Figura 8 Relación de los sistemas de recolección de residuos y la recuperación de recursos. ....	37
Figura 9 Triángulo de la Toma de Decisiones Logísticas.....	42
Figura 10 Factores de Localización.....	43
Figura 11 Un Sistema de Cadena de Suministro de Circuito Cerrado. ....	46
Figura 12 Flujo hacia Adelante y Flujo Inverso.....	52
Figura 13 Modelo propuesto de cadena de suministro de circuito cerrado. ....	57



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

Figura 14 Análisis de Sensibilidad de los rendimientos totales (porcentaje máximo vs Beneficios) .....	58
Figura 15 CSCC con Múltiples Opciones de Recuperación para Llantas. ....	60
Figura 16 Medidas de Desempeño Ambiental Estudiadas .....	65
Figura 17 Diagrama Causal de la Logística Inversa de las Llantas .....	66
Figura 18 Caracterización genérico de la Cadena de Suministro de una Empresa Textil.....	69
Figura 19 Almacenamiento sobre la Cinta de Rodamiento .....	78
Figura 20 Sistema de Inventario.....	79
Figura 21 APP RED POSCONSUMO .....	83
Figura 22 Proceso para la Obtención de Pavimento Modificado Convencional ..	84



## 1. Capítulo 1. Marco Teórico

La concepción moderna para el diseño y gestión de cadenas de suministro implica el análisis desde una concepción holística. En este sentido, se deben identificar los rasgos característicos descritos en la literatura científica que apuntan a la generación de valor, la satisfacción de necesidades para los clientes, las relaciones de cooperación entre eslabones, la recuperación de materiales, la protección del ambiente y entre otros.

En este capítulo se analizarán las bases conceptuales, las premisas teóricas y los factores a considerar en el diseño de una cadena de suministro teniendo en cuenta los fundamentos de la logística inversa.

### 1.1 La logística en las decisiones de la cadena de suministro

#### 1.1.1 Logística y cadena de suministro

Georgia Tech (2015) indica que, la década de los 80's significó la inclusión de la logística como parte fundamental de la estrategia empresarial para diferenciarse de su competencia. Así, el término "logística" dejó de limitarse a lo militar para referirse y aplicarse a los movimientos dentro y fuera de las empresas, correspondiendo al flujo de productos, servicios y toda la información que conduzca a la toma de decisiones.

El Consejo de Dirección Logística (CLM, por sus siglas en inglés, tal como se cita en Ballou, 2004), define la logística como la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.



Las actividades logísticas suelen incluir la gestión de transporte entrante y saliente, así como de flotas, el almacenamiento, el manejo de materiales, el cumplimiento de pedidos, el diseño de la red logística, la gestión de inventario, la planificación de la oferta / demanda y la gestión de proveedores de servicios logísticos de terceros. En diversos grados, la función logística también incluye el abastecimiento y la adquisición, la planificación y programación de la producción, el embalaje y el montaje, y el servicio al cliente (CSCMP, 2013). Esta crea valor de tiempo y de lugar para el cliente, en la medida en que para ello se encuentran orientados los procesos de aprovisionamiento, almacenamiento y transporte (Vélez, 2014), lo cual constituye una cadena.

El origen del término "Cadena de Suministros" se remonta a Keith Oliver, un consultor en Booz Allen Hamilton, quien realizó múltiples investigaciones al respecto, siendo su aporte más significativo registrado en 1982 (Heckmann, Shorten & Engel, 2003). El reconocimiento generalizado del término "cadena de suministro" se debe principalmente a la globalización de la manufactura desde mediados de la década de 1990, particularmente al crecimiento de la manufactura en China (Georgia Tech , 2015).

Sin embargo, en la actualidad existen distintas definiciones de la cadena de suministro como la de Ballou, considerado pionero en el concepto moderno de cadena de suministro, que lo define como un "conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor" (Ballou, 2004, p.3).

Por otro lado, Vélez (2014) plantea que una cadena de suministro es simplemente la relación que se establece entre unos actores, a partir de un proveedor inicial, que entrega algo, procesado o no, a un cliente; este cliente, a su vez, es proveedor de otro y así sucesivamente, hasta que se llega a un cliente final que consume ese algo que fue transmitido y que se fue transformando.



De la misma forma, Correa & Gómez (2008) citando al comité del Original *Equipment Manufacturer* (fabricante de equipos originales) definen la cadena de suministro como una “asociación de consumidores y proveedores quienes, trabajando juntos en sus propios intereses, compran, transforman, distribuyen, y venden bienes y servicios entre ellos mismos, resultando la creación de un producto final específico” (p. 38).

Por otra parte, Lambert & Enz (2017 citando a Lambert, 2014) afirman que: “la gestión de la cadena de suministro (SCM por sus siglas en inglés) es la administración de las relaciones en la red de organizaciones, desde los clientes finales hasta los proveedores originales, utilizando procesos de negocios multifuncionales clave para crear valor para los clientes y otras partes interesadas. El valor de contar con procesos comerciales estándar es que los gerentes de las organizaciones de la cadena de suministro pueden usar un lenguaje común que facilita la vinculación de los procesos y sistemas de sus empresas con los de otros miembros de la cadena de suministro. Los procesos fueron identificados por Lambert y Cooper (2000) y cada uno se describió en detalle en un artículo basado en la investigación realizada desde el año 2000. Los ocho procesos de SCM son: Gestión de la relación con el cliente, Administración de relaciones de provisiones, Gestión del servicio al cliente, Gestión de la demanda, Cumplimiento del pedido, Gestión del flujo de fabricación, Desarrollo de producto y comercialización, Gestión de devoluciones” (p. 2).

En más de 30 años con Booz Allen, el Sr. Oliver ha realizado asignaciones a nivel de juntas en toda la cadena de valor, con un énfasis particular en la estrategia de la cadena de suministro y el control de gestión. Estos han cubierto la captura y el servicio al cliente. Más recientemente, se ha centrado en la aplicabilidad de muchos de estos conceptos subyacentes de la cadena de suministro para atender a las empresas (Heckmann, Shorten & Engel, 2003).



La relación entre la logística y las cadenas de suministro son totalmente fundamentales para la creación de valor para el cliente, al ser esta última la que abarca los distintos eslabones para gestionar el flujo total de información, materiales, bienes, entre otros. La logística se encuentra involucrada en todos los niveles de planificación y ejecución: estratégico, operativo y táctico. De la misma forma es una función integradora, que coordina y optimiza todas las actividades logísticas, así como integra estas con otras funciones que incluyen marketing, fabricación de ventas, finanzas y tecnología de la información (CSCMP, 2013). Una buena dirección logística visualiza cada actividad en la cadena de suministros como una contribución al proceso de añadir valor (Ballou, 2004).

#### 1.1.2 Enfoque de la logística empresarial

En la década de los 90's se amplió el horizonte de las Cadenas de Suministro con la introducción de los Sistemas de Planificación Empresariales -ERP-, que permitió integrar la información de todos los departamentos con el fin de elevar la eficiencia en los procesos y toma de decisiones, incluidas las relativas a la Cadena de Suministros (KILDOW, 2011). Al respecto, López (2010) argumenta sobre cuál es la importancia de la fijación de 6 etapas para el buen manejo de la logística y la cadena de suministro y su diseño organizacional, posibles de apreciar en la Figura 1.

#### 1.1.3 Logística inversa

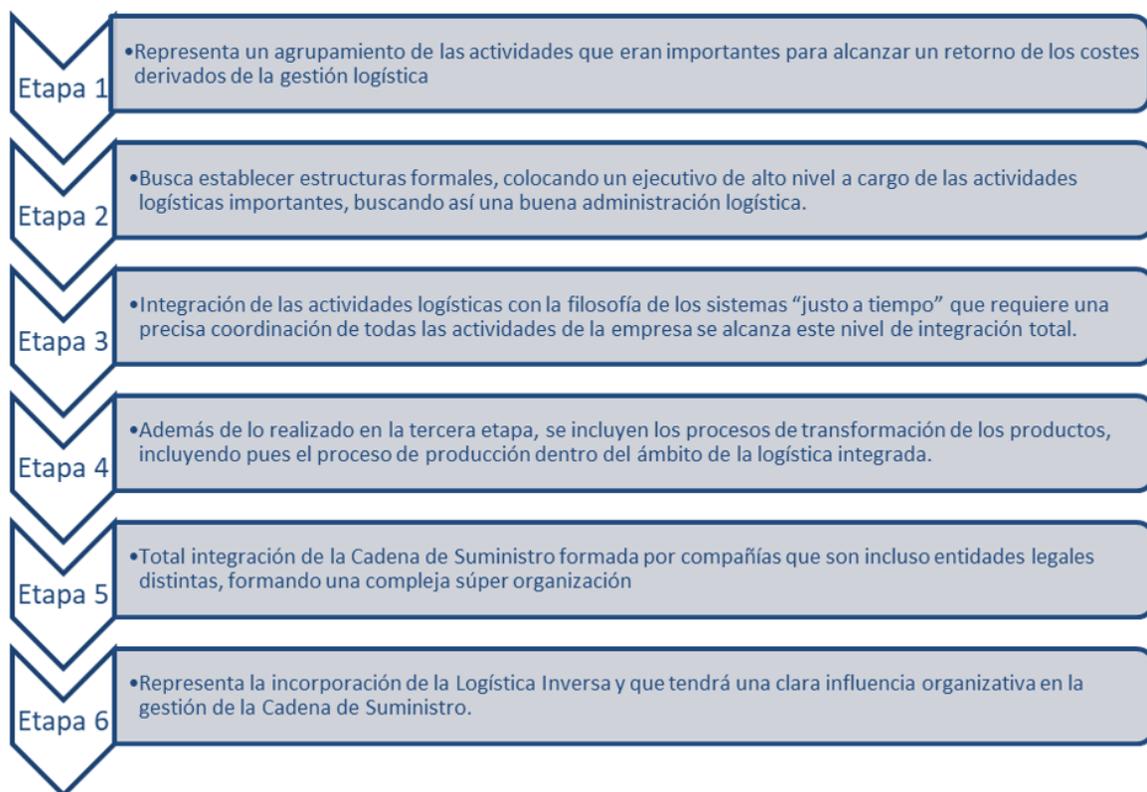
Dentro de las cadenas de suministro es posible encontrar los procesos de logística inversa, las investigaciones sobre este tipo de logística *Reverse Logistics* (RL por sus siglas en inglés) han evolucionado a lo largo de los años y los autores han definido la RL de diferentes maneras. En 1989, Murphy y Poist realizaron algunas menciones sobre el flujo inverso de bienes. Más tarde, Carter y Ellram (1998) introdujeron el término "ambiente" en la definición. Rogers y Tibben-Lembke (1999) hicieron hincapié en el propósito de RL, como "el proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de materias primas se da en



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

proceso de inventario, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar el valor o la eliminación adecuada”. (Agrawal , Singh, & Murtaza, 2015, p. 141).

**Figura 1** Etapas para el Buen Manejo de la Logística.



**Fuente.** López, 2010.

Sin embargo, el movimiento de bienes en la otra dirección puede causar costos e ineficiencias importantes, reduciendo así las ganancias (Djikanovic & Vujosevic, 2015). En tal sentido, las organizaciones deben tener en cuenta estos riesgos al incorporar los flujos de retorno o inversos en la cadena de suministro.

Una de las principales justificaciones del creciente interés en esta área es que, con los avances tecnológicos y los rápidos cambios en la demanda, los productos salen al mercado más rápido y con un ciclo de vida cada vez menor, lo que genera una mayor cantidad de material dispuesto. Das y Dutta (citados en Fagundes, Amorim,

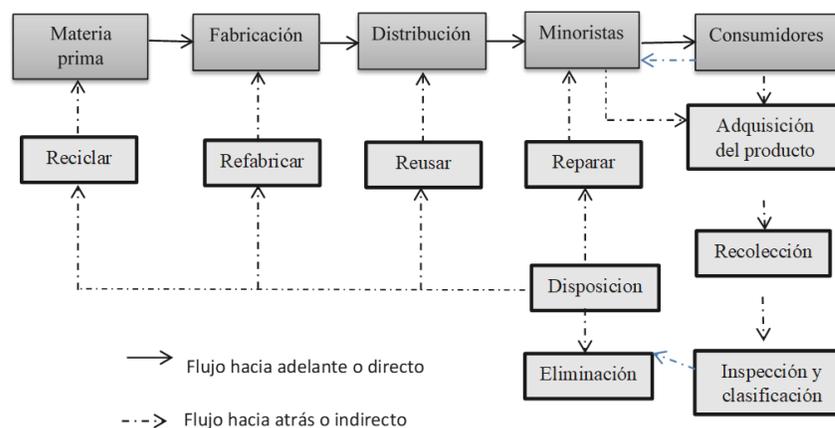


Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

& da Silva Lima, 2017) advierten que, la gestión de los productos al final de la vida útil es importante no solo para cuestiones ambientales relacionadas con cantidades crecientes de desechos sólidos, sino también debido a factores económicos y obligaciones impuestas por la legislación.

La RL se concentra en los flujos (directo e inverso) donde existe un cierto valor a ser recuperado de los productos y materiales y éstos pueden entrar en una nueva cadena productiva (Maquera, 2012). Lo anterior se puede evidenciar en la Figura 2 dependiendo de la clasificación de materiales así mismo pueden volver a las distintas etapas de la cadena de suministro.

**Figura 2** Flujos Básicos de Procesos Logísticos.



**Fuente.** Agrawal , Singh, & Murtaza, (2015).

Son muchas las situaciones que intervienen a la hora de colocar un producto en un flujo inverso, tales como devoluciones comerciales, devoluciones de garantía, devoluciones de uso final, devoluciones de contenedores reutilizables y otras. Se cree que la RL efectiva genera diversos beneficios directos, entre ellos, una mejor satisfacción del cliente, menores niveles de inversión en recursos y reducciones en los costos de almacenamiento y distribución (Kannan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012).



De acuerdo con Ortega (2003), es posible identificar distintos tipos de flujos inversos en función de los productos:

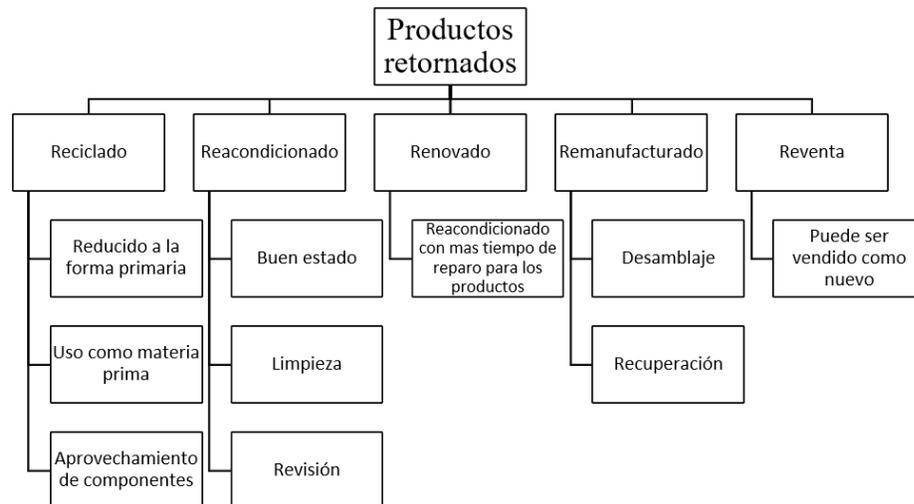
- Productos al final de su vida útil: este se considera el tipo más amplio de flujos de logística inversa, ya que son aquellos que no se utilizan por razones de moda, tendencia u obsolescencia temprana provocada por los consumidores como ropa, zapatos, dispositivos electrónicos, artículos para el hogar, entre otros. Estos se consideran una gran fuente de valor por lo que es muy atractivo recuperarlos en la medida en que existen altas posibilidades de reutilización, reprocesado y reciclado.
- Devoluciones comerciales: estos son producto del retroceso de transacciones comerciales efectuadas con anterioridad. En estos casos el comprador devuelve al vendedor original la adquisición a cambio de que se devuelva el dinero o se reponga por otro tipo de producto o por un producto nuevo. Estos generan atractivo según las condiciones de la devolución, si es un producto nuevo fácilmente se puede revender en mercados alternativos, si son productos usados con obsolescencia programada o con poco tiempo de vida, pierden el atractivo en la medida en que la reutilización, reparación o remanufactura se vuelve más complicada.
- Devoluciones por garantía: se refiere a productos que han fallado durante su utilización o que se han dañado durante el proceso de distribución, generalmente generan atractivo ya que son productos nuevos con pocos fallos o daños no estructurales.
- Desechos de producción y productos secundarios: se consideran estos el material sobrante en el proceso de producción. Estos permiten la fabricación de productos nuevos con un poco menos de inversión en ellos, así como también pueden ser productos que al final de la producción no responden con las especificaciones técnicas y que son rechazados, o reprocesados para el cumplimiento de los estándares de calidad.



- Embalajes y envases: estos son los que generan mayores volúmenes en los flujos de logística inversa y son los más reutilizables aunque en la mayoría de los casos son propiedad de un proveedor que se encarga de su recuperación y gestión. La recuperación de estos productos es económicamente muy atractiva en la medida en que se redistribuyen sin necesidad de volver a un proceso de producción.

Así, RL tiene un enfoque hacia la recuperación de productos post consumo, lo cual ha adquirido una atención considerable, en función al crecimiento del concepto de sustentabilidad (Maquera, 2012). Sin embargo, es importante reconocer que no todos los materiales que retornen a la cadena se encontraran en el mismo estado, por lo que se debe hacer una clasificación de retornados como se evidencia en la Figura 3.

**Figura 3** Clasificación de Retornados



**Fuente:** Maquera, 2012.

Por otra parte, Graczyk & Witkowski, (2011) plantean que: “La RL también incluye el procesamiento de la mercancía devuelta debido a daños, inventario estacional,



reposición, recuperación, retiro y exceso de inventario. También incluye programas de reciclaje, programas de materiales peligrosos, eliminación de equipos obsoletos y recuperación de activos” (p. 2).

las alternativas posibles de recuperación de productos son varias, y según Don y Doldán (2010) estas se encuentran sujetas a consideraciones tales como viabilidad técnica, calidad del producto, existencia de infraestructuras, costos, consecuencias medioambientales, entre otros. Y por mencionar algunas, ya referenciadas a lo largo de este trabajo es posible resaltar las siguientes:

- Reutilización: consiste en la recuperación del producto en sí para darle un nuevo uso. Es la forma que produce menor impacto en el entorno si no utilizan tecnologías consumidoras de mucha energía en su proceso de reutilización desprenden material contaminante. Esta se encuentra limitada a determinados tipos de producto.
- Reparación, restauración o remanufactura: estas tres sólo se diferencian por la complejidad del tratamiento siendo la reparación la que supone menor esfuerzo, y la remanufactura mayor esfuerzo y materia prima. Implican un reacondicionamiento y mejora de la calidad del producto.
- Canibalización: se basa en la recuperación de determinados componentes o partes para ser reincorporados a otros productos.
- Reciclaje: consiste en extraer por medio de combustión el contenido energético de determinadas partes de los productos. Se considera que esta alternativa no aprovecha de forma óptima la fuente de materia prima que supone los residuos.



Los neumáticos se encuentran clasificados dentro de la logística inversa como productos usados o devueltos que se recolectan después de su adquisición y se inspeccionan para clasificarlos en las diferentes categorías. El siguiente paso es disponer de ellos para su reparación, re manufactura, reciclaje, reutilización o disposición final, según la decisión para recuperar el valor o desecharlo. Los procesos clave se identifican como: adquisición del producto, recolección, inspección / clasificación y disposición (Agrawal , Singh, & Murtaza, 2015).

Las afirmaciones anteriores sugieren que la cadena de suministro abarca el abastecimiento de materias primas, producción, distribución y consumo; mientras que la RL incluye la recolección de productos usados, inspección, clasificación, recuperación, eliminación y redistribución. Por ello se podría inferir que es posible la unificación en un solo proceso.

Dado que la RL es un proceso de distintas etapas, en cada una de ellas se involucran actores diferenciados en la clasificación de los flujos, existiendo una diferencia marcada cuando los productos vuelven a una etapa de la cadena de suministro original o cuando se dirigen a una cadena distinta de la anterior. De esta forma, los actores posibles de encontrar en una cadena de suministro de RL son los siguientes:

- Actores principales: considerados los responsables de la gestión y trámites para el inicio de las operaciones de la logística inversa. Dentro de ellos se encuentran los proveedores, distribuidores, minoristas, clientes y empresas responsables de la recuperación del producto, así como el productor.
- Actores especializados: son quienes ejecutan los procesos específicos dentro de la RL. Estos son los transportadores, responsables del almacenamiento, recicladores, operadores de reprocesamiento y eliminación de desechos.
- Actores relacionados: agentes externos que tienen la posibilidad afectar la RL de la cadena de suministros desde labores socioambientales, tales



como, instituciones y organizaciones gubernamentales, colectivos y ambientalistas, entre otras.

Por otra parte, y ya habiendo descrito las etapas, características, alternativas y actores de la cadena de suministros, se considera necesario precisar que, la RL permite la realización de la idea de una economía circular, que es una desviación del modelo lineal del flujo de materia prima, a un modelo de ciclos cerrados de material y energía (Graczyk & Witkowski, 2011). La gestión de la cadena de suministro de ciclo cerrado (*Closed Loop Supply Chain* CLSC, por sus siglas en inglés) es la integración de la cadena de suministro directa e inversa en lo que respecta al diseño, control y operación de un sistema para maximizar la creación de valor en todo el ciclo de vida de un producto con recuperación dinámica de valor de diferentes tipos y volúmenes de rendimientos a lo largo del tiempo (Dutta, Das, Schultmann, & Frohling, 2016).

Frota Neto et al (2010) afirman que el objetivo principal de las CLSC es mejorar el beneficio económico máximo de los productos al final del uso. Aunque, la literatura dentro de su investigación defiende que, cerrar el ciclo también ayuda a mitigar la huella ambiental indeseable de las cadenas de suministro. Así que, se puede afirmar que este tipo de ciclo sería el ideal para aplicar a la problemática del diseño de una cadena de abastecimiento de llantas usadas considerando la logística inversa.

Sin embargo, como toda alternativa de solución a una problemática dada la RL también presenta una serie de elementos críticos que se pueden interpretar si se quiere como dificultades al interior de las cadenas de suministro, dentro de las cuales se destacan:

- La necesidad del establecimiento de políticas de decisión gubernamental y en el sector privado para la implementación de las cadenas de suministro de RL que logren el impacto deseado.



- Las entradas a un proceso de RL son impredecibles en la medida en que depende de características propias de la producción que dependen de la cotidianidad, así como también depende del uso por parte del usuario final.
- Las inspecciones deben ser realizadas en cada producto de forma individual y minuciosa, lo que implica mayor recurso humano para las empresas.
- Se debe decidir si la empresa debe realizar las distintas actividades con sus propios recursos o si, por el contrario, requerirá los servicios de un operador especializado (Don y Doldán, 2010).

#### 1.1.4 Gestión de residuos

En términos generales con los aciertos y dificultades o puntos críticos que presente, la logística inversa comprende una alternativa posible para la gestión de residuos. Demirbas (2011) plantea que: “la gestión de residuos se conoce como la recolección, el transporte, el procesamiento, el reciclaje o la eliminación, y la supervisión de los materiales de desecho. Un sistema típico de gestión de residuos comprende la recolección, el transporte, el tratamiento previo, el procesamiento y la eliminación final de los residuos” y el sistema de gestión de residuos es “el conjunto de actividades relacionadas con la manipulación, el tratamiento, la eliminación o el reciclado de los materiales de desecho” (p. 1280).

En la gestión de la cadena de suministro, las principales preocupaciones en un problema de RL son la gestión de los residuos, la recuperación de materiales o recuperación de productos (Pokharel & Mutha, 2009). Para llevar a cabo la gestión de residuos usando la logística inversa, varios autores han explicado los procesos clave para ellos desde distintas perspectivas, sin embargo, Aggarwal et al (2015) los resume en los siguientes: Adquisición de productos, colección, inspección y clasificación y disposición.

En la adquisición de productos, que es el proceso de recolección de productos, componentes o materiales en desuso provenientes de usuarios finales para su posterior procesamiento. Dado que las devoluciones de productos son inciertas en términos de tiempo, cantidad y calidad, su adquisición es importante para el éxito



de RL. Por otra parte, existe otra actividad importante realizada generalmente por el minorista y es decidir si el producto vuelve al sistema o es devuelto al consumidor.

Por su parte en la colección, los productos después de la adquisición se recogen y se entregan a las instalaciones para su inspección, clasificación y disposición. La elección del método de recolección depende de la estructura de costos y las decisiones de cantidad de recolección. La decisión de los centros de recolección y los parámetros relacionados deben involucrarse considerablemente en el diseño de RL para su eficiencia operativa.

En la inspección y clasificación, las devoluciones de productos pueden ser devoluciones comerciales, devoluciones de servicios, devoluciones de distribución o al final de su vida útil. Se requiere una inspección por separado de cada artículo para clasificar los productos. Su aspecto general y el estado de los elementos constitutivos deben ser evaluados. La clasificación depende de los costes de transporte, eliminación y desembalaje, así como de la calidad del producto devuelto.

En la disposición, una vez que se inspeccionan los productos, el siguiente paso es decidir la eliminación para su posterior procesamiento. Norek (2003) informó que las empresas en su mayoría tienen cinco opciones de recuperación, incluida la venta como nueva; repare o re empaquete y reventa como nuevo; reparar o volver a empaquetar y revender como se usa; revender a un valor más bajo en una casa de valor. Existen diferentes combinaciones que se han discutido para las alternativas de disposición. Cada estudio enfatizaba alternativas y definiciones ligeramente diferentes. Cinco alternativas de eliminación comunes discutidas por los autores son la reutilización, reparación, re manufactura, reciclaje y eliminación. Para Orhan (2011), la gestión de residuos es un método que dirige a las gerencias e instituciones a actuar por la sostenibilidad al mostrar su capacidad para usar y proteger los recursos actuales. Siendo el diseño sostenible uno de los factores fundamentales a tener en cuenta en el diseño de cualquier cadena de suministro.



### 1.1.5 Logística verde

Zhang , Gu, LV, & Wang (2010) aseguran que, la logística verde (*Green Logistics* GL, por sus siglas en inglés) es una actividad de gestión económica la cual tiene objetivo primordial no solo servir al cliente sino también el desarrollo, conectar a los proveedores y demandantes verdes<sup>2</sup>, superar los obstáculos de espacio y tiempo para lograr un movimiento eficiente y rápido de bienes y servicios.

Para mejorar el desempeño de GL, las partes logísticas individuales no solo necesitan implementar actividades y operaciones ecológicas por sí mismas, sino también la cooperación y colaboración entre las mismas. El desempeño de GL no se puede medir simplemente de manera económica, sino de manera sostenible teniendo en cuenta también los factores ambientales y sociales, que también son los objetivos de GL. Así, GL puede entenderse como la combinación de logística tradicional y RL. De igual manera, Zhang, Gu, LV & Wang (2010) mencionan los elementos importantes a tener en cuenta en un sistema de logística verde:

- Intensificación de recursos: Estos son los elementos más esenciales de la logística ecológica. A través de la integración de los recursos existentes y la optimización de la asignación de recursos, las compañías pueden mejorar la utilización de estos y reducir el consumo y el desperdicio.
- Transporte verde: Al reducir las rutas y reducir la tasa de vacío puede ahorrar energía y reducir las emisiones. Otro requisito para el transporte ecológico es mejorar la tecnología del motor de combustión interna y utilizar combustibles más limpios para mejorar la eficiencia energética.
- Almacenamiento verde: El almacenamiento ecológico requiere que el diseño del almacén sea razonable para ahorrar costos de transporte. Si el diseño es demasiado denso, aumentaría el número de tiempos de transporte y aumentaría el consumo de recursos. Si el diseño es demasiado

---

<sup>2</sup> Demandantes de procesos de manejo de mercancías y productos a través de mecanismos medio ambientalmente sustentables.



impreciso, reducirá la eficiencia del transporte y aumentará la velocidad de carga.

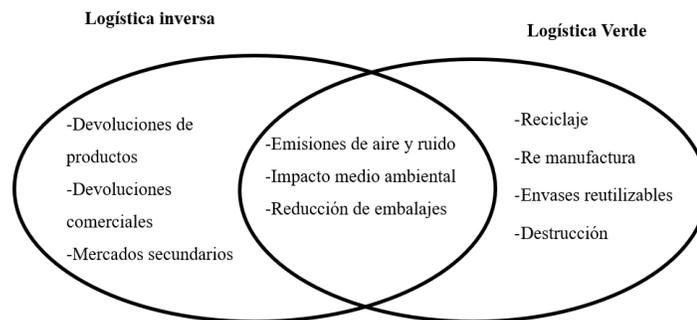
- Embalaje verde: Se debe adoptar un paquete con el cual se pueda ahorrar recursos, proteger al medio ambiente y de fácil reciclaje a través de la utilización de materiales que puedan degradarse y el ciclo de este sea corto.
- Carga y descarga verde: Se requiere eliminar el manejo ineficaz, mejorar la flexibilidad de manejo, el uso racional de la maquinaria moderna y mantener el equilibrio y la logística sin problemas.
- Procesamiento de distribución verde: Aquí se presentan dos canales principales. El primero es mejorar el uso eficiente de los recursos para reducir la contaminación ambiental y el segundo es procesar los materiales de desecho generados para reducir la contaminación de desechos causada por el proceso de dispersión.
- Reciclaje de residuos: La logística de la recolección de desechos debe organizarse de manera efectiva para garantizar que los desechos se devuelvan a la producción y el ciclo de vida se aborde adecuadamente.

Las actividades verdes de la logística incluyen la medición de las consecuencias para el medio ambiente del transporte, la reducción en el uso de la energía y de los materiales. Existen actividades verdes que no son logística inversa; por ejemplo, la reducción del consumo de energía o diseñar un embalaje que permita reducir el empaquetado, en la figura 4 se puede evidenciar la relación entre las dos (López, 2010).

#### **Figura 4** Logística Inversa y Logística Verde



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.



**Fuente.** López, 2010.

## 1.2 Concepto de la cadena de suministro con enfoque holístico

De acuerdo a lo planteado por la Real Academia Española, cuando se habla de un enfoque holístico se hace referencia a una “doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto al de la suma de las partes que lo componen”. Teniendo en cuenta esto, se podría afirmar que para hablar de una cadena de suministro es necesario hablar de la misma como un conjunto de todas sus actividades y no de sus partes.

Vilana (2010) afirma que desde el enfoque holístico, las cadenas de suministro se asumen como “una red de empresas y actividades que lleva a cabo las funciones de desarrollo de productos, obtención de materiales de los proveedores, movimiento de materiales entre instalaciones, fabricación de productos, distribución de bienes terminados a los clientes y servicio posventa” (p. 4), al igual que la Escuela de Organización Industrial -EOI- plantea que asumir la cadena de suministro desde este enfoque es coherente con la forma de integración a partir de la cual las empresas planean y controlan el flujo de bienes y servicios al interior del mercado.

Li et al. (2010 citados en Dass & Fox, 2011) afirman que las cadenas de suministro típicas están compuestas por numerosas empresas unidas en un patrón elaborado de relaciones entre compradores y vendedores. Estas redes tienen estructuras diferentes que probablemente impactan las relaciones entre las covariables claves, tales como operaciones y actividades de mercadeo y resultados de desempeño.



Con el fin de tener una buena administración de la cadena de suministro es importante tomar ciertas decisiones en torno a los distintos flujos que la componen. Al respecto, Chopra & Meindl (2008) afirman que, existen tres fases de decisión importante para la administración de las cadenas de suministro y su composición:

1. Estrategia o diseño de la cadena de suministro, en la cual se debe planear a largo plazo y se debe proyectar muy bien ya que modificar estas decisiones a corto plazo puede resultar muy costoso, por este motivo se debe considerar la incertidumbre del mercado. En esta fase se debe decidir la estructura como tal de la cadena durante los siguientes años, también se debe decidir la distribución de recursos y procesos, se tendrán en cuenta estrategias a implementar como subcontratación, ubicación y capacidades de producción e instalaciones de almacenaje, medios de transporte disponible en las distintas rutas necesarias y el tipo de sistemas de información que se manejarán, siempre buscando el cumplimiento de los objetivos estratégicos e incrementar el superávit.
2. Planeación de la cadena de suministro, en la cual las decisiones se deben considerar entre un trimestre a un año y se deben establecer las restricciones dentro de las cuales debe hacerse la planeación. La meta será superar el superávit de la cadena de suministro que se generó en la fase anterior (fase de planeación), teniendo en cuenta las restricciones dadas en la fase estratégica o de diseño. Por otra parte, es importante la realización de un pronóstico para cada año o periodo que sea comparable con demandas de distintos mercados.

La planeación incluye tomar decisiones respecto a cuáles mercados serán abastecidos y desde qué ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario que se seguirán y la oportunidad y magnitud de las promociones de marketing y precio. Otros aspectos relevantes es siempre



tener presente la incertidumbre de la demanda, tasas de cambio de divisas y la competencia durante ese periodo de tiempo.

3. Operación de la cadena de suministro, en esta etapa se manejan plazos de tiempo semanal o diario, y se decide acerca de los pedidos de los clientes, manejándolos de la mejor manera posible, teniendo en cuenta que estas decisiones se toman a corto plazo existe menos incertidumbre acerca de la información de la demanda. Durante esta fase, las compañías distribuyen el inventario o la producción entre cada uno de los pedidos, establecen una fecha en que debe completarse el pedido, generan listas de surtido en el almacén, asignan un pedido a un modo particular de transporte y envío, establecen los itinerarios de entrega de los camiones y colocan órdenes de reabastecimiento. El diseño, la planeación y la operación de una cadena de suministro tienen un fuerte impacto en la rentabilidad y en el éxito.

### 1.3 Características y factores a tener en cuenta en el diseño de una cadena de suministro inversa

La Cadena de suministro es una red cuyos nodos son entidades que cooperan para proporcionar a los clientes y usuarios productos, ya sean bienes o servicios y, cuando corresponda, recuperar, tratar y, tal vez, reutilizar productos total o parcialmente (Corominas, Mateo, Ribas, & Rubio, 2015). Shi & Zhihong (2010) plantean que, al ir más allá del reciclaje y la reutilización, la RL implica otros procesos que incluyen el manejo de los bienes o mercancías devueltos, el exceso de inventario, la reposición, el retiro de productos, el reacondicionamiento, la eliminación de productos, administración, etc. Tal movimiento proactivo puede resultar en ahorros sustanciales en costos más adelante. No existe una estrategia de RL que se aplique / se adapte a todas las industrias. Así, en la Figura 5 es posible apreciar una red de cadena de suministro inversa que se puede utilizar de





Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

Consolidación de muchos a uno	En una cadena de suministro directa, las mercancías se distribuyen desde el Centro de distribución (DC) a varios destinos, pero a la inversa, van desde diferentes lugares a un "punto único"; Puede ser un centro de retorno
Diferencia en calidad del producto	En el proceso inverso, los productos son de una variedad amplia que no puede negociarse para una calidad uniforme, mientras que, en la cadena de suministro a futuro, solo se distribuye un solo producto. "La RL no tiene transparencia y es predominantemente reactivo, es decir, la compañía planea el manejo de los materiales devueltos una vez que llega al fabricante o al lugar de eliminación"
El enrutamiento o el patrón de distribución / la red no es clara	En adelante, el plan de distribución definido está altamente establecido, mientras que, en la logística inversa, los ejercicios de enrutamiento no se hacen metódicamente
Transparencia en los costos	Los costos no son transparentes a la inversa ya que los procesos no están estandarizados, mientras que, en adelante, las estructuras de costos pueden establecerse claramente y la administración del ciclo de vida del producto se vuelve más complicada

---

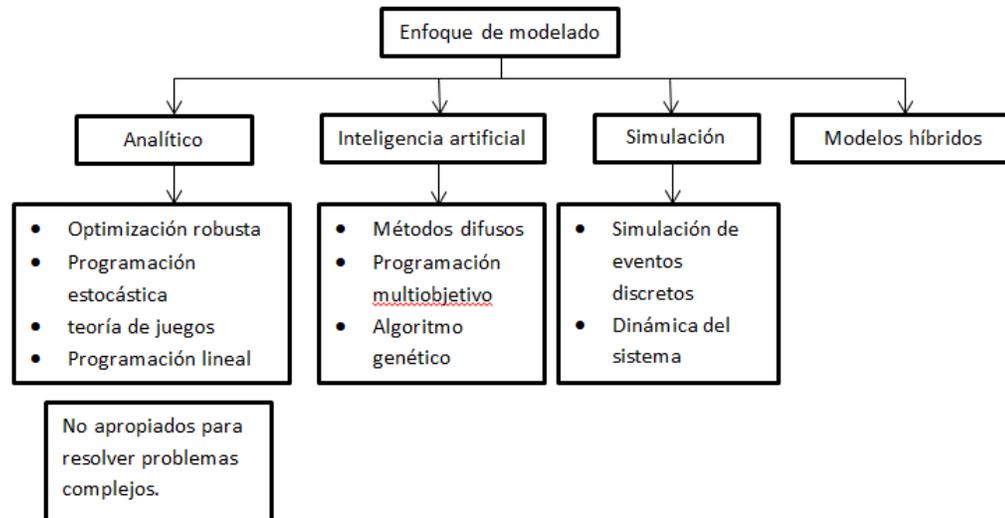
**Fuente:** Curt, (2003) y Shi & Zhihong (2010).

Por otra parte, Tahoori, Rosnah & Zukifli (2014) afirman que, algunos factores y desafíos claves que podría tener una cadena de suministro con RL va relacionado a temas de incertidumbre, decisión de disposición del producto, estrategia de adquisición, proceso de selección de proveedores y regulación de devoluciones, descritas a continuación.





**Figura 7** Enfoque de Modelado



**Fuente:** Telukdarie, Mwanza, & Mbohwa (2018).

**Decisión de disposición de productos:** Existen diferentes tipos de opciones de recuperación en la cadena inversa en el contexto de la cadena de suministro de circuito cerrado (las diferentes opciones de recuperación se pueden evidenciar en la *Figura 5* o en la *Figura 7* en una red de RL propuesta): reutilización como opción de recuperación directa y reparación, re manufactura, restauración, recuperación y reciclaje como opciones de recuperación del proceso.

En general, la reparación (devoluciones comerciales), la restauración y la remanufactura (devoluciones al final del uso) actualizan las devoluciones en términos de calidad o tecnología. De hecho, la remanufactura requiere los estándares de calidad más estrictos entre estos tres. La re manufacturación, reparación y restauración tienen como objetivo mejorar los productos devueltos, mientras que la canibalización tiene como objetivo extraer las piezas específicas de los productos devueltos y recuperarlas.

Estas piezas canibalizadas se utilizarán luego en la remanufactura, reacondicionamiento o reparación según su nivel de calidad. Además, mientras que la reparación, el reacondicionamiento, la remanufactura y la canibalización apuntan



a mantener la funcionalidad y la estructura de los productos recuperados, el reciclaje (devoluciones al final de su vida útil) elimina la identidad y la estructura de los productos para obtener el material recuperable. El material se reutilizará en la fabricación de productos nuevos o recuperados en función de su nivel de calidad. A veces, la calidad de los productos devueltos es tan buena como los nuevos, por lo tanto, estos productos se reutilizan o revenden directamente. La cadena inversa también incluye la fabricación. La fabricación en comparación con la remanufactura, tiene como objetivo minimizar la eliminación mediante el uso de piezas y materiales posibles, como neumáticos o cartuchos de impresora, mientras que la remanufactura se centra más en la renovación para mantener el diseño original, como las piezas de automóviles.

**Estrategia de adquisición:** En general, existen tres opciones para la recolección de productos usados en la cadena de suministro: recolección directa de los clientes, alentar a los minoristas a través de incentivos para realizar la recolección y subcontratar la actividad de recolección a un tercero. Por otra parte, Telukdarie, Mwanza, & Mbohwa (2018) afirma que, el aspecto fundamental de la implementación de sistemas de recolección de residuos no solo debe centrarse en el desarrollo técnico, sus capacidades y características, sino también su influencia en los hogares. Se consideran cuatro tipos de sistemas de recolección de residuos como se evidencia en la Figura 8.

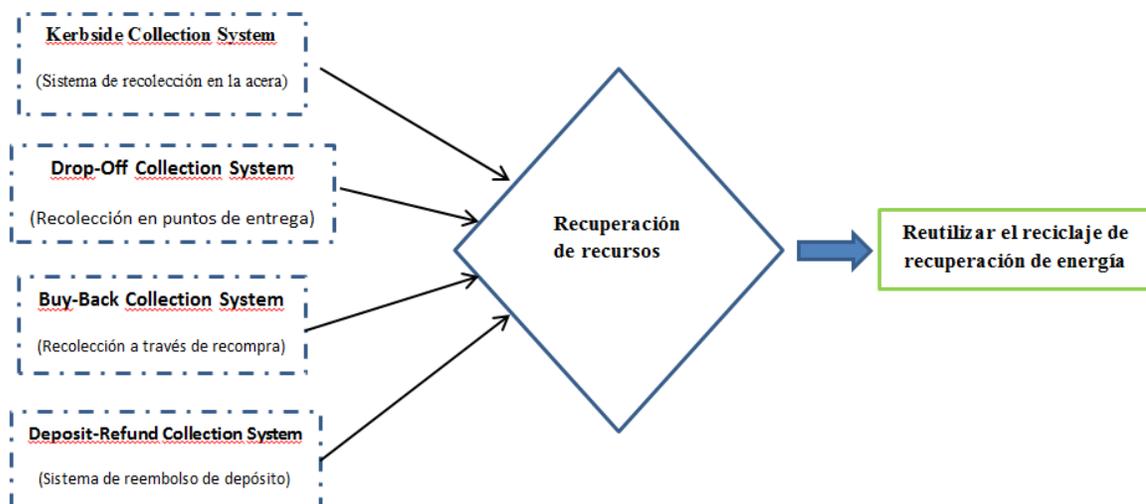
- Sistema de recolección en la acera (*Kerbside collection System* por su nombre en inglés): Asignación de contenedores, bolsas o sacos a familias individuales, se deben realizar entregas de estos mismos de forma clasificada los residuos. Noehammer HC (1997), han sugerido que no existe una respuesta única para el diseño de un programa de reciclaje en el lado del bordillo y que una variedad de diseños ha demostrado ser exitosos. Sugieren que cada programa propuesto debe considerarse individualmente y que los costos, necesidades y objetivos de la



comunidad deben considerarse. Para un caso que se presenta en Reino Unido se dan unos aportes interesantes sobre este sistema Wilson & Williams (2007) afirman que, las autoridades se encontraban nerviosas por la adopción de colecciones alternativas de residuos y residuos reciclables debido a la oposición de los residentes y concejales, en parte debido a las preocupaciones percibidas sobre olores, moscas, gusanos, roedores, etc.

- Recolección en puntos de entrega (Drop-Off Collection System por su nombre en inglés): En estos sistemas de recolección se crean puntos en los cuales los ciudadanos pueden llevar sus residuos, pueden ser centros o sitios. Se ha comprobado que la efectividad de este método va muy ligado a la cercanía o facilidad de acceso que se tenga del punto de recolección. A pesar de reducir costos e impactos ambientales en comparación de otros métodos, algunos estudios han demostrado que los sistemas de bajada tienen tasas de recuperación más bajas en comparación con los sistemas de lado de bordillo (Domina & Koch, 2002)

**Figura 8** Relación de los sistemas de recolección de residuos y la recuperación de recursos.





Fuente: **Telukdarie, Mwanza, & Mbohwa (2018).**

- Recolección a través de recompra (Buy-Back Collection System): Dutta, Das, Schultmann, & Frohling (2016) afirman que, la adquisición de productos es una de las áreas importantes que los responsables de la toma de decisiones (DM, por sus siglas en inglés) pueden analizar de forma proactiva y decidir si las operaciones de recuperación serían económicamente atractivas.

Por otra parte, se dan a conocer las principales tareas que se deben hacer para la ejecución del método:

- ✓ Primero, desarrollamos un marco de recuperación del producto que define una relación entre el monto del precio de recompra ofrecido a los consumidores para devolver un producto usado y la probabilidad con la que devuelven el producto usado al minorista.
  - ✓ Luego, el marco de recuperación desarrollado se utiliza para derivar una condición bajo la cual la oferta de recompra sería rentable.
  - ✓ Finalmente, el marco de recuperación también se utiliza para modelar los rendimientos de los productos usados y determinar el costo de la recolección a través de la oferta de recompra.
- Sistema de reembolso de depósito (Deposit-Refud Collection System): A pesar de que los fabricantes o proveedores incurren en costos adicionales de manejo de los productos devueltos, los intereses generados por los depósitos, las ventas cobradas, los productos usados y los depósitos no reclamados compensan parcialmente los costos. No es sorprendente afirmar que, los productos de desecho que se descartan de forma inadecuada dan como resultado costos sociales más altos en comparación con los desechos que se eliminan adecuadamente. Holmes



& Fulford (2014) Muestran que, en numerosos estudios de casos, se han recuperado logros del 80% como resultado de la correlación entre el logro de la satisfacción de las altas tasas de reciclaje y el uso del depósito-reembolso.

- **Proceso de selección de proveedores:** Otro desafío en la cadena de suministro de circuito cerrado es el proceso de selección de proveedores. Vale la pena mencionar que una de las nuevas tendencias de investigación en este campo es la aparición del concepto de selección de proveedores verdes. En el proceso de selección de proveedores se deben contemplar diversos factores, como la calidad, la entrega, la capacidad, las instalaciones, la tecnología, la ubicación geográfica y el precio. Los criterios de selección generalmente se encuentran en una de cuatro categorías: criterios del proveedor, criterios de desempeño del producto, criterios de desempeño del servicio o criterios de costo (Kahraman, Cebeci, & Ulukan, 2003):
  - ✓ Criterio del proveedor: Una empresa utiliza los criterios del proveedor para evaluar si el proveedor se ajusta a su estrategia de suministro y tecnología. Estas consideraciones son en gran medida independientes del producto o servicio buscado. Los criterios del proveedor se desarrollan para medir aspectos importantes del negocio del proveedor: solidez financiera, enfoque y capacidad de gestión, capacidad técnica, recursos de soporte y sistemas de calidad.
  - ✓ Criterios de rendimiento del producto: Una empresa puede utilizar los criterios de rendimiento del producto para examinar características funcionales importantes y medir la facilidad de uso del producto que se está comprando. Los criterios exactos dependen del tipo de producto considerado. Es posible que una empresa deba examinar el



cumplimiento de las especificaciones en cualquiera de las siguientes áreas: uso final, manejo, uso en la fabricación (componentes), otras consideraciones comerciales.

- ✓ Criterio de desempeño del servicio: Si el proveedor proporciona una solución que combina productos y servicios, la empresa debe asegurarse de representar adecuadamente sus necesidades de servicio en los criterios de selección. El aspecto del servicio se puede perder fácilmente en medio de las especificaciones del producto al comprar uno altamente técnico. Algunos de los conceptos empleados para juzgar los productos también se aplican a los servicios, sin embargo, la terminología es a menudo diferente y los servicios requieren otras consideraciones. Al evaluar la idoneidad de los servicios, es posible que una empresa deba examinar las siguientes áreas:
  - . Atención al cliente: accesibilidad, puntualidad, capacidad de respuesta, fiabilidad.
  - . Clientes satisfechos: valor agregado.
  - . Seguimiento: para mantener al cliente informado, para verificar la satisfacción.
  - . Profesionalidad: conocimiento, exactitud, actitud, fiabilidad.
- ✓ Criterio de costo: los costos más obvios asociados con un producto son los gastos "de bolsillo", como el precio de compra, el costo de transporte y los impuestos. Estas son típicamente consideradas durante la selección. Los gastos operativos, como el procesamiento de la transacción y el costo de los rechazos, también pueden incluirse, aunque requieren un mayor esfuerzo para estimarlos. Aunque una empresa puede expresar cualquier criterio en términos de costo estimado, en algunos casos, obtener estimaciones confiables puede ser demasiado complicado para el nivel de análisis



en la selección. Una empresa debe volver a evaluar el costo con más detalle durante la calificación.

- **Regulaciones de devolución:** Otro problema identificado en la cadena de suministro de circuito cerrado, son las regulaciones ambientales y de devolución que tienen como objetivo hacer que los fabricantes sean responsables física y financieramente de adquirir los productos usados y de desecharlos de una manera respetuosa con el medio ambiente. En general, estas regulaciones son más estrictas en la Unión Europea, mientras que en los Estados Unidos son más incentivos económicos que estimulan la cadena de suministro de circuito cerrado (CLSC) y las prácticas sostenibles. Sin embargo, debido a los enormes volúmenes de generación de desechos electrónicos (e-waste), la mayoría de las investigaciones en este campo se centran en la industria electrónica. En general, las regulaciones tienen beneficios ambientales y sociales para las empresas. Sin embargo, los estándares estrictos imponen costos adicionales de prevención y limpieza, aumentando los precios y, por consiguiente, reduciendo la competitividad. Por lo tanto, es necesario un compromiso entre la aplicación de las regulaciones ambientales y la competitividad con respecto a las legislaciones, lo que se conoce como ecología versus economía.

Además, algunos de los otros problemas importantes en la cadena de suministro de circuito cerrado son:

- Cuestiones estratégicas como: diseño de redes, estrategia de cobranza, decisión entre arrendamiento y venta, programas de recompra, respuesta a legislaciones gubernamentales e internacionales, efecto de las tareas de recuperación en el diseño de nuevos productos;
- Problemas tácticos como: adquisición de producto y disposición de devolución;

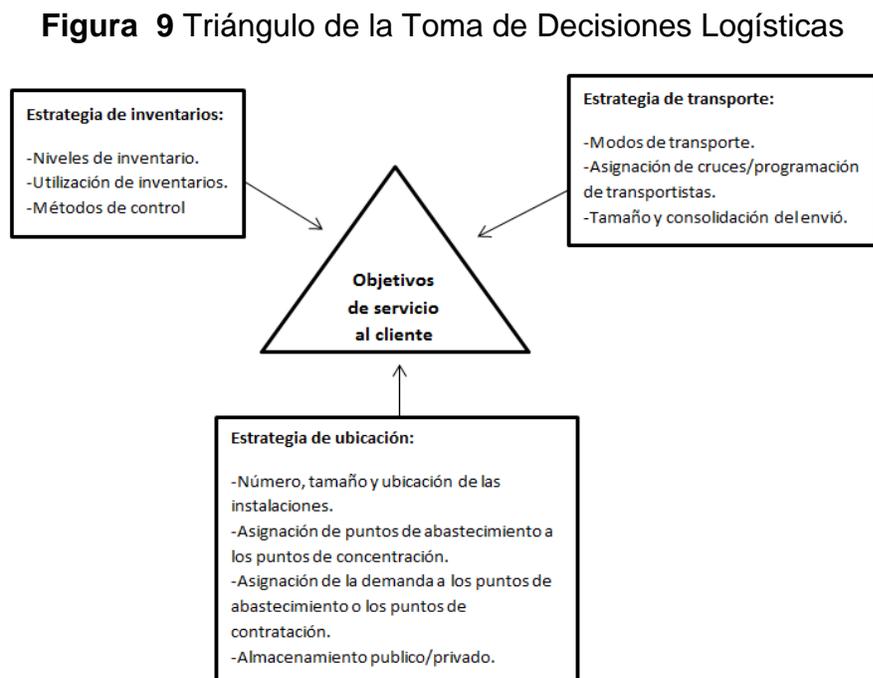


Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

- Cuestiones operativas tales como: secuenciación, programación, enrutamiento y dimensionamiento de lotes.
- Precios, valoración y comercialización de devoluciones.

#### 1.4 Diseño de la cadena de suministro

Desde otra perspectiva Ballou (2004) afirma que, la planeación logística aborda cuatro áreas principales de problemas: niveles de servicio al cliente, ubicación de instalaciones, decisiones de inventario y decisiones de transporte como se puede evidenciar en la Figura 9. Estas áreas de problemas se interrelacionan y deberán ser planeadas como una unidad, aunque es común planearlas en forma independiente. Cada una de ellas ejerce un impacto importante sobre el diseño del sistema.



**Fuente.** Ballou (2004).

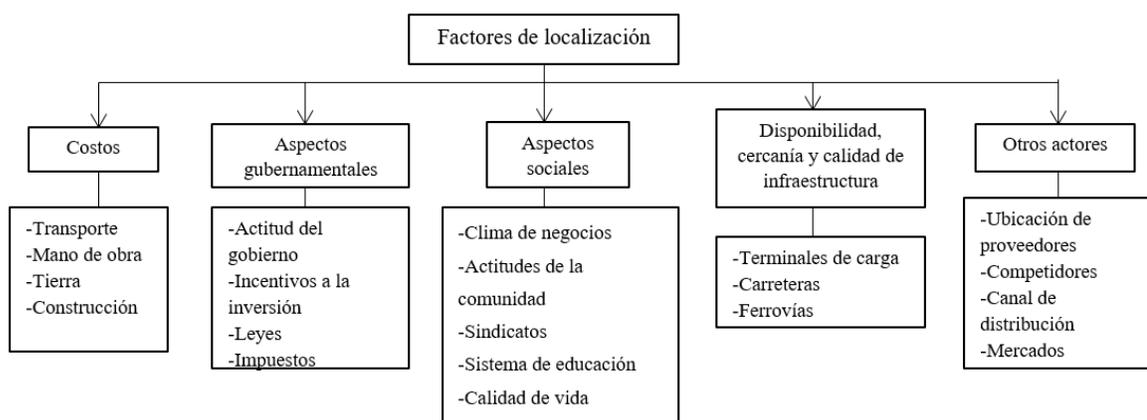


### 1.4.1 Estrategia de ubicación

Fleischmann, Beullens, Bloemhof-ruwaard & Van wassenhove (2001) plantean que, la implementación de la recuperación del producto requiere el establecimiento de una infraestructura logística adecuada para los flujos emergentes de productos usados y recuperados. Las ubicaciones físicas, las instalaciones y los enlaces de transporte deben elegirse para transmitir productos usados de sus antiguos usuarios a un productor y a mercados futuros nuevamente.

Históricamente los estudios de localización de instalaciones (LI, por sus siglas) han pasado por cuatro fases: la búsqueda de soluciones que ofrecieran menor costo de producción, el análisis de la cercanía de los mercados, la maximización de utilidades para la compañía y factores adicionales para la satisfacción del cliente. Por otra parte, se han identificado factores relevantes como se puede ver en la Figura 10 (Sarache & Morales, 2016).

**Figura 10** Factores de Localización



**Fuente.** Sarache & Morales (2016).

Asimismo, el nivel de importancia de los factores varía en los distintos sectores (ver en Tabla 2). Según lo estudiado por Sarache & Morales (2016) se puede concluir que algunos de los métodos de localización son más utilizados que otros como el problema de ubicación de instalaciones (FLP, por sus siglas en inglés), método de los centros de consumo, también conocido como método de los centros de



gravedad o método de la cuadrícula y la mediana simple, el cual es un método muy sencillo de aplicar por ser unidimensional.

**Tabla 2** Factores de mayor influencia en tres sectores empresariales

SECTORES		
MANUFACTURA	BANCA	DISTRIBUIDORES MINORISTAS
1. Disponibilidad de mano de obra calificada. 2. Regulaciones ambientales. 3. Disponibilidad de infraestructura de transporte. 4. Impuesto a la propiedad. 5. Incentivos locales a la inversión.	1. Disponibilidad de mano de obra calificada. 2. Disponibilidad de infraestructura de transporte. 3. Proximidad a los aeropuertos principales. 4. Impuestos a la propiedad. 5. Impuestos estatales.	1. Presencia de competidores. 2. Precios de la tierra. 3. Precios de la construcción. 4. Disponibilidad de capital financiero. 5. Costos de los servicios públicos.

**Fuente.** Sarache & Morales (2016).

Sin embargo, existen muchos otros métodos que se pueden utilizar para este tipo de decisiones:

- ✓ Métodos exactos: programación lineal, programación entera mixta, programación multiobjetivo, método del transporte, programación dinámica, método de poda y cota bb, método del centro de gravedad, árboles de decisión.
- ✓ Métodos multicriterio: métodos de sobre calificación, los métodos multiatributo y el método de las jerarquías analíticas AHP, teoría de la utilidad multicriterio, GAI.
- ✓ Métodos heurísticos: búsqueda local (*local search*, por su nombre en inglés), búsqueda de vecindad (*neighborhood search*, por su nombre en inglés), enfoque Greedy, entre otras.
- ✓ Meta heurísticas: algoritmos evolutivos, algoritmos genéticos, enjambre de partículas PSO (particle swarm optimization por su nombre en inglés) y mallas dinámicas DMO (dynamic mesh optimización), algoritmos bioinspirados y logística difusa.



Algunos modelos en la literatura tratan solo de logística inversa. Por lo tanto, los flujos de productos se dirigen hacia diferentes alternativas de procesamiento principalmente de acuerdo con las capacidades del sitio, sin tener en cuenta los estados de productos recuperados y las necesidades de productos valorizados. Aquí se asocian con unidades de negocios establecidas, como sitios en cadenas de suministro actual y tercero, y se diferencian como *centros de servicio, centros de procesamiento, almacenes y proveedores* (fleischmann, beullens, bloemhof-ruwaard, & van wassenhove, 2001).

#### 1.4.2 Estrategia de inventario

Sarache & Morales (2016) consideran que: “Los inventarios forman parte del flujo físico de materiales de una cadena de abastecimiento y cumplen una función reguladora que permite mantener la continuidad de los procesos de abastecimiento, producción, distribución y demás actividades conexas” (p. 24).

Por otra parte, Chouinard, D' Amours, & Ait-kadi (2008) plantean que, los flujos de productos se dirigen hacia uno o varios centros de procesamiento de acuerdo con estas proporciones y las capacidades del sitio, al tiempo que permiten que los volúmenes de productos procesados sean más bajos que los volúmenes de demanda, o más bajos que los volúmenes de productos recuperados. El desequilibrio puede así ocurrir entre la recuperación y la demanda. Este desequilibrio entre la oferta y la demanda se puede evitar al permitir que los flujos de productos se dirijan hacia muchas alternativas de procesamiento, y también al considerar suministros alternativos. En particular, los suministros alternativos pueden provenir de proveedores y sitios en la red asociados a la cadena de suministro o la logística inversa.

Debido al crecimiento que se ha tenido en las distintas industrias se ha evidenciado la necesidad de generar valor en los inventarios de retorno que tengan un impacto

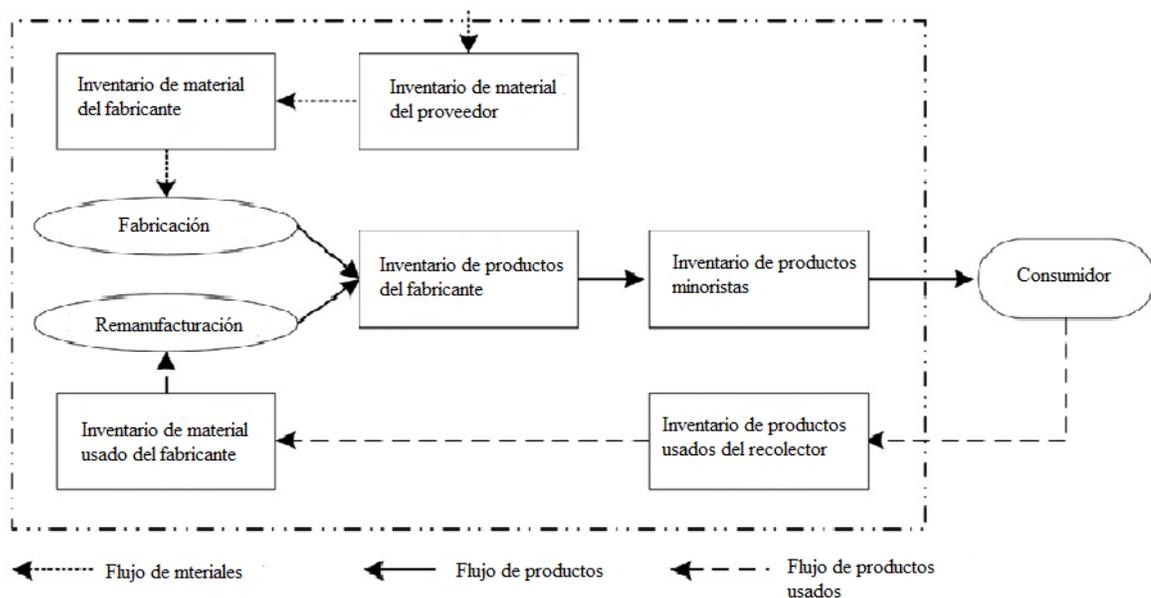


Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

positivo desde el punto de vista económico, ambiental y social. (Sarache & Morales, 2016).

Yuan & Gao (2009) al respecto proponen un sistema de cadena de suministro de circuito cerrado que solo contiene un elemento, se supone que el horizonte de planificación del sistema es infinito y el sistema consta de un minorista, un fabricante, un proveedor y un colector. La demanda del cliente se satisface con el inventario del producto del minorista y la demanda del minorista se satisface con el inventario del producto del fabricante, que consiste en productos recientemente fabricados y productos re manufacturados. El fabricante compra material del proveedor y produce productos recién fabricados por la operación de fabricación, y compra productos usados del colector y produce productos re manufacturados por la operación de re manufactura, como se evidencia en la Figura 11.

**Figura 11** Un Sistema de Cadena de Suministro de Circuito Cerrado.



**Fuente.** Yuan & Gao, 2009.



Además, para disminuir el costo de producción, el fabricante primero considera la remanufactura de productos usados y comienza la operación de manufactura cuando los productos remanufacturados se agotan (yuan & Gao, 2009). Con lo anterior, se puede evidenciar que un buen ciclo de entrega de los distintos productos va bastante ligado al manejo de inventarios que se tenga en cada uno de los ciclos de la cadena de suministro su flujo directo como inverso (Sarache & Morales, 2016).

#### 1.4.3 Estrategia de transporte

Sarache & Morales (2016) afirman que, uno de los temas más relevantes en el diseño y gestión de cadenas de abastecimiento directas e inversas es el transporte (la carga, los modos, los medios y los terminales), dependiendo del medio que una compañía pueda utilizar, esto también puede afectar las anteriores estrategias como el inventario y la ubicación. Gracias a las operaciones de transporte es posible lograr la integración de la cadena de abastecimiento a través de su flujo de materiales no solo hacia adelante, sino también en las operaciones logísticas de reversa generando utilidad de valor y de tiempo.

Existen dos aspectos importantes a tener en cuenta en el transporte:

**Economías de escala:** se refiere a la reducción que se logra en los costos de transporte por unidad, en tanto se aumente el tamaño de lote a transportar por efecto de un mejor aprovechamiento de la capacidad del medio de transporte.

**Economías de distancia:** plantean que, en la medida en que la distancia de viaje se incrementa, el costo por unidad de distancia se reducirá.

Del mismo modo existen dos decisiones estratégicas en el transporte, primero la selección de modos y medios, y segundo el diseño de rutas. Desde el punto de vista de los modos y medios de transporte es bastante relevante la elección según las necesidades por esto se toman en cuenta las ventajas y desventajas de estos según algunos factores relevantes como se evidencia en la Tabla 3.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

**Tabla 3** Comparación de Modos de Transporte

	Modos				
	Carretero	Férreo	Aéreo	Acuático	Ducto
<b>Opciones de producto</b>	Muy amplio	Amplia	Limitada	Amplia	Muy limitada
<b>Velocidad</b>	Moderado	Lenta	Rápida	Muy lenta	Muy lenta
<b>Accesibilidad</b>	Alta	Moderada	Baja	Demorada	Baja
<b>Costo</b>	Moderado	Baja	Muy alto	Muy bajo	Bajo
<b>Capacidad</b>	Baja	Moderada	Muy baja	Muy alta	Muy alta
<b>Intermodalidad</b>	Muy alta	Muy alta	Moderada	Muy alta	Muy baja

**Fuente.** Sarache & Morales, 2016.

Estos factores teniendo en cuenta aspectos como tipo de carga, la naturaleza de la carga, tipo de embalaje, marcados y las modalidades de unitarización posibles. Por último, considerar si se realizara el transporte en flota propia, servicio subcontratado o servicios públicos.

Por otra parte, la selección de rutas es fundamental debido a su directa influencia en los costos en los que se puede incurrir al tener una mala elección o no mejorar su eficiencia, en este sentido existen muchos tipos de problemas de enrutamiento, Ballou (2004) las agrupa en 3: problemas con puntos de origen y destino distintos, problemas con múltiples puntos de origen y destino y problemas con igual punto de origen y destino.

#### 1.4.4 Desarrollo sostenible

Una propuesta para compatibilizar ecología y economía que surge con el concepto de desarrollo sostenible, tiene su origen en 1972 cuando la Comisión Brundtland (establecida por la ONU para estudiar la interrelación entre el desarrollo económico y la protección al medio ambiente), fijó su atención sobre la necesidad de una justicia intergeneracional, advirtiendo que las decisiones de la generación actual deberían tener en cuenta su impacto sobre las generaciones futuras (López, 2010)

Rezaee (2018) afirma que, existe una creciente demanda para integrar las dimensiones de sostenibilidad tanto en el desempeño de sostenibilidad económica



(ESP, por sus siglas en inglés) financiera como de no financiera, ambiental, social, ético y de gobierno (ESEG, por sus siglas en inglés) en la gestión de la cadena de suministro.

Del mismo modo Graczyk & Witkowski (2011) afirman que, el desarrollo sostenible no se enfoca únicamente en temas ambientales, sino que captura ampliamente las diferentes dimensiones del desarrollo. Tradicionalmente, el desarrollo sostenible se considera conceptualmente en términos de tres pilares principales: sostenibilidad del medio ambiente, sostenibilidad económica y sostenibilidad social.

Graczyk & Witkowski (2011), definen estos tres pilares de la siguiente manera:

- La sostenibilidad ambiental se define como la capacidad del entorno para continuar funcionando adecuadamente de manera indefinida. El objetivo de la sostenibilidad ambiental es minimizar la degradación ambiental y detener e invertir el proceso que conduce a la degradación ambiental.
- La sostenibilidad económica se define como la manera de lograr el crecimiento económico respetando los límites ambientales, encontrando formas de minimizar el daño al mundo natural y haciendo uso de los recursos de la tierra de una manera sostenible.
- El pilar social del desarrollo sostenible se define como una compilación de acciones y esfuerzos para promover el desarrollo que no agota la reserva de recursos sociales y humanos, sino que contribuye a la mejora de su potencial. El pilar social también se refiere al concepto de "construir comunidades sostenibles y armoniosas".

Los supuestos del desarrollo sostenible indican claramente que la búsqueda de nuevas soluciones para los recursos técnicos, tecnológicos y logísticos, y la racionalización de la economía, la energía y los residuos deben ser una prioridad para todos los sectores empresariales y servicios.



En términos gubernamentales el desarrollo sostenible se mide a partir de los denominados Objetivos de Desarrollo del Milenio, que en su séptimo objetivo "busca garantizar la sostenibilidad del medio ambiente", refiriéndose al "aspecto ambiental indisociable pero distinguible, del desarrollo sostenible que es responder a las necesidades humanas presentes sin destruir la capacidad del medio ambiente de atender estas necesidades en el largo plazo" (p. 22).

En el mismo orden de ideas, afirma la CEPAL que, "desde principios de los años noventa se han observado importantes avances en el comportamiento de las empresas en relación con el medio ambiente a partir de la adopción de tecnologías y sistemas de gestión ambiental para combatir la contaminación y cumplir con regulaciones y normas ambientales, así como el desarrollo de estrategias de responsabilidad social empresarial" (p. 47).

En Colombia, en aras de combatir la contaminación y obligar a las empresas al cumplimiento de la responsabilidad social empresarial medio ambiental ha generado una amplia normativa cuyo objetivo es promover la protección medioambiental contemplado acciones preventivas y sancionatorias para las empresas que incumplan tal legislación. De igual manera, se han instaurado un conjunto de instituciones facultadas para el control y vigilancia de las empresas y su compromiso con el medio ambiente tales como el Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible -CECODES.



## 2 Capítulo 2. Casos Empíricos

Para efectos del presente estudio, se analizan referentes a nivel internacional y nacional considerando la logística inversa en la cadena de suministros. Se seleccionaron los más relevantes al tener en cuenta aspectos metodológicos que intervienen en el diseño de la cadena. Internacionalmente se referencian cinco trabajos a partir de los objetivos propuestos, la apuesta metodológica y los resultados. Por ejemplo, Djikanovic & Vujosevic (2015), Lu & Bostel (2007), Soleimani, Chaharlang, & Ghaderi (2017), Nallusamy, Chakraborty, Balakannan, & Majumdar (2018) y Pedram *et al* (2016). Nacionalmente se destacan los trabajos de Halabi, Montoya Torres, Pirachicán, & Mejía (2013), Camargo, Franco, Chud & Osorio (2017) y Fiorillo & Olarte (2013).

### 2.1 Referentes internacionales

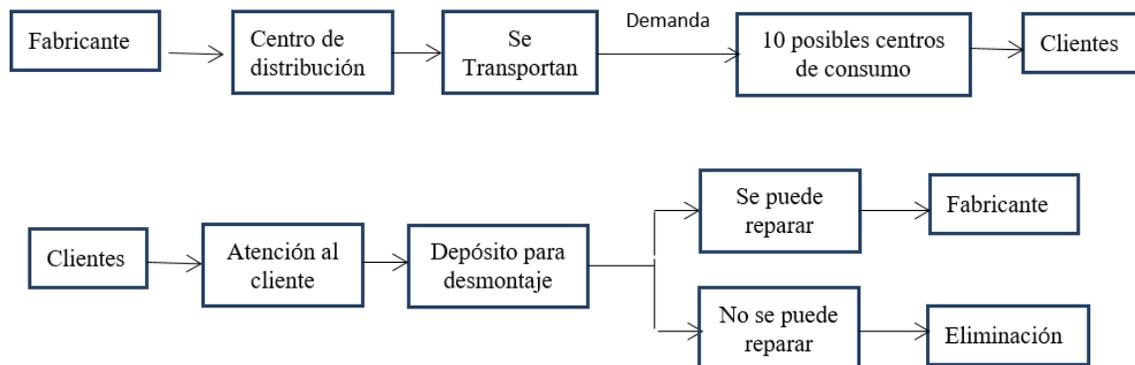
#### ***Un Modelo Integrado para el Avance de la Logística Inversa***

De acuerdo con Djikanovic & Vujosevic (2015), el concepto integrado de logística de avance y retroceso (CLSC) se estudia a partir de los datos reales recopilados en una empresa que produce dispositivos eléctricos y electrónicos “AEE” domésticos (en tamaños grandes y pequeños). Aquí se plantea que las CS son eficientes cuando la distribución de nuevos productos a los usuarios finales culmina con éxito. Así que, el movimiento de mercancías en una dirección opuesta puede causar ineficiencias y costos significativos reduciendo sus beneficios, sobre todo en lo que concierne a los modelos de optimización de los diferentes tipos de residuos. En este sentido, se propone un diseño de la red para la integración directa de la RL, integrando conceptos de avance y retroceso.



El problema de decisión es determinar cuántos y qué centros de fabricación, de distribución, depósitos para el desmontaje y de eliminación deben establecerse considerando las inversiones en las instalaciones y la infraestructura. Para la modelación y solución se empleó la programación lineal de enteros mixtos con múltiples productos. La función objetivo minimiza el costo total en flujos hacia adelante y hacia atrás (ver Figura 12) con la consideración de la penalización. Para los cálculos, se consideraron 15 vehículos cuya capacidad varía entre 310 a 350 productos y la información se recopiló por medio de entrevistas.

**Figura 12** Flujo hacia Adelante y Flujo Inverso.



**Fuente.** Elaboración propia con base en Djikanovic & Vujosevic (2015).

Adicional a lo anterior, se analizaron dos tipos de ubicación en el flujo inverso. El primer tipo, un depósito en el cual se recogen los aparatos electrónicos que se deben regresar a los centros de ventas desmontados y que se clasifican en dos grupos: los que se envían a centros de recogida y los que serán distribuidos al centro de re fabricación y el segundo tipo: los centros de recogida. Por consiguiente, el flujo de la CS gira alrededor de la infraestructura apropiada, debido a la alta toxicidad de estos equipos.

El análisis de sensibilidad se realizó mediante el método "One-at-a-time" (OAT uno a la vez por sus siglas en inglés) y consistió en evaluar cómo los costos totales se afectan al modificar parámetros bajo condiciones de incertidumbre. El incremento porcentual de los productos desechados es del 5 al 10%, lo que provoca un



aumento promedio de los costos totales de 342,401.78 unidades monetarias. Esto significa que se debe abrir un centro de eliminación más si el porcentaje de los productos eliminados es del 10%. Sin embargo, superior a este valor no se consideran. Otro factor que se evidenció es que el valor objetivo es muy sensible a la demanda. La planificación de un aumento en la demanda resultaría en una red que tiene costos totales más altos que el caso base (ver Tabla 4), en la cual es posible apreciar que en la medida en que aumenta la demanda de forma simultánea aumenta porcentualmente la diferencia a la base, es decir que la demanda determina los costos totales.

Los principales resultados demostraron que la reparación y reutilización de productos y materiales son importantes con el fin de apoyar a las poblaciones crecientes en términos de inversiones pro calidad de vida y el aumento de los niveles de consumo y el uso de los productos, por lo cual el diseño proporciona una plataforma para una gestión eficiente y eficaz.

**Tabla 4** Análisis de Sensibilidad para Diferentes Demandas

Demanda	Diferencia a la base del caso (%)
800	15.99%
900	17.40%
1000	18.79%
1200	27.99%
1400	30.06%
1600	37.23%
1800	38.80%
2000	44.46%

**Fuente.** Elaboración propia, Djikanovic & Vujosevic (2015).

### ***Modelo de Facilidad de Alquiler para Sistemas de Logística Inversa incluyendo flujos: el caso de las actividades de refabricación.***

Este estudio presenta un problema de alquiler de las instalaciones según la localización. Para la localización se consideran dos niveles con tres tipos de instalación (productores, centros de remanufactura e intermedios) que se ubican



en una especificación del sistema de RL denominado red de remanufactura (RMN). Como alternativa de solución se propone un modelo de programación entera mixta con consideraciones de flujos directos e inversos y su interacción mutua. En este sistema se asume cuatro tipos de actores: clientes, centros intermedios, centros de remanufactura y productores. En el flujo inverso se conectan los clientes a través de los centros intermedios a los centros de remanufactura de productos usados. Mientras que el flujo directo comunica los centros de remanufactura o productores directamente a los clientes.

El objetivo del modelo es la minimización de los costos totales y se implementa en C++. El generador de modelo del programa lineal es LP-ToolKit 4.15, y el solucionador de programa lineal es Cplex Solver 7.1. Los experimentos se llevan a cabo en datos adaptados de tres problemas de prueba clásicos. Los resultados demuestran que los flujos inversos influyen en las decisiones sobre la ubicación y la asignación. Esta influencia varía con la magnitud de los flujos inversos, su distribución en los sitios de demanda y su correlación con los flujos futuros. Para un mayor desarrollo, se pueden usar los límites inferiores obtenidos en el algoritmo en un procedimiento de Rama y Límite y, por lo tanto, resolver de manera efectiva los problemas con soluciones exactas. Dentro de los principales hallazgos del estudio, se encuentra que el costo de producir una unidad de producto se supone que es mucho mayor que el costo de obtener un producto remanufacturado. De esta forma, todos los productos remanufacturados que se pueden obtener en el sistema deben ser plenamente utilizados para satisfacer las demandas de productos de los clientes, generando así mayores ingresos que permiten suplir costos pasando de fijos a variables.

### ***Enrutamiento de Vehículos con Recogida y Entrega teniendo en cuenta Criterios Sostenibles y Ecológicos***



Soleimani, Chaharlang, & Ghaderi (2017) formulan un problema de VRP con vehículos verdes al aplicarlo en tres estudios. El VRP propuesto considera que los puntos de destino de las demandas de productos originales y remanufacturados son los puntos de recolección de los productos devueltos. Al utilizar esta estrategia, el costo de recolección de los artículos al final de la vida útil y el proceso de remanufactura llegan a ser rentables. Algunos factores de relevancia para este tipo de decisiones incluyen la condición del tráfico, la regulación gubernamental, la puntualidad y los aspectos de sostenibilidad. En este estudio se desarrolla un modelo con objetivos múltiples y se incorporan dos funciones objetivas: minimizar el costo total de distribución y minimizar la energía total consumida por los vehículos en el sistema de distribución.

El nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> producido en el sistema se considera una restricción en este modelo. Para validar el modelo, el código fue desarrollado por GAMS IDE/Cplex considerando 10 problemas utilizando el algoritmo de simulación de datos en escalas pequeñas y medianas. Los datos para el modelo de investigación principal también se produjeron en GAMS. Los resultados muestran que cuando el valor de la función objetiva aumenta (cuanto mayor sea su coeficiente), no produce una solución peor, es decir, entrega la solución más antigua o mejor. Viceversa, cuando el coeficiente de la función objetivo o su valor disminuyen, la solución no mejora.

El segundo estudio comprende un sistema de distribución para uno de los periódicos iraníes más conocidos, Hamshahri. En este caso, se analizan 36 kioscos de dos distritos de Teherán. Los periódicos se distribuyen utilizando cuatro camionetas. Todas las operaciones se manejan a través de un centro de distribución. Cuando las furgonetas entregan los nuevos periódicos, recogen los no vendidos de los kioscos que los retienen para regresar al centro de distribución. Luego, los kioscos que necesitan periódicos antiguos los ordenan a través del centro.



En el tercer estudio, se considera la industria automotriz, donde los datos necesarios para probar el modelo se obtuvieron de dos fuentes principales: el centro de distribución y el fabricante de automóviles (Irán-Khodro). Al tener los datos pertinentes se proponen dos casos y determinar la validez del modelo. En el primero se considera una situación en la que un sistema de recolección y entrega distribuye productos de primera y segunda mano y recoge los productos de segunda mano devueltos y en el segundo caso, la recogida y entrega se realizan por separado.

En particular, la distribución de productos de primera y segunda mano a través de un sistema compartido proporciona enormes beneficios financieros y ambientales para el fabricante, el distribuidor y los consumidores. Por consiguiente, en un contexto de RL es necesario considerar que los aspectos de re fabricación se refiere a la redistribución de los productos originales, recogiendo productos considerados de segunda mano o hacia el final de la vida útil para reparar y redistribuir en un mercado diferente a un precio mucho más bajo, lo cual en términos comerciales no hace posible asumir altos costos de transporte obligando a las empresas a buscar estrategias alternativas para el proceso de recolección, reparación y redistribución. De igual forma, es necesario considerar el compromiso con el impacto ambiental que asumen tales empresas, lo que también obliga a la reducción de costos en aras de la no contaminación y la protección del medio ambiente.

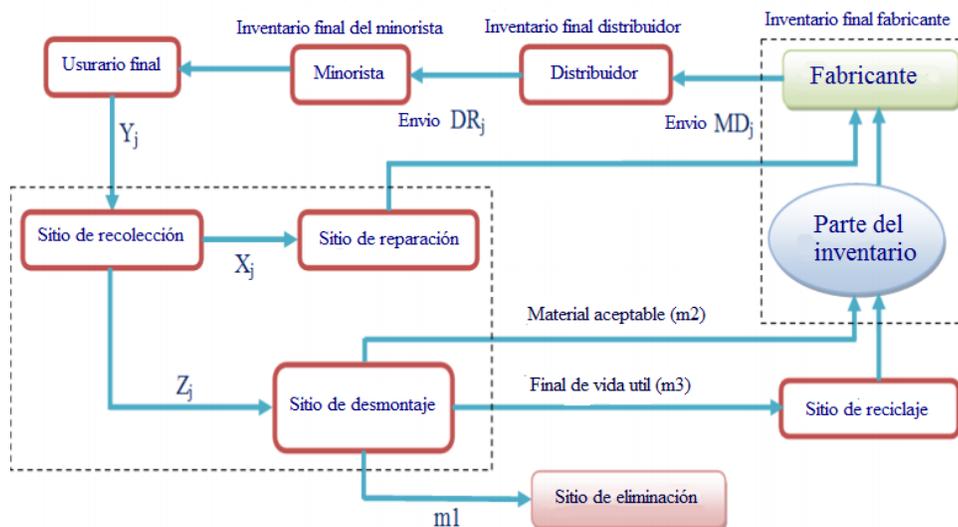
### ***Modelo de Programación Lineal Entera Mixta en una red de circuito cerrado de alimentación para el sistema de manufactura***

Nallusamy, Chakraborty, Balakannan & Majumdar (2018) desarrollan un modelo de programación lineal entera mixta con el fin de configurar la CLSC para maximizar el beneficio considerando una política de inventario (ver Figura 13) teniendo en cuenta la cantidad de la orden en varios sitios y en múltiples periodos. En la CS



hacia adelante, se formula una política de revisión continua. No obstante, se torna complejo y poco manejable en el flujo inverso la misma consideración. Partiendo de esta premisa, el modelo está diseñado en función de la demanda de producto durante varios períodos y determina el inventario de producto y mezcla de piezas en diferentes sitios. El objetivo está determinado por una función de costos, la cual se evalúa el costo incurrido en varios sitios (Minorista + Distribuidor + Fabricante + Recolección + Desmontaje + Reparación + Eliminación + Reciclaje). En este caso, el modelo tiene un producto y cada producto se realiza con tres partes diferentes A, B y C, donde se requieren dos de A, una de B y una de C. Se ha utilizado IBM ILOG CPLEX Optimization studio v.12.5 para obtener la solución óptima.

**Figura 13** Modelo propuesto de cadena de suministro de circuito cerrado.



**Fuente.** Elaboración propia con base en Nallusamy, Chakraborty, Balakannan, & Majumdar (2018).

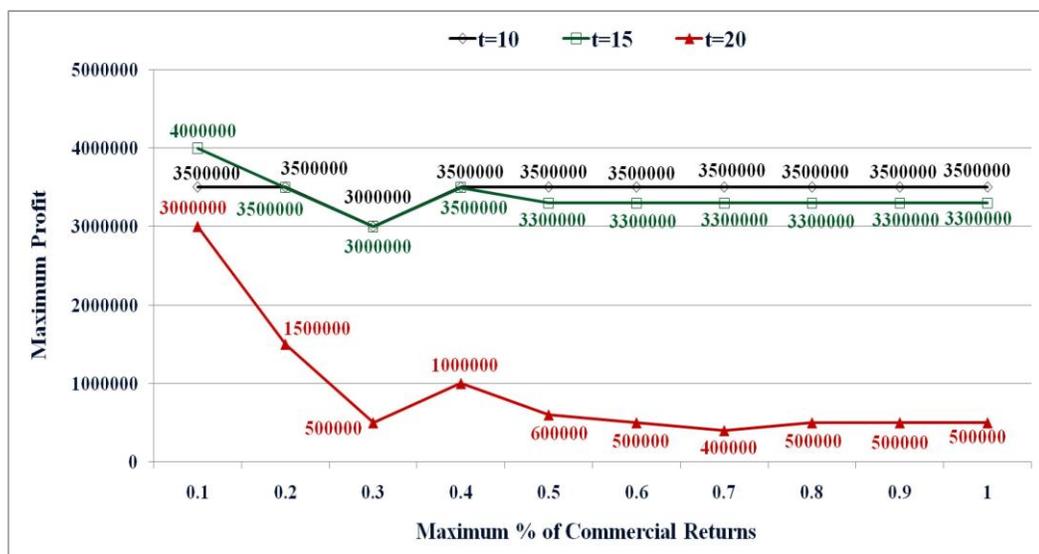
La estructura de la RL consiste de un fabricante, lugar de eliminación y sitios de reciclaje. Se halló que después de usar los productos algunos de los clientes retornaron los productos utilizados en distintos periodos en el lugar de recogida los cuales es posible segregar en dos tipos de productos devueltos: productos comerciales que se envían al sitio de reparación para la renovación y reparaciones



menores, y aquellos que se podrían tomar en los sitios de desmontaje y desmontaje en piezas más pequeñas.

Dentro de los principales resultados obtenidos, el análisis de sensibilidad evidenció (ver Figura 18) que la ganancia se mantiene sobre una línea para cierto periodo de tiempo, existiendo una disminución repentina en la ganancia con independencia del porcentaje de beneficios comerciales debido al alto coste en la cadena inversa. Como conclusión general se encuentra que: El beneficio máximo de la CLSC puede alcanzar hasta el 60% de los productos enviados al lugar de la reparación. En la medida en que el periodo de tiempo aumenta la ganancia tiende a disminuir debido al aumento de los costos de la cadena de retorno. El beneficio máximo se puede lograr, si la capacidad del sitio de desmontaje se mantiene superior a 600 unidades.

**Figura 14** Análisis de Sensibilidad de los rendimientos totales (porcentaje máximo vs Beneficios)



**Fuente.** Nallusamy, S; Balakannan, K; Chakraborty, P & Majumdar, G. (2017)



### ***Avance y Retroceso Integrados en la Cadena de suministros: un estudio de caso de neumáticos***

Pedram et al. (2016) realizaron un estudio de caso de neumáticos vinculando en el primer modelo la cadena de suministro con el concepto de RL. En este trabajo se intentó integrar el avance y retroceso en la cadena de suministro con el fin de diseñar una red de CLSC no sólo para obtener beneficios sino también para disminuir los residuos con el objetivo final del desarrollo sostenible (ver Figura 14). La propuesta parte de la incertidumbre de la demanda, la rentabilidad y la calidad de los productos de retorno para maximizar el beneficio y proporcionar apoyo a las decisiones para la gestión de residuos y reducir la contaminación.

Teóricamente, los autores parten de la premisa de que: “Con los rápidos cambios en la tecnología y la consiguiente reducción en el ciclo de vida de los productos, los consumidores producen más desechos y productos desechables lo que ha dado lugar a graves problemas medioambientales, como el rápido agotamiento de los recursos, la producción de los residuos más tóxicos y no tóxicos, contaminación del aire y del agua y el cambio climático. Los neumáticos se consideran como una de las principales fuentes de generación de residuos, las estadísticas muestran que más de 1.000.000 de toneladas de llantas de desecho se recogen cada año, lo que significa la posibilidad de un enorme problema de eliminación que provoca riesgo para la salud, para lo que se propone el recauchutado como estrategia clave para la reducción de residuos y el consumo de materia prima no renovable” (pp. 2 -3).

Respecto a la metodología, se analizaron los posibles escenarios para generar la incertidumbre de la demanda. Seguidamente, se contrastaron los modelos de diseños de redes de CS existentes y una nueva aplicación para una CLSC que permita reducir los residuos. En el estudio se cita a ABC, un fabricante de neumáticos para automóviles con sede en Teherán, Irán que produce diferentes tipos con características específicas en tamaño y calidad. Los clientes de ABC van desde un fabricante de automóviles de equipo original (Bing et al., 2012), que

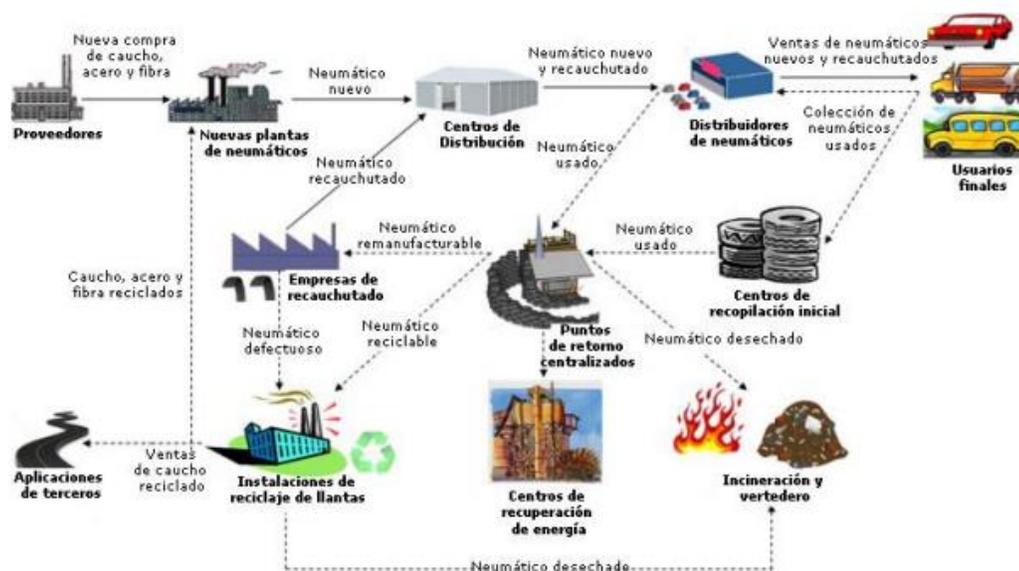


Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

produce automóviles en Irán y clientes de talleres fijos que reemplazan llantas para clientes individuales.

La red de ABC es una cadena de suministro de tres niveles que involucra plantas de producción, centros de distribución regionales y un conjunto de puntos de entrega. ABC tiene 6 tipos de productos, 3 plantas de producción, 10 centros de distribución regional y 40 puntos de entrega agregados para una región en particular. ABC desea seleccionar 5 de los 7 centros de recolección y 3 de los 5 centros de recauchutados potenciales, seleccionando así 7 sitios potenciales para los centros de recolección. Los modelos se ejecutaron en GAMS rev 140, incluida la producción de CPLEX 9.0. El resultado muestra que, para tener una configuración óptima, algunas instalaciones deberían cerrar. Aunque el número de variables es alto, el tiempo de cálculo para problemas de este tamaño es lo suficientemente rápido para tomar decisiones estratégicas.

**Figura 15** CSCC con Múltiples Opciones de Recuperación para Llantas.



**Fuente.** Subulan, SerdarTaşan, & Baykasoğlu, Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming (2015).



La red que se propone implica a cadena de suministro hacia delante de tres escalones: un fabricante (M), un centro de distribución (DC) y un cliente (K), mientras que la cadena de suministro inversa implica un centro de colección (CC), un centro de recauchutado (RM) y un centro de reciclaje (RC). De esta se concluye que este modelo determina el número óptimo de distribución, recogida, recauchutado y centros de reciclaje, así como determina el número y la ubicación de cada instalación y su capacidad como decisiones estratégicas.

## 2.2 Referentes nacionales

### ***Marco de Modelos de Prácticas de Logística Inversa en el Sector del Plástico de Colombia***

Halabi, Montoya Torres, Pirachicán & Mejía (2013) desarrollaron un estudio cuyo objetivo es proporcionar algunas ideas sobre el desarrollo de las prácticas de RL en Colombia, donde se evidencia que las operaciones son muy recientes pero que es posible identificar procesos alrededor de la industria del plástico, en el que se han considerado estas prácticas como una estrategia que puede generar ventajas competitivas.

Se seleccionaron y se visitaron cinco empresas del sector plástico conformadas por cuatro fábricas y un recolector de residuos, los cuales representan la dinámica y el rendimiento de esta industria. Todas estas empresas están ubicadas en la región industrial de Bogotá. La primera compañía es una proveedora de casquillos para las industrias de bebidas y cerveza suaves, la cual fabrica cubiertas de plástico y metálicos. Esta compañía realiza actividades relacionadas con RL, tales como (residuos de la producción de subproductos, rendimiento comercial) de recogida y selección para su reciclaje por otros. La segunda empresa es un fabricante y vendedor de botellas termo conformadas, productos autoadhesivos, pegatinas, papel de aluminio, polipropileno orientado biaxial-y tazas desechables y platos. Esta empresa ha hecho las actividades RL como la recogida de residuos de la producción de subproductos, la selección para su reutilización y reciclado hasta



seis veces en el uso original (chatarra post-industrial), y selección para su reciclaje en otros usos.

La Compañía número tres fabrica películas de polietileno, aluminio y polipropileno, etiquetas de plástico impresas, tapones de botellas de plástico, envases de plástico para comida y bebidas, exhibidores de frutas y verduras, botellas de plástico de aceite más limpias y de lubricación, cestas de plástico para transporte, cubos de limpieza y productos promocionales. Esta compañía realiza actividades de RL, tales como la recolección de residuos de la producción de subproductos, rendimiento comercial y la reutilización, la selección, el reprocesamiento (reutilización, de refabricación y reciclaje) y la redistribución. La cuarta empresa produce bolsas tejidas de cinta de embalar y diversos materiales de embalaje de polipropileno. Esta compañía cubre todas las actividades de RL de recogida, selección, la reprocesamiento (reutilización, refabricación y reciclaje), eliminación y redistribución. Finalmente, la última empresa ofrece servicios de recogida, transporte y tratamiento final de la chatarra de hospital, que incluye materiales orgánicos y materiales reciclables que han estado en contacto con fluidos corporales humanos o animales, plástico y metales.

Durante las visitas, se interrogo sobre la práctica general de RL incluidas las estrategias competitivas de la empresa, el flujo del proceso de devolución de mercancías, las opciones de reutilización y los factores que los afectan permitiendo modelar todo el proceso de RL para cada empresa. La construcción de un marco genérico de modelado conceptual para todo el sector plástico, permitió extraer cuatro niveles específicos del modelo de RL. En el primer nivel se examina el proceso de recolección, en el segundo y tercer nivel los procesos de selección y redistribución, finalmente los procesos comerciales y estratégicos.

En términos generales, se utilizan preguntas de opción múltiple para capturar el alcance de las posibles respuestas y para ampliar el número de casos en la muestra tomada. Como consecuencia, se consideran y se categorizan 165 variables y una



conclusión preliminar de la encuesta es que la división funcional de las empresas entrevistadas implica el objetivo de implementar prácticas de RL. El objetivo general es recuperar el valor del producto usado que falla solo en una pequeña fracción de los costos de producción originales. En la encuesta, dos procesos aparecieron como predominantes: la recolección y la selección. La gestión de *outsourcing* no se maneja en Colombia para las prácticas de RL y no hay una tendencia a ejecutar prácticas 3PL en el futuro. Por otro lado, el compromiso de recuperación de productos de desecho es realizado por agentes nacionales, principalmente a través de productores y comerciantes de productos finales. También se puede concluir que existe una preocupación por la disminución de los impactos ambientales relacionados con la imagen verde que las empresas desean presentar al mercado.

Los procesos de la cadena de suministro inversa se basan en productos de reciclaje con materiales recuperados que utilizan las instalaciones de producción y se evidencia que el conocimiento del ciclo de vida del producto podría fortalecer la capacidad del sistema para recibir retornos. Sin embargo, se encuentran barreras iniciales para la implementación de prácticas de RL que no son impulsadas por los fabricantes. Finalmente, el estudio detectó que la cadena RL en el sector del plástico está siendo impulsada por proveedores de materias primas y componentes que, a su vez, controlan a su conveniencia los procesos de recolección de residuos, lo cual se muestra al no encontrar diferencia entre los flujos de distribución directos e inversos. Siendo estos últimos donde la atención es escasa.

### ***Modelo de Simulación Dinámica para Evaluar el Impacto Ambiental de la Producción y RL de las Llantas***

Camargo, Franco, Chud & Osorio (2017) proponen un modelo que utiliza la dinámica de sistemas para explicar el comportamiento de las emisiones generadas por cuatro procesos: la producción de llantas nuevas, el reencauche, la trituración



mecánica y el co-procesamiento, siendo los tres últimos donde es posible aprovechar los residuos en la ciudad de Cali. Se parte de la premisa que la RL sirve para medir el desempeño en cuanto a factores económicos, legales, ambientales y operacionales, mejorando las prácticas de sostenibilidad que se llevan a cabo al interior de las empresas generando mejores indicadores de rendimiento y competitividad para las mismas.

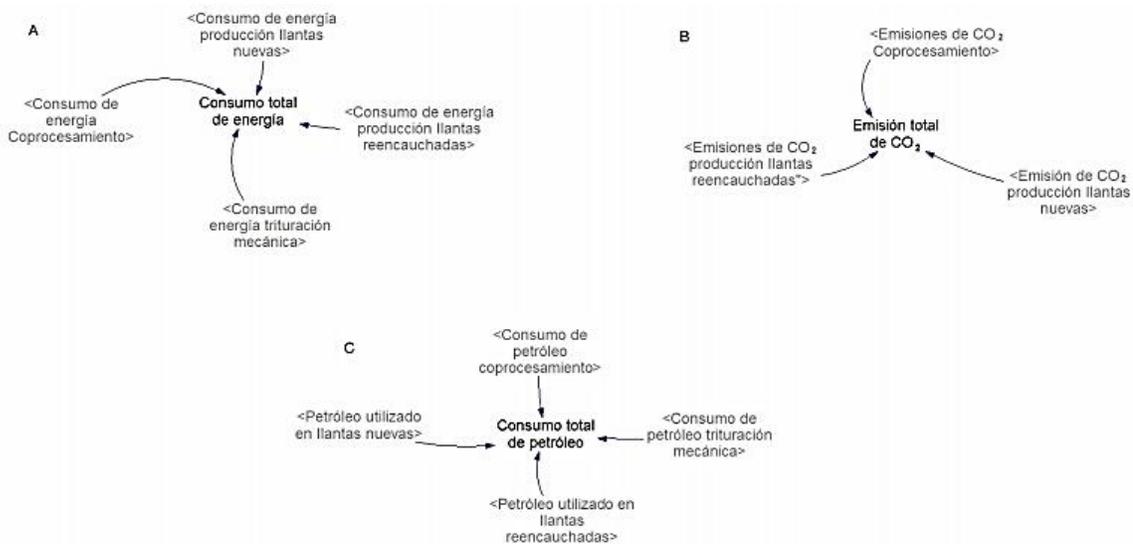
Metodológicamente el estudio se realizó en tres etapas: Revisión bibliográfica de la cual el principal hallazgo fue la evidencia de la inexistencia de referentes que hayan abordado la RL de las llantas mediante la dinámica de sistemas. La segunda es el diseño de un modelo que permita evaluar los principales impactos ambientales generados por los procesos de coprocesamiento, reencauche y trituración mecánica. La tercera etapa, consistió en la aplicación del modelo para la cual se escogieron llantas para automóviles de servicio particular de rin 13 a 17, utilizando la información de Bogotá, en la medida en que allí se encontró la mayor cantidad de información para el análisis.

Los resultados de estudio se interpretaron a partir de la simulación utilizando el diagrama de Forester que permite exponer las medidas de impacto ambiental tales como consumo de petróleo, consumo de agua y emisiones de CO<sub>2</sub> (ilustradas en la Figura 15). Considerando estas medidas, en la Figura 16 se detalla un diagrama causal de la RL de las llantas en el cual se encuentran “cuatro bucles de realimentación, dos de refuerzo (R1 y R2) y dos de compensación (B1 y B2). Estos representan las relaciones de influencia asociadas a las actividades de disposición final y el impacto que dichas actividades generan al ambiente” (p. 362).



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

**Figura 16** Medidas de Desempeño Ambiental Estudiadas

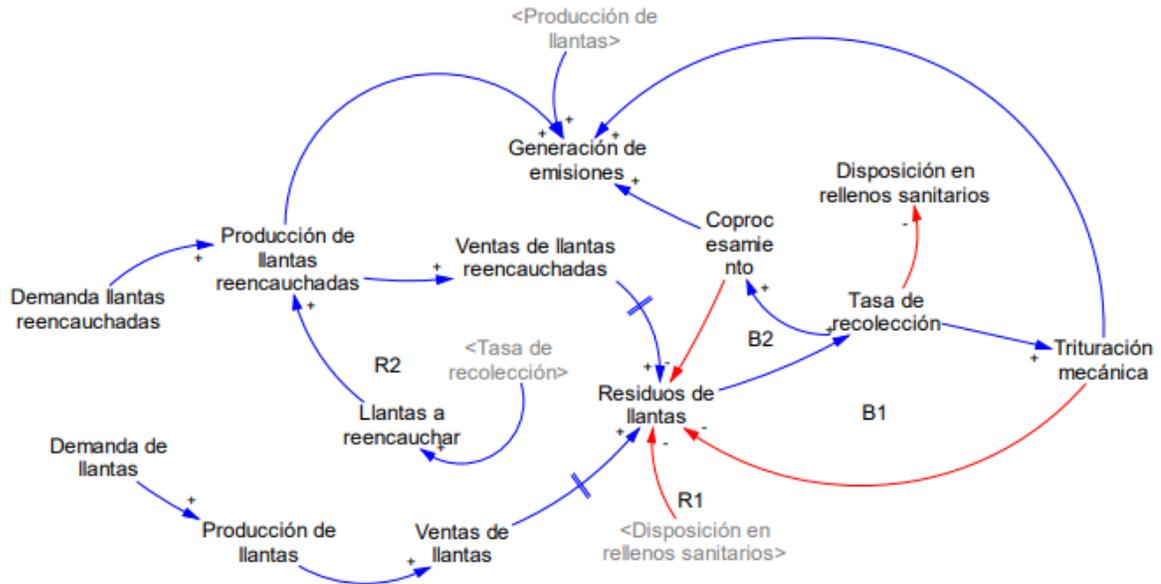


**Fuente.** Camargo, Franco, Chud & Osorio (2017).

Para la simulación de la puesta en práctica del modelo fue necesario tener en cuenta la demanda de llantas nuevas y reencauchadas en cuanto el modelo propuesto exige una distinción de las mismas. Para ello se realizó el pronóstico de la demanda total de llantas, realizados a partir de la regresión matemática, la cual mostró que la tendencia de la demanda es creciente y que el pronóstico se ajusta a la demanda.



**Figura 17** Diagrama Causal de la Logística Inversa de las Llantas



**Fuente.** Camargo, Franco, Chud & Osorio (2017).

Seguidamente, se analizaron las variables relativas a la disposición final: disposición a coprocesamiento, disposición a reencauchar y disposición a triturar, encontrando que en el coprocesamiento es la que mayor flujo de residuos de llantas presenta siendo mayor esta tasa de disposición. las emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción de llantas nuevas sobrepasa en gran medida la cantidad de emisiones generadas para la producción de llantas reencauchadas y el coprocesamiento, esto debido a que la cantidad de llantas dispuestas a reencauchar y co procesar son muy pocas en comparación a las llantas nuevas que se producen. Dentro de los principales hallazgos, se obtuvo que las llantas recolectadas muestran con el tiempo un aumento en cuanto la tasa de recolección estipulada por la política ambiental hasta el año 2021, por lo que la tasa de recolección se mantiene constante. Por otro lado, con respecto a las llantas en el relleno sanitario se muestra una acumulación que aumenta en cada periodo de simulación y que con el tiempo sobrepasa los residuos de llantas.



### ***Diseño de un Modelo Descriptivo de Logística Reversa para Pymes del Sector Textil Colombiano (Subsector Tejeduría de Productos Textiles)***

Fiorillo & Olarte (2013) formulan un estudio que analiza aspectos tanto de planeación como de operación necesarios para el diseño e implementación de un modelo de RL en el sector textil pymes, ya que sus productos presentan multiplicidad de opciones de reciclaje de sus fibras para obtener nuevos usos dentro de la misma industria proporcionando ventajas productivas y competitivas en una metodología de 4 fases:

1. Análisis de las opciones que tiene una empresa en el sector textil (subsector tejeduría) para lograr la recuperación de productos fuera de uso y residuos de la operación.
2. Análisis de las implicaciones estratégicas, ambientales, económicas y operativas de implantar un modelo de logística de reversa.
3. Definición de la estructura de un modelo de logística reversa propio de una empresa del sector de estudio bajo la metodología SCOR y métricas.
4. Plan estratégico de implementación.

El modelo propuesto permite recuperar el valor económico de los productos fuera de uso, favoreciendo el cumplimiento de la normativa ambiental y legal como una oportunidad de rentabilidad. En el mismo sentido, la estructura analítica permitió conocer los procesos que se desarrollan y facilitan su implementación. En el marco de la metodología, se consideró el modelo SCOR (ver Figura 17). Este modelo se adapta a las características propias del sector de la confección definiendo los macro procesos de nivel 1 y 2, para luego caracterizar el nivel 3 del macro proceso: devolver, estableciendo finalmente los atributos de desempeño como las métricas respectivas. Este modelo se estructura en un plan estratégico de 5 etapas:

1. Planeación: en la cual se realiza un análisis de desempeño de la organización para compararlo con el postulado estratégico de la misma.



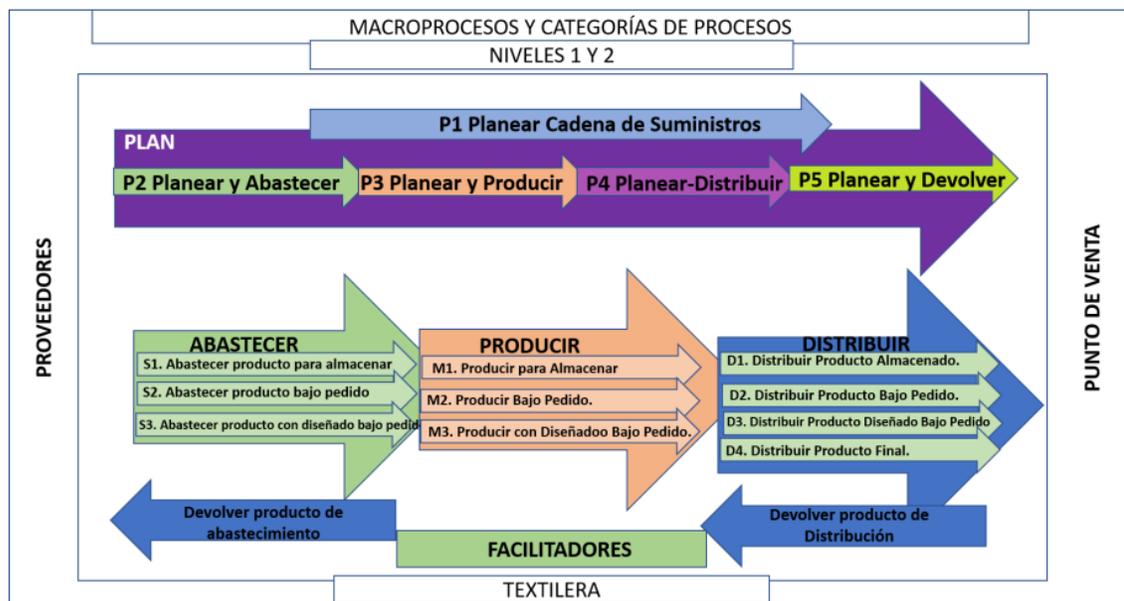
2. Diseño de la cadena de suministro *AS-IS* (Actual) y cadena de suministro *TO BE* (Ideal): en la cual se empieza a caracterizar el flujo directo que la conforma de acuerdo con la nomenclatura propuesta por el SCOR. En este punto se pretende obtener el estado actual (As – Is) de la cadena de suministros para tener un punto de partida e identificar los procesos que se desean optimizar.
3. Selección de métricas y mejores prácticas: se toman como guías las métricas y atributos de desempeño propuestos por el SCOR, seleccionando las que más se ajustan a las necesidades y organizándolas en una tabla junto con la descripción y meta a alcanzar.
4. Estructura final de la cadena de suministro: ya caracterizado el macro proceso “devolver”, con sus categorías, elementos y métricas, se presenta el diagrama final de la cadena de suministros con todos los macroprocesos, utilizando un lenguaje entendible por todos los miembros de la organización y en función de sus sistemas y recursos.
5. Implicaciones económicas del proyecto: se identifican las implicaciones de la implantación del macro proceso “devolver” en la organización, estableciendo estrategias y los beneficios esperados de cada una de ellas.

De este estudio se destaca que: El reciclaje de fibras es una oportunidad para adquirir ventaja competitiva en el sector, ya que al reducir los costos de producción y no depender de las potencias líderes, las PYMES textiles adquieren mayor participación en el mercado.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

**Figura 18** Caracterización genérico de la Cadena de Suministro de una Empresa Textil.



**Fuente.** Fiorillo & Olarte (2013).

### 2.3 Análisis de las variables que intervienen en el diseño

Es evidente que los referentes citados en las secciones anteriores muestran que el diseño de cadenas de suministro debe ser considerado bajo un enfoque holístico e integrando procesos que integre para un producto desde su diseño hasta la disposición final. En este sentido, los flujos hacia adelante y los inversos deben estar integrados para que se optimicen los procesos de transporte. Los empaques, además de cumplir su función principal, deben promover diversos usos. Las instalaciones deben convertirse no solo en centros de una sola función, deben realizar procesos de distribución y de acopio para productos con flujo inverso. Las prácticas de los agentes que intervienen en la cadena deben considerar aspectos ambientales evidenciados en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la reducción de consumo de recursos, en especial el agua, los derivados del petróleo y la energía. Por consiguiente, la tendencia de funciones objetivos considerando el



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

impacto ambiental. Aunque en el país no se evidencia una rigurosidad en el cumplimiento de normas legales ni de prácticas rigurosas, si existe preocupación por algunos sectores que buscan la generación de valor en la LR. En la Tabla 5 se resalta la influencia de estas variables en algunos de los estudios referenciados.

**Tabla 5** Identificación y Análisis de Variables.

CASO	AUTOR	Consideraciones de Diseño						
		Localización	Inventarios	Legislación	Centros de Acopio	Transporte	Tipo de Residuo	Objetivo
La redistribución de los productos que se pueden reparar o se consideran reutilizables.	Soleimani, H, Chaharlang, Y & Ghaderi, H					X	Vehículos de Transporte.	Desarrollar un modelo con objetivos múltiples incorporados a dos funciones objetivas: minimizar el costo total de distribución y minimizar la energía total consumida por los vehículos en el sistema de distribución.
Incorporación de flujos de retorno en la cadena de suministro.	Djikanovic, J.	X					Dispositivos eléctricos y electrónicos domésticos.	Determinar cuántos y qué centros de fabricación, de distribución, depósitos para el desmontaje y de eliminación deben



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

								establecers e consideran do las inversiones en las instalaciones y la infraestructura.
Optimización de la red CLSC para lograr maximizar el beneficio mediante la determinación de la política de inventario fijo teniendo en cuenta la cantidad de la orden en varios sitios en múltiples periodos.	Nallusamy, S; Balakannan, K; Chakraborty, P & Majumdar, G.		X				Productos comerciales de bajo costo.	Desarrollar un modelo de programación lineal entera mixta con el fin de configurar la CLSC para maximizar el beneficio considerando una política de inventario.
Formación de la red CLSC es determinar una formación máxima de lucro de la red logística con el fin de poder cumplir con las demandas y reducir el impacto medioambiental.	Pedram, A; Bin Yussof, N; Ezutah, O; Mahat, A & Pedram, P.				X		Neumáticos	Integrar el avance y retroceso en la cadena de suministro con el fin de diseñar una red de CLSC para disminuir los residuos con el objetivo final del desarrollo sostenible.
Análisis de las prácticas RL en las empresas	Montoya, J; Pirachicá						Plástico	Proporcionar algunas ideas sobre el



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

colombianas, especialmente el sector del plástico.	n, D & Mejía, D.			X				desarrollo de las prácticas de RL en Colombia.
Localización de dos niveles con tres tipos de instalación que se ubican en una especificación del sistema de RL denominado red de remanufactura (RMN).	Zhiqianh, L & Bostel, N.		X					
Modelo de logística reversa propio de una empresa del sector de estudio bajo la metodología SCOR y métricas	Camargo, Franco, Chud & Osorio.	X					Llantas	Proponer un modelo que utiliza la dinámica de sistemas para explicar el comportamiento de las emisiones generadas por cuatro procesos: la producción de llantas nuevas, el reencauche, la trituración mecánica y el co-procesamiento.
Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto	Fiorillo & Olarte.						Textiles	Analizar aspectos tanto de planeación como de



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

ambiental de la producción y RL de las llamas				X				operación necesarios para el diseño e implementación de un modelo de RL en el sector textil pymes
---	--	--	--	---	--	--	--	---



### **3 Capítulo 3. Aspectos Relevantes para el diseño de cadena de recuperación de llantas usadas**

Los casos anteriores descritos, así como el marco de referencia, evidencian que el diseño y los aspectos vinculados al desarrollo sostenible en cadenas de suministro contribuyen a proporcionar a los clientes productos con garantía de procesos sostenibles hacia el final de su vida útil. También, promueve a que el país se acerque al cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible.

De acuerdo con Díaz, Del Castillo & Magri (2006), las llantas son un producto compuesto, cuyas materias primas son caucho, negro humo, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, agentes acelerantes y retardantes, y a pesar de no ser considerado un residuo peligroso, su disposición final genera impactos negativos al ambiente como perturbación del paisaje, afectaciones de la salud y la seguridad humana.

La problemática ambiental generada por este producto es consecuencia de las CS hacia adelante y hacia atrás en cuanto responde a la demanda del producto debido a la creciente cantidad de vehículos en el mundo, lo que implica a los productores generar cada vez más diseños para la disposición final, transformación o reutilización del producto.

Partiendo de la premisa anterior, en este capítulo se presenta una propuesta de diseño con enfoque holístico de recuperación de llantas usadas desde las perspectivas de la logística inversa, el cual contempla a los talleres automotrices y parqueaderos de las secretarías de tránsito y transporte de la ciudad como los principales centros de acopio y generadores de este tipo de residuos que son las llantas y neumáticos. A raíz de lo anterior, la presente propuesta de diseño para la recuperación de estos residuos considera estos dos como centros de acopio y una



serie de alternativas de reparación, restauración y reciclaje que permiten cerrar con éxito el ciclo de vida útil.

### 3.1 Decisiones de Diseño

Para una cadena de recuperación de llantas usadas es necesario tomar decisiones considerando la recuperación de recursos, transporte, localización, inventario y disposición final del producto en el marco de la legislación vigente para el país y el contexto local.

La incertidumbre en esta cadena de recuperación tiene como fuente el proceso de restauración, reparación y reciclaje lo que obedece en mayor medida a un problema operativo por lo cual se requiere de un modelo de simulación de eventos discretos que permite comprobar la utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planeación, recuperación, inventario y el diseño de los sistemas de producción y cadena de suministros brindando la capacidad de predecir los eventos que producen cambios al interior de la cadena.

- Recuperación de recursos: la recuperación de llantas o neumáticos se realiza desde diversos puntos de origen hacia un único centro de acopio, a lo cual se ha denominado recolección en puntos de entrega o Drop-off Collection System. Se consideran puntos de entrega talleres automotrices de gran cobertura y parqueaderos de la secretaría de tránsito y transporte local.
- Transporte: para definir los modos de transporte es necesario tener en cuenta el tipo de economía objetiva, siendo para el caso de recuperación de llantas usadas la economía de escala en la medida en que permite lograr una reducción en los costos de transporte ya que este se hará por lotes de tamaño considerable aprovechando mejor el medio de transporte. El modo de este se da por carretera a través de servicio subcontratado cuyas rutas responderán a las dinámicas de almacenamiento en los puntos de origen, de lo cual dependerá la programación de los transportistas y la selección de la ruta. Para efectos de transporte de llantas usadas de acuerdo con la



resolución 1488 de 2003 los carros, camiones, u otros que presten este servicio deben cumplir con cualidades tales como: se encuentran fuera de carretera, con un rin superior a 22.5, tener medidas de seguridad contra incendios, disponer de una publicidad visible y poseer los documentos que acrediten y den cuenta del sistema, en Colombia existen 16 empresas o programas acreditados para tal servicio, las cuales se describen en la Tabla 6.

**Tabla 6** Programas del sistema de Recolección Selectiva de Llantas Usadas

Nombre del Programa	Tipo de Sistema
Corporación Posconsumo de Llantas Rueda verde	Colectivo
Importadora de Llantas Especiales SA	Individual
Kenworth de la Montaña S.A.S	Individual
Caribe Limpio – Electrocaribe LTDA – Mundial de Lubricantes LTDA	Colectivo
Distribuidora de Rines y Llantas - RINANDES	Colectivo
Bus Center S.A.S – Estrategia y Logística S.A.S	Individual
Regigantes S. A	Individual
Green World Recycling S. A. S	Colectivo
Sistema Verde S. A. S	Colectivo
Comercializadora Distrillantas	Individual
RJC Ecogestiones S. A. S	Colectivo
Llantas e Importaciones SAGU S. A. S	Individual
Cooperativa Multictiva Wallancoop	Individual
Interaseo Ambiental	Colectivo
iExport S. A. S	Individual
Comercializadora de Insumos para el Transporte LTDA	Individual

**Fuente.** Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2019).

- o Localización: Un estudio prevé dos centros de acopio de almacenamiento, las cuales serán bodegas de 100 m x 6 metros de altura, cuya ubicación



será vía Mirolindo ya que es una zona comercial e industrial y se encuentra cerca de varios talleres automotrices pertenecientes a las concesionarias de vehículos y a la secretaría de tránsito y transporte de Ibagué considerados los principales puntos de origen. El almacenamiento será de tipo privado y se realizará sobre la cinta de rodamiento (ver Figura 18) toda vez que esta genera ciertos beneficios tales como: facilitar el control de inventario, las preparaciones de ordenes o la búsqueda de llantas específicas, así como es posible mezclar diferentes tamaños de llantas sobre el mismo rack MLTFD que también puede utilizarse con el sistema entrelazado (ver Tabla 7). Dentro de las características a destacar de este tipo de almacenamiento se encuentran que, es posible apilar hasta 5 unidades en vertical cuando están en uso y 22 unidades cuando están cerrados, es plegable lo que permite cerrar y apilar en un lugar poco transitado, se puede entrelazar los neumáticos cuando necesitan transportarlos o colocarlos sobre la cinta para uso de los clientes (Martins Industries, 2019).

**Tabla 7** Sistema de Almacenaje de Neumáticos

Tipo de Rack	MLR
Método de Almacenaje	Entrelazado
Promedio Llanta Rack	40
Cantidad Necesario de racks	500 aprox.
Precio rack	165,00 pesos aprox.
Inversión Inicial	82, 500 pesos aprox.
Inversión llanta	4,13 pesos
Llanta – Pie cuadrado 4 racks en alto	6,96

**Fuente.** Martins Industries. (2019).



**Figura 19** Almacenamiento sobre la Cinta de Rodamiento



**Fuente.** Martins Industries. (2019).

Los centros de servicio, procesamiento y almacén se encontrarán en la misma ubicación de las bodegas de almacenamiento, lo que contribuye a la reducción de costos y al acopio de todo el material en un sitio estratégico lo que facilita el transporte.

Los proveedores considerados puntos de origen, deberán reportar el lote de llantas usadas cuando estas cumplan ciertas condiciones: deban ser reemplazadas, desechadas, recuperadas o reparadas, verificando los sistemas presentados según corresponda.

- Inventario: se considera que el inventario es el activo mayor en los balances generales de una empresa, por lo cual es un elemento importante para CS y los sistemas de contabilidad de mercancías. El presente diseño contempla 9 niveles de inventario:
  - Inventario inicial: Existencia de mercancías al inicio del periodo contable y su valor.
  - Compras: mercancías compradas objeto de ventas a recuperar valor invertido a saber, sin incluir activos fijos.

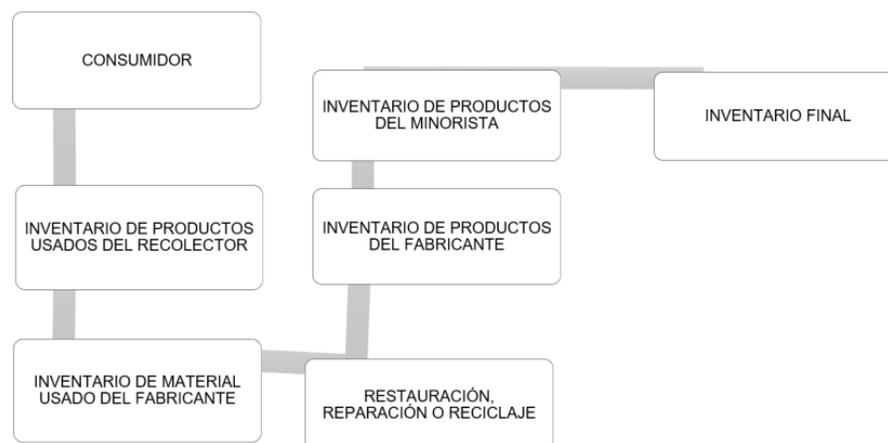


Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

- Devoluciones de compra: mercancía comprada que se devuelve por cualquier circunstancia.
- Gastos de compras: gastos ocasionados por la adquisición de productos o servicios.
- Ventas: todas las ventas de las mercancías realizadas por la empresa.
- Devoluciones en ventas: devoluciones realizadas por los clientes a la empresa.
- Mercancías en tránsito: mercancías pagas por parte de la empresa que aún no han encontrado en la misma su destino.
- Mercancías en consignación: mercancías sobre las cuales no se tiene ningún derecho de propiedad y que la empresa no cancela hasta tanto se hayan vendido.
- Inventario Final: inventario físico de toda la mercancía de la empresa y su valor.

Dado que los inventarios son el corazón de las empresas, sus funciones para cada uno de los niveles son fundamentales e irremplazables, por lo tanto, su control estará a cargo del departamento contable en cooperación con el departamento de compras y ventas, y se tendrá en cuenta el siguiente sistema (Figura 19):

**Figura 20** Sistema de Inventario





**FUENTE.** Elaboración Propia, (2019).

Disposición del producto: restauración, recuperación y reciclaje.

- **Legislación:** en términos legislativos en Colombia existen un conjunto de normativas que regulan la recuperación de los neumáticos usados (ver Tablas 8 y 9). La normativa inicia en las licencias ambientales otorgadas por la ANLA a las empresas las cuales se encuentran en común acuerdo y cumplimiento de la resolución 1326 de 2017 por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones, así como los esquemas de responsabilidad extendida del productor -REP- cuyo origen radica en la Unión Europea con vigencia internacional.

**Tabla 8** Legislación Marco

Constitución Nacional	Descripción
Ley 23 de 1973	Mediante la cual se faculta al Gobierno Nacional para expedir el CRN.
Decreto Ley 2811 de 1975	Código de Recursos Naturales
Ley 9 de 1979	Código Único Sanitario Nacional
Ley 99 de 1993	Ley del Medio Ambiente
Ley 142 de 1994	Servicios Públicos Domiciliarios
Decreto 948 de 1995	Marco de las acciones y mecanismos administrativos de las autoridades ambientales para preservar el aire
Decreto 979 de 2006	Norma de Calidad del Aire

**Tabla 9** Legislación de Residuos Sólidos

Resolución 2309 de 1986	Se regula lo relacionado con el manejo, uso, disposición y transporte de los residuos sólidos con características especiales
Ley 142 de 1994	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, entre los que se encuentran los



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

	servicios de aseo y reglamenta su administración a cargo de los municipios.
Decreto 1713 de 2002	Reglamenta la Ley 142 de 1994 y otras disposiciones en relación con la prestación del servicio público de aseo.
Decreto 1505 de 2003	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002 en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos.
Resolución 1045 de 2003	Por medio de la cual se adopta la metodología para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos PGIRS.

**Fuente.** Cámara de comercio de Bogotá, (2006).

### 3.2 Desarrollo Sostenible

Sostenibilidad ambiental: con el objetivo de dar cumplimiento a las responsabilidades extendidas del productor la reparación, restauración y reciclaje de llantas y neumáticos se realiza con dos fines: devolver a los clientes neumáticos reparados y restaurados con un tiempo de uso determinado o contribuir al uso de estos residuos como material óptimo para obras de la ciudad tales como mobiliarios urbanos, construcción de taludes, tuberías, canchas sintéticas, vías urbanas con asfalto GCR, parques, entre otros permitiendo esto alargar la vida útil del producto, disminuyendo el impacto ambiental en cuanto a residuos sólidos en lugares de espacio público y los métodos dañinos de disposición final.

Sostenibilidad económica: a través del reciclaje es posible valorizar el componente energético a través del procesamiento, prollisis, gasificación y demás opciones viables para la transformación y venta de productos como llantas y neumáticos en su composición original o en otros estados dispuestos para usos diversos.



Sostenibilidad social: construcción de comunidades sostenibles a partir de la enseñanza de la transformación de llantas y neumáticos en artículos de uso cotidiano. Generación de acciones preventivas, campañas publicitarias medioambientales, entre otras, que motiven a los clientes y posibles proveedores de llantas usadas a depositarla en los centros de almacenamiento con el fin de contribuir a su transformación y a la disminución de las emisiones y el impacto medio ambiental.

### 3.3 Uso de Tecnologías

Las tecnologías a usar en este diseño abordan cada una de las partes de la cadena de recuperación de llantas usadas, así:

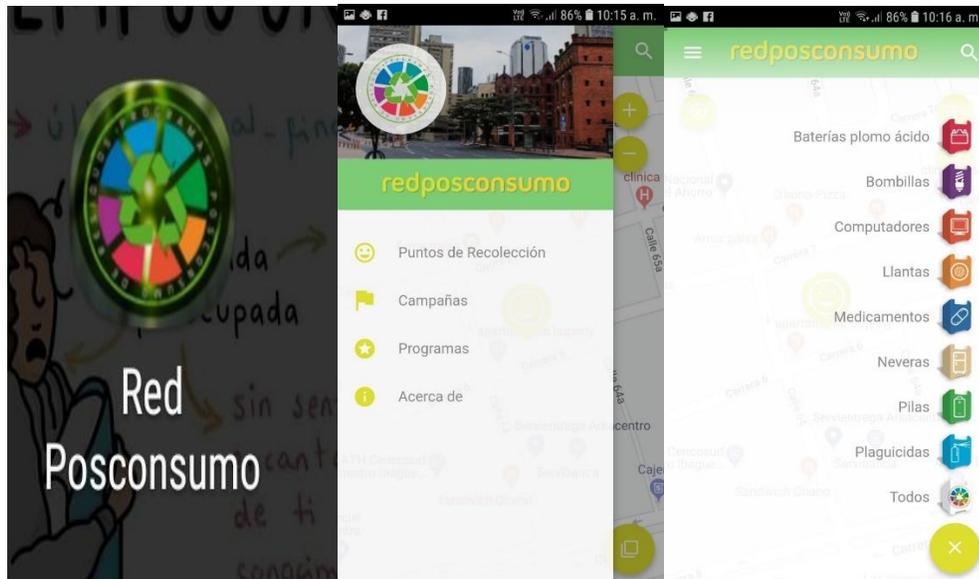
- Recuperación de recursos, transporte y localización de los centros de acopio: dado que es imprescindible que los clientes tengan la información de cuáles son los centros de almacenamiento de los neumáticos y llantas usadas para reparación, recuperación o reciclaje, se considera que una herramienta tecnológica que en la actualidad facilita la difusión de este tipo de información son las aplicaciones – APP para teléfonos móviles de muy fácil acceso y uso, un referente de esto es la aplicación -RED POSCONSUMO- la cual brinda la posibilidad a los clientes de saber los centros de acopio y almacenamiento para diversos tipos de residuos de acuerdo a sus características, así como campañas y programas para promover su uso.

De igual forma, al diseñar la aplicación se proponen algunos aspectos adicionales tales como número de contacto para la recogida puerta a puerta de los residuos y servicio a solicitar tales como recuperación, restauración o reciclaje según corresponda, lo que permite a la empresa una selección de los residuos posconsumo.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

**Figura 21** APP RED POSCONSUMO



**FUENTE.** RED POSCONSUMO, (2019).

Para la recuperación de recursos también es posible hacer uso de la plataforma de Google a través de Google Maps para obtener ubicaciones en tiempo real de los centros de acopio, acumulaciones satélites de llantas usadas, rutas de los transportadores, bodegas, almacenes, centros de distribución de productos fabricados a partir del proceso de reciclaje de llantas, entre otros.

- Transformación de los residuos en la etapa de reciclaje: dado que posterior a la restauración y recuperación de los neumáticos y llantas estos retornan al cliente, es en el reciclaje en la etapa en la que los residuos en propiedad de la empresa son susceptibles a ser modificados para lo cual a continuación se propondrán algunas opciones de



transformación a través de la tecnología que contribuyen a la sostenibilidad ambiental, económica y social.

1. Trituración Criogénica: esta consiste en congelar con nitrógeno líquido llantas enteras, las cuales son golpeadas con liberación de nitrógeno gaseoso para obtener el caucho en forma de polvo.
2. Uso en asfaltos modificados: luego de los procesos criogénicos este polvo es muy usado en adición al pavimento asfáltico tradicional como grano de caucho reciclado – GCR que ha sido de buena aceptabilidad por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos y otras obras civiles (Cámara de comercio de Bogotá, 2006).

**Figura 22** Proceso para la Obtención de Pavimento Modificado Convencional



**Fuente.** Cámara de Comercio de Bogotá, (2006).

Los usos más beneficiosos de este pavimento asfáltico son: como relleno de la capa asfáltica y como insonorizante en autopistas.

3. Uso industrial: varios productos pueden ser fabricado a partir de llantas usadas para uso industrial tales como antideslizantes, superficies de tráfico pesado y soportes, cuyos usos van desde la fabricación de baldosas y pistas deportivas hasta recubrimientos antideslizantes.



Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local considerando las perspectivas de la logística inversa.

---

4. Uso artesanal: estos pueden ser elaborados con una reducida inversión en instalaciones y equipos poco especializados obteniendo productos como soportes para carrocería y maquinaria, protectores para llantas, materas, bebederos para ganado, suelas, tacones y tapas para calzado y tiras de amarre (Cámara de comercio de Bogotá, 2006).



## 4 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo anterior, para el diseño de la cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local se propuso una serie de acciones como objetivos específicos del estudio de los cuales se obtuvo que:

1. El marco de referencia que permitió identificar las bases conceptuales para el diseño de cadenas de suministro desde la perspectiva de la logística inversa se abordó desde cuatro frentes: 1. Las consideraciones de diseño, 2. La función objetivo formulada en contribuciones previas, 3. Los métodos de solución más empleados y 4. El inventario de investigaciones en el diseño de cadenas inversas. Respecto a las consideraciones de diseño se destacan los aportes realizados por Melo, Nickel y Saldanha-da-Gama (2009), en lo que corresponde a las funciones de optimización que han sido consideradas en el diseño de cadenas de abastecimiento se evaluaron los enfoques de minimización de costos y del impacto ambiental propuestos por Dehghanian y Mansour (2009), dentro de los métodos de solución más empleados se referenciaron las apuestas de Arvendan y Ramasamy (2014), Dhouib (2014) y Adbul-Kader y Haque (2011). Finalmente, para establecer el inventario de publicaciones más recientes son citados los estudios realizados por Pedram *et al* (2017) y Armin *et al* (2017) que consisten en estados del arte de las cadenas de recuperación de llantas usadas.
2. La totalidad de los casos empíricos caracterizados fueron ocho, cinco de ellos internacionales y tres nacionales, de los cuales cuatro dan cuenta de modelos descriptivos de logística inversa y los cuatro restantes analizan y generan propuestas de logística inversa para residuos específicos tales como textiles, contenedores de pesticidas y llantas. Así, de los ocho casos empíricos: uno corresponde a la variable transporte, dos a localización, dos a inventario, dos a legislación y uno a centros de acopio.



El común denominador del conjunto de casos analizados gira en torno a los beneficios que genera el movimiento de mercancías al interior de una red de integración directa de logística inversa en la medida en que estas redes permiten la gestión de los residuos desde su optimización, lo que se ve reflejado al interior de las empresas en el costo total de flujos inversos ya que son redes sensibles a la demanda lo que implica un proceso de toma de decisiones estratégicas que tengan en cuenta aspectos ambientales, económicos y operativos para una gestión eficaz.

Asimismo, estos diseños se consideran beneficiosos para las poblaciones considerándose inversiones en pro de la calidad de vida en tanto la gestión de las redes requiere la generación de empleos a corto, mediano y largo plazo dada la dinámica de consumo de la sociedad actual, que representa existencia de residuos y una alta competitividad en el sector.

Finalmente, se resalta el impacto positivo en términos ambientales y la imagen verde que obtienen las empresas al implementar redes de RL, lo que las posiciona en mayor medida en el segmento de mercado correspondiente.

3. Los aspectos relevantes identificados que desde el enfoque de la logística inversa contribuyen al diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto urbano son: recuperación de recursos, transporte, localización, inventario y legislación.

En la actualidad las cadenas de suministro de logística inversa y logística verde en función de los Objetivos del Desarrollo Sostenible y la Sostenibilidad ambiental se han posicionado como alternativas de solución amigables con el medio ambiente para la recuperación, transformación y disposición final de los residuos de todo tipo. Históricamente las llantas y los neumáticos se han convertido en una problemática socio-ambiental para las naciones y comunidades en la medida en que las



emisiones de humos y gases contaminantes o contaminación de cuerpos de agua provenientes de las estrategias tradicionales de disposición final de estos residuos.

Desde hace algunos años se empezó a considerar los diversos usos de las llantas y neumáticos como materia prima lo que de acuerdo a lo reseñado en el presente estudio genera un conjunto de beneficios para las empresas tales como:

- La utilidad resultante de la compra de llantas y neumáticos usados, así como la venta de los mismos posterior a los procesos de recuperación, restauración y transformación en materia prima a partir del reciclaje, procesos que pueden ser llevados a cabo con una reducida inversión en instalaciones y equipos poco especializados lo que significa poca inversión.
- El cumplimiento de la responsabilidad social ambiental lo que trae consigo beneficios en la reducción de impuestos y de pago de aranceles en cuanto el modo de transporte es de bajo costo.
- La posibilidad de convertirse en proveedores importantes de materia prima para obras civiles y actividades industriales y artesanales, lo que significa valorización del producto.
- Productos en inventario de forma constante en la medida en que muchas de las llantas y neumáticos generalmente son desechadas por el cliente para disposición final, lo cual es una fuente de utilidad directa.

Este conjunto de acciones finalmente lleva a concluir que, a partir de las bases conceptuales y teóricas referenciadas en el estudio es posible que desde las perspectivas de la logística inversa se favorezca el diseño de una cadena de abastecimiento dedicada a la recuperación de llantas usadas en el contexto urbano.



## REFERENCIAS

- Djikanovic, J., & Vujosevic, M. (2015). *A new integrated forward and reverse logistics model*. International Journal of Computational Intelligence Systems.
- Fagundes, L., Santos Amorim, E., & da Silva Lima, R. (2017). Action Research in Reverse Logistics for End-Of-Life Tire Recycling. *Systemic Practice and Action Research*.
- Lopes Ferri, G., Diniz Chaves, G., & Mattos Ribeiro, G. (2015). Reverse logistics network for municipal solid waste management: The. *Waste Management*.
- Pochampally, K., & Gupta, S. (2005). Strategic planning of a reverse supply chain network. *Int. J. Integrated Supply Management*.
- Wilson, C., & Williams, I. (2007). Kerbside collection: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 381–394.
- Acevedo Suárez, J. A., Acevedo Suarez, J.A., Urquiaga Rodriguez, A., & Gomez, M. (2001). *Gestión de la Cadena de Suministro*. La habana: ISPJAE.
- Agrawal , S., Singh, R., & Murtaza, Q. (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 76–92.
- Ballou, R. (2004). *Logística administración de la cadena de suministro*. Pearson.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2006). Guía para el Manejo de Llantas Usadas. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA-.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro estrategia, planeación y operación* . Mexico : Pearson .
- chouinard, m., D' Amours, s., & Ait-kadi, D. (2008). a stochastic programming approach for designing supply loops. *science direct* , 657-677.
- Corominas, A., Mateo, M., Ribas, I., & Rubio, S. (2015). Methodological elements of supply chain design. *International Journal of Production Research*, 37-41.
- Correa Espinal, A., & Gomez Montoya, R. A. (2008). TEGNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO. *DYNA*, 37-48.
- CSCMP. (2013). *council of supply chain managment professionals*. Obtenido de [https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_](https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_)



of\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\_Definitions\_and\_Glossary\_of\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

Curt, B. (2003). Reverse Logistics : an Imperative area of Research for Fashion Supply chain. *Catalog Success Magazine*, 1-3.

Dass, M., & Fox, G. (2011). a holistic network model for supply chain analysis. *int. j. production economics*, 587-594.

Demirbas, A. (2011). Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy conversion and management* .

Dias, K., & Braga Junior, S. (2016). The use of reverse logistics for waste. *Waste Management & Research*, 22–29.

Domina, T., & Koch, K. (2002). Convenience and Frequency of Recycling Implications for Including Textiles in Curbside Recycling Programs. *Behav*, 216-238.

Dutta, P., Das, D., Schultmann, F., & Frohling, M. (2016). Design and planning of a closed-loop supply chain with three way recovery and buy-back offer. *Journal of Cleaner Production*, 604-619.

El Tiempo. (2011). Sistema de Reciclaje Ecológico para las Llantas Usadas. Motor.

fleischmann, m., beullens, p., bloemhof-ruwaard, j., & van wassenhove, l. (2001). the impact of product recovery on logistics network design. *production and operations management*, 156-173.

Georgia Tech . (2015). *Georgia tech supply chain & logistics institute*. Obtenido de <https://www.scl.gatech.edu/about/scl/history>

Guaita, W. (2011). Modelos de Simulación de Eventos Discretos y de Procesos Continuos. *Boletín de Dinámica de Sistemas*.

Graczyk, M., & Witkowski, K. (2011). reverse logistics processes in plastics supply chains. *total logistic management*, 43-55.

Halabi, A.X. & Montoya-Torres, J, Pirachicán, D & Mejía, D. (2013). A modelling framework of reverse logistics practices in the Colombian plastic sector. *Int. J. Industrial and System Engineering*, Vol 13, No. 3, pp. 364-387.

heckmann, p., shorten , d., & engel, h. (2003). Supply chain management at 21. *Booz allen hamilton* .



- Holmes, A., & Fulford, J. (2014). Investigating the Impact of Recycling Incentive Schemes. *Eunomia* .
- J. Quariguasi Frota Neto , T. Splenger, J.A.E.E. van Nunen, J. Bloemhof, & G. Walther. (2010). from closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case. *international journal of production research*.
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *logistics information management* , 382-394.
- Kannan , G., Palaniappan, M., Zhu, Q., & Kannan, D. (2012). Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive. *Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive*. International Journal of Production.
- Kildow, B. A. (2011). *A Supply Chain Management Guide to Business Continuity*. American Management Association.
- Kilger, C., & Stadler, H. (2005). *Supply chain management and advanced planning. Concepts, models, software and case studies*. New York: Springer.
- Lambert , D. M., & Enz, M. G. (2017). Issues in Supply Chain Management: Progress and potential. *industrial marketing management* 62 , 1-16.
- López Parada, J. (2010). *Incorporación de la logística inversa en la cadena de suministros y su influencia en la estructura organizativa de las empresas*. Universitat de barcelona, Barcelona.
- Maquera, G. (2012). Logística verde e Inversa, Responsabilidad Universitaria Socioambiental Corporativa y Productividad. *Apuntes universitarios* .
- Mentzer, J., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., & Zacharia, Z. (2001). *Defining supply chain management*. journal of business logistics.
- Michael , C. F. (2015). Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de suministro sostenibles de reciclaje, bajo condiciones de incertidumbre. Aplicación a la recuperación de plásticos en Cuba. *Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas*. Modelo multiobjetivo para el rediseño de cadenas de, Santa Clara.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1326 de 2017. Plan Posconsumo de Llantas Usadas.
- Naciones Unidas. (2010).Objetivos de Desarrollo del Milenio - Avances en la Sostenibilidad Ambiental del Desarrollo en América Latina y el Caribe.



- Nallusamy, S., Chakraborty, P. S., Balakannan, K., & Majumdar, G. (2018). A mixer integer linear programming model of closed loop supply chain network for manufacturing system. *international journal of engineering research in Africa*, 198-207.
- Noehammer HC, B. P. (1997). Effects of design variables on participation in residential curbside recycling programs. *Waste Manage*, 407–27.
- Orhan , A. (2011). Eco- economy in sustainable developmentand waste exchange, a new approach regarding waste management. *Middle east finance and economics* , 41-50.
- Pedram, A., Yusoff, N., Udoncy, O., Mahat, A., Pedram, P., & Babalola, A. (2016). Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study. *Waste Management*.
- Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, conservation and recycling*, 53(4), 175-182.
- Professionals, C. o. (2019). *CSCMP*. Obtenido de [https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)
- Rezaee, Z. (2018). supply chain management and business sustainability synergy: a theoretical and integrated perspective. *sustainability*.
- Sarache Castro, W., & Morales Chávez, M. (2016). *Localización, transporte e inventarios*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia .
- Shi , y., & Zhihong , M. (2010). Reconsidering supply chain management reverse logistics. *International Conference on Information Science and Engineering*, 444-447.
- Soleimani, H., Chaharlang, Y., & Ghaderi, H. (2017). *Collection and Distribution of Returned-Remanufactured Products in a Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery Considering Sustainable and Green Criteria*. *Journal of Cleaner Production*.
- Subulan, K., Serdar Tasan, A., & Baykasog˘lu, A. (2015). Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply. *Applied Mathematical Modelling*, 2661–2702.



- Subulan, K., SerdarTaşan, A., & Baykasoğlu, A. (2015). Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. *Applied Mathematical Modelling*, 2661-2702.
- Tahoori, G., Rosnah, M., & Zulkifli, N. (2014). key issues and challenges of a sustainable closed loop supply chain . *applied mechanics and materials* , 684-688.
- Telukdarie, A., Mwanza, B., & Mbohwa, C. (2018). The influence of waste collection systems on resource recovery: A review. *Science Direct*, 846-853.
- Vèlez Maya, T. (2014). *Logística empresarial*. Bogotá: Ediciones de la u .
- Vilarna, J. R. (2011). La Gestión de la Cadena de Suministro. Escuela de Organización Industrial.
- Yongbo, L., Kannan, D., Jha, P., Garg, K., Darbari, J., & Agarwal, N. (2018). Design of a multi echelon product recovery embeded reverse logistics network for multi products and multi periods. *Springer Science+Business Media*.
- yuan, K., & Gao, Y. (2009). inventory decision-making models for a closed-loop suuply chain system. *international journal of production research* , 6155-6187.
- Zapata Márquez, L., & Jaramillo Henao , G. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Universidad de antioquia, Medellin.
- Zhang , G., Gu, N., LV, X., & Wang, X. (2010). the study of operation mode of green logistics. *Second international conference on intelligent human-machine systems and cybernetics*.
- Zhiqiang, L & Bostel, N. (2005). A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturig activities. Ecoles des mines de Nantes. France.