

Estado del arte para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas considerando las perspectivas de la logística urbana

Autor:

Edgar Fernando Barrios Tovar

Cód. 2320141034

Universidad de Ibagué

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Industrial

Ibagué 2018

Tabla de contenido

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Resumen | 3 |
| 2. | Planteamiento del problema | 4 |
| 3. | Objetivos | 5 |
| 3.1. | General | 5 |
| 3.2. | Específicos | 5 |
| 4. | Metodología | 6 |
| 5. | Marco teórico | 7 |
| 5.1. | Definición del concepto de logística urbana | 7 |
| 5.2. | Definición del concepto de logística inversa | 9 |
| 5.3. | Evolución del concepto Logística Urbana | 10 |
| 5.4. | Partes interesadas y elementos esenciales | 11 |
| 5.5. | Etapas en la gestión urbana | 12 |
| 5.6. | Sistemas propuestos como solución a problemas de transporte urbano | 13 |
| 5.7. | Principales áreas de la logística urbana | 17 |
| 5.8. | Relación de la logística urbana con el diseño de cadena de suministros | 18 |
| 6. | Caracterización casos empíricos | 22 |
| 6.1. | Caso donde se evidencia una DCSI (Diseño de Cadenas de Suministro Inversas) | 22 |
| 6.1.1. | Caso Manizales, Colombia (Costa-Salas, Sarache, Überwimmer, 2017) | 22 |
| 6.1.2. | Caso Cracovia, Polonia (Jakubiak, 2016) | 23 |
| 6.1.3. | Caso área metropolitana de Estambul (Kuşakçı, Ayvaz, Cin, & Aydın, 2019) | 25 |
| 6.2. | Casos donde se evidencia la Logística Inversa | 26 |
| 6.2.1. | Caso del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC) (Alshamsi, Diabat, 2017) | 26 |
| 6.2.2. | Caso Gran Santiago de Chile (Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas, & Vásquez, 2018) | 28 |
| 6.3. | Casos donde se evidencia la logística urbana en una CSD (Cadena de Suministro Directa) | 29 |
| 6.3.1. | Caso Lisboa, Portugal (Alho & de Abreu Silva, 2015) | 29 |
| 6.3.2. | Caso Mar Báltico (Lindholm & Behrends, 2012) | 31 |
| 6.3.3. | Caso Belo Horizonte (De Magalhães, 2010) | 33 |
| 6.3.4. | Caso de Delhi, India (Gupta & Garima, 2017) | 35 |
| 6.3.5. | Caso de Parma, Italia (Morganti & Gonzalez-Feliu, 2015) | 36 |
| 6.3.6. | Descripción caso Bogotá en el contexto nacional (Portuario, 2016) | 38 |

| | |
|---|----|
| 6.3.7. Síntesis Casos empíricos | 39 |
| 7. Aspectos para tener en cuenta de la logística urbana para el diseño de una cadena dedicada a la recuperación de llantas usadas | 43 |
| 7.1. Planeación | 43 |
| 7.2. Políticas | 44 |
| 7.3. Actores de la cadena | 44 |
| 7.3.1. Operadores de transporte de carga | 45 |
| 7.3.2. Receptores de bienes | 45 |
| 7.3.3. Políticos locales | 45 |
| 7.4. Otros aspectos relevantes | 45 |
| 7. Conclusiones | 47 |
| 9. Bibliografía | 48 |

1. Resumen

La presente investigación surge debido a la mala e ineficiente gestión de residuos como lo son las llantas usadas en la ciudad de Ibagué, afectando así diferentes aspectos sociales, económicos y medioambientales en la región, es por esto que se van a abordar diferentes conceptos que aporten de manera positiva al mejoramiento de esta gestión, herramientas tales como la logística inversa, logística urbana, y conceptos de diseños de cadena de abastecimientos directas e indirectas.

En este orden de ideas, este trabajo tiene como objetivo principal 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 considerando las bases de la logística urbana, es por esto que se presentan varios casos a nivel mundial y nacional relacionados con esta problemática para así conocer referentes exitosos de cómo se ha diseñado e implementado este tipo de cadenas de abastecimiento inversas en el casco urbano. Para dar cumplimiento a este objetivo general, se plantearon tres objetivos específicos: determinación de las bases conceptuales que intervienen en el diseño de cadenas de suministro desde la perspectiva de la logística urbana, caracterizar casos empíricos relacionados con el diseño de cadenas de abastecimiento inversas, e identificar los aspectos relevantes de la logística urbana para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas. El cumplimiento de estos objetivos se realiza a través de la revisión e investigación sistemática de literatura científica relacionada al diseño de cadenas de suministro desde la perspectiva de la logística urbana.

La estructura de este documento inicia con el planteamiento del problema que motivó esta investigación y la metodología utilizada para dar cumplimiento a los objetivos planteados. Luego se plantean las bases conceptuales de la logística urbana e inversa, la importancia de la logística urbana en la solución del problema, y su papel en el diseño de una cadena de abastecimiento tanto directa como inversa, evidenciando la relación que tienen todos los conceptos y cómo estos aportan a la solución. Posteriormente se presenta la caracterización de casos empíricos donde se ve evidenciado el papel de la logística urbana en el diseño de cadenas de abastecimiento inversas en diferentes lugares del mundo. Seguidamente, se dan a conocer los aspectos relevantes para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto local. Y por último, las conclusiones a las que se pudieron llegar luego de realizar el trabajo de investigación, así como sus aportes y limitaciones.

2. Planteamiento del problema

La poca eficiencia en la gestión logística de residuos que se le ha dado a las llantas usadas en la ciudad de Ibagué afecta la ciudadanía en diferentes aspectos sociales, económicos y medioambientales debido a la mala o inadecuada disposición de estos residuos, lo cual implica principalmente pérdida de oportunidades de negocio y riesgos para la salud humana. Esta problemática no se ve solamente en la ciudad de Ibagué o a nivel nacional, sino que es una problemática por la cual los países desarrollados han empezado a tomar acciones para darle solución. En los países industrialmente desarrollados, se están empezando a promover estrategias y sistemas integrados de recuperación soportados en actividades de investigación, además de encontrar alternativas de solución como el reencauche, fabricación de pisos, producción de césped, entre otros. En Colombia, la gestión inadecuada de residuos de llantas usadas tendría aún un mayor impacto que en otros países debido a las políticas públicas que no son tan amigables con el medio ambiente.

Debido a que esta problemática se da en el contexto urbano, es necesario tener en cuenta el concepto de logística urbana para la solución y el diseño de esta cadena inversa, ya que el transporte de mercancías ha tomado una posición relevante para la realización de labores tales como la entrega de suministros, y todas las relaciones que existen entre proveedores y clientes en el casco urbano. Cabe recalcar que el número de vehículos de carga que están transitando en el casco urbano está aumentando por lo que hay que tener un buen manejo y una muy buena logística de la cadena de recuperación de las llantas usadas para que a su vez se mejore la movilidad en la ciudad.

Es por esta razón que se propone realizar el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas en el contexto urbano, más específicamente en la ciudad de Ibagué, de tal manera que la estructuración y el modelamiento de esta cadena tenga en cuenta todos los costos y todas las operaciones logísticas que en ella intervienen, dando solución al problema de la mala gestión de residuos teniendo como soporte la logística urbana.

3. Objetivos

3.1. 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 considerando las bases de la logística urbana.

3.2. Específicos

- Construir un marco teórico que permita identificar las bases conceptuales que intervienen en el diseño de cadenas de suministro desde la perspectiva de la logística urbana.
- Caracterizar casos empíricos referenciados en la literatura científica relacionadas con el diseño de cadenas de abastecimiento inversas considerando las perspectivas de la logística urbana.
- Identificar los aspectos relevantes de la logística urbana para el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas.

4. Metodología

La metodología que se utilizó en el presente trabajo se basa en el marco de revisión de literatura propuesto por Newbert (2007), el cual consta de siete fases: 1) La primera etapa consistió en encontrar las palabras claves para la revisión de literatura, para este fin se seleccionaron los artículos más relevantes de la logística urbana, y a partir de estos se seleccionaron palabras claves, frases y sinónimos relevantes los cuales para este estudio fueron 15: *City Logistics, vehicle routing, urban freight transport, sustainability, traffic congestion, transportation and logistics, mobility, Green cities, sustainable city logistics, citizens, liveability, environment, urban transport solutions, freight distribution, locating-routing*. 2) En la segunda etapa, se hizo uso de las 15 palabras o frases claves para desarrollar cadenas de búsqueda que ayudaran a encontrar literatura relevante del tema de estudio; para este caso, las cadenas que se utilizaron fueron:

- City logistics.
- Urban freight transport.
- “City logistics” AND “case studies”
- “City logistics” AND “Reverse logistics”
- “Urban freight transport” AND “Mobility”
- “Supply chain”
- “Supply chain” AND “City logistics”

3) En la tercera etapa la búsqueda se limitó a artículos científicos de revistas especializadas de alto impacto en la clasificación Scimago Journal Rank (SJR) las cuales estuvieran ubicadas en los cuartiles 1 y 2 (Q1 y Q2) para asegurar la calidad de las publicaciones. Se incluyeron solamente revistas en idioma inglés disponibles en las bases de datos ScienceDirect y Scopus. La búsqueda estuvo restringida al título, resumen y palabras claves de los artículos. El filtro temporal utilizado fue los últimos diez años (2007-2018) esto con el fin de presentar la revisión bibliográfica lo más actualizada posible. 4) Para la cuarta etapa, se consolidaron los resultados de la búsqueda de las bases de datos usadas, donde se encontraron 24 artículos relevantes y se realizó la eliminación de duplicados con el fin de tener un resultado más preciso a la investigación, en esta eliminación, fueron descartados 2 artículos que eran duplicados. 5) En la quinta etapa se leyeron todos los resúmenes de los artículos restantes para así descartar aquellos que no tienen relevancia para el tema y se eliminaron los artículos que eran revisiones de libros, donde quedaron 20 artículos científicos de gran relevancia para la investigación. 6) En esta etapa se hizo una completa y exhaustiva revisión de los artículos seleccionados y se descartaron aquellos que no tenían información relevante para el trabajo. De esta etapa finalmente quedaron 17 artículos. 7) Por último, se clasificaron los artículos seleccionados.

5. Marco teórico

Para que el diseño de la cadena de recuperación de llantas usadas en la ciudad de Ibagué sea implementada de manera exitosa, se debe tener en cuenta todos los aspectos que intervienen en este diseño y más en la ciudad en la cual va a ser desarrollada. En este orden de ideas, es fundamental comprender el concepto de logística urbana, puesto que esta logística es la que apoya al efectivo desarrollo de cadena de suministros en el contexto local, todo con el objetivo de que los sistemas que se vayan a implementar para esta cadena sean los mejores teniendo en cuenta los costos, tiempos de entrega, políticas de transporte y demás. De igual manera, como se está hablando de una cadena de suministro inversa es indispensable entender el concepto de logística inversa, por lo que es la logística que se ve implementada en esta cadena de recuperación de llantas usadas. Además, en esta sección se va a presentar cómo ha sido la evolución de la logística urbana, partes interesadas, elementos esenciales, sistemas propuestos para solución de problemas de transporte urbano y adicional a esto, cuál es la relación de la logística urbana con el diseño de cadena de suministros directas e inversas.

5.1. Definición del concepto de logística urbana

La logística urbana es definida como el proceso utilizado para optimizar las actividades de logística y transporte de empresas privadas con el apoyo de sistemas avanzados de información en áreas urbanas, teniendo en cuenta el entorno del tráfico, la congestión del tráfico, la seguridad del tráfico, y el ahorro de energía que este pueda tener para la economía de mercado (Taniguchi, 2015).

La logística urbana se dirige al análisis, planificación y gestión de flujos físicos e informativos relacionados con los movimientos de mercancías dentro de las zonas urbanas, es decir, optimiza el sistema de transporte urbano y trata de reducir las problemáticas asociadas con el traslado de mercancías en la ciudad, simultáneamente juega un papel fundamental en el desarrollo económico, ambiental y social de las ciudades (Crainic, 2008). Gonzalez-Feliu, Semet y Routhier (2014) define la logística urbana como “el campo pluridisciplinario que tiene como objetivo comprender, estudiar y analizar las diferentes organizaciones, esquemas logísticos, partes interesadas y acciones de planificación relacionadas con la mejora de los diferentes sistemas de transporte de mercancías en una zona urbana y vincularlos de manera sinérgica para disminuir las principales molestias relacionadas”.

Debido al crecimiento sostenido del comercio electrónico y las entregas a domicilio en las últimas décadas, la logística urbana se ha vuelto crítica para mejorar la calidad de vida en las ciudades. En la actualidad, esta logística emplea principalmente vehículos de transporte terrestre como motocicletas y camionetas pequeñas para transportar mercancías. Sin embargo, con la creciente concentración de poblaciones y bienes en áreas urbanas limitadas, el transporte terrestre crea congestión del tráfico, contaminación del aire y ruido y deterioro ambiental, por lo cual se está considerando el uso de otros modos y medios de transporte para dar solución a esta problemática (Zhao et al., 2018)

La logística urbana comprende diversas actividades, por ejemplo, para los habitantes de la ciudad, el transporte de mercancías se puede evidenciar en el abastecimiento de los diferentes suministros

en las tiendas, la entrega de correos y productos en el hogar, entre otros. Para las empresas localizadas en el casco urbano el transporte de mercancías representa el vínculo vital que se tiene entre los diferentes proveedores y clientes que esta tenga. Tal y como se mencionó anteriormente, la logística urbana busca realizar una correcta y óptima distribución de bienes para apoyar el desarrollo sostenible en las empresas y ciudades, generando así un impacto positivo en los tres factores de la sostenibilidad: ambiental, social y económica, puesto que aporta a disminuir la contaminación en el aire y la optimización de los recursos naturales (sostenibilidad ambiental), a aumentar la seguridad del tráfico local y disminuir la congestión vehicular (sostenibilidad social) y a disminuir los tiempos en las entregas y costos de transporte (sostenibilidad económica), por ejemplo (Macharis & Melo, 2011).

En la Figura 1 se presentan los factores que afectan el transporte urbano sostenible presentado por Lindholm & Behrends (2012), el cual se basa en cuatro elementos básicos (instalaciones, infraestructura, bienes y vehículos). Las Instalaciones representan el lugar donde se lleva a cabo las actividades económicas; *bienes*, los cuales son demandados para ser transportados desde y hacia las diferente instalaciones. *Vehículos* los cuales brindan el servicio de transporte e infraestructura. Estos elementos interactúan en pares en cuatro subsistemas diferentes los cuales son: accesibilidad, uso de la tierra, transporte y tráfico. Todos estos juntos determinan el rendimiento del sistema de transporte urbano. El hecho de proporcionar esta accesibilidad es la función principal del transporte urbano de mercancías. El subsistema de *uso de la tierra* comprende el suministro de infraestructura de transporte, así como la ubicación de las instalaciones teniendo en cuenta la infraestructura del tráfico, los cuales son factores cruciales para la accesibilidad. En cuanto al sistema de tráfico, los movimientos físicos reales de los vehículos se realizan en redes físicas donde las unidades de tráfico absorben toda la capacidad de la infraestructura. En el sistema de transporte, la demanda de movimientos de mercancía desde y hacia las instalaciones corresponde a los servicios de transporte, los cuales requieren traslado de vehículos.

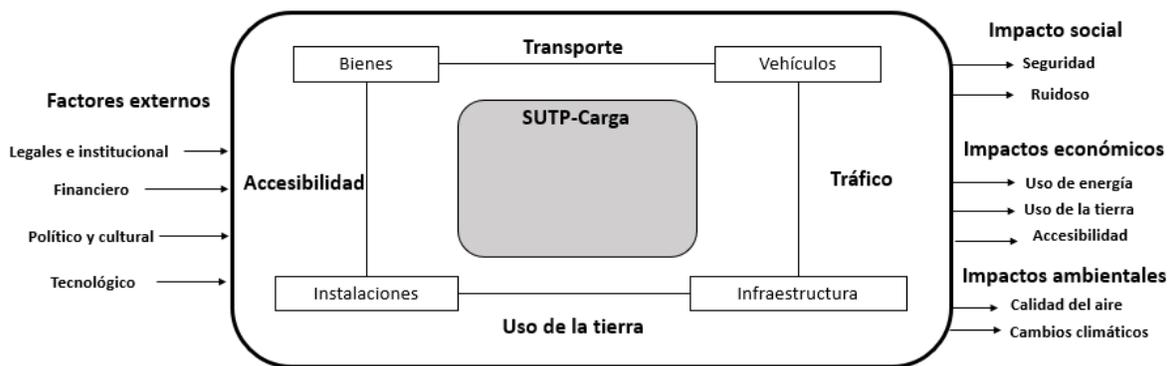


Fig. 1. La relación entre los factores que afectan a SUTP (Sustainable Urban Transport Project)-freight (adaptado y desarrollado a partir de Sjöstedt (1996).

5.2. Definición del concepto de logística inversa

Gracias a la importancia y la consideración de los aspectos sociales, económicos y medioambientales en empresas, ciudades y países, todas las herramientas que aportan de manera positiva para el mejoramiento de estos factores han tomado gran relevancia, como lo es la logística inversa. Según Alshamsi & Diabat (2015) este concepto hace referencia a la serie de operaciones que se inician a nivel del consumidor con la recolección de producto que han llegado al final de su vida útil, productos como los desechos de construcción, las baterías que brindan energía, autos que ya no son usados o son desechados, entre otros. Y se finaliza con el reprocesamiento de estos productos en las instalaciones de re manufactura o se realiza todo el proceso de reparación, renovación, reutilización, reacondicionamiento o reciclaje. En la Figura 2, se observa el funcionamiento de un sistema de logística inversa donde se tienen centros de recolección, los cuales pasan por un proceso de inspección para luego ser re fabricados y puedan ser vendidos de nuevo.

Ahora bien, este concepto nace gracias a la necesidad de considerar los aspectos ambientales en las cadenas de abastecimiento directas, las cuales se enfocaban inicialmente solo en la consecución de altos rendimientos económicos. El aprovechamiento de los recursos que han llegado al final de su vida útil puede traer a su vez beneficios financieros por la re fabricación de productos usados, dando gran apoyo a la sostenibilidad en todo el casco urbano de ciudades y países.

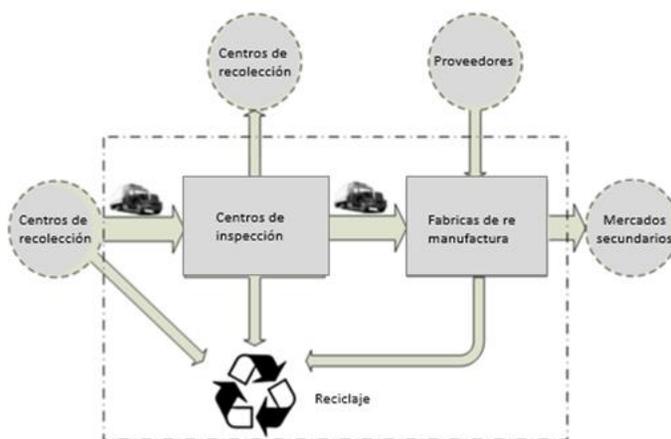


Figura 2. Logística inversa

Fuente: (Alshamsi & Diabat, 2015)

Por lo tanto, logística inversa es un proceso de gestión de la cadena de suministro que involucra varias operaciones, tales como devoluciones de productos para reutilización directa (reventa), mejora (reparación, reacondicionamiento y remanufactura), recuperación (canibalización y reciclaje) y disposición final (incineración y relleno) (Hanafi et al. al., 2008 , Prahinski y Kocabasoglu, 2006). De acuerdo con El Consejo Ejecutivo de Logística Inversa, esta se puede definir como: “El proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de materias primas, inventario en proceso , productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar el valor o la eliminación adecuada”.

5.3. Evolución del concepto Logística Urbana

La primera contribución a este concepto es gracias a Tolstoi en el año 1930, donde creó un modelo para la solución de un problema relacionado con el transporte de sal y cemento entre las diferentes fuentes y destinos que estaban a lo largo de la red ferroviaria de la antigua Unión Soviética. Este autor describió varios enfoques de solución, luego Hitchcock (1941) formuló de nuevo este problema y Kantorovich (1942) consideró un criterio de ciclo para la optimización de este.

En 1970, se dio una primera reglamentación para evitar la presencia de vehículos pesados en las ciudades y así limitar el impacto del transporte de mercancías en los movimientos de automóviles. Este tema se retomó desde 1990 gracias al aumento de problemas relacionados con el tráfico y la presión pública, por lo que se empezaron a realizar diferentes encuestas de tráfico y recolección de datos, lo que condujo a confirmar que el transporte de mercancías dentro de las áreas urbanas genera un gran número de movimientos de vehículos de carga de diferentes dimensiones y que además, la carga promedio de estos vehículos es baja y muchos de estos están vacíos, por lo que se está subutilizando estas capacidades y se generan a su vez diversos problemas (Macharis & Melo, 2011).

Aun así, los diferentes problemas de transporte y logística tuvieron que ser abordados mucho antes que existieran herramientas tecnológicas y por esta razón nace la investigación operativa, como una disciplina para desarrollar modelos y técnicas para apoyar la toma de decisiones en múltiples aspectos (Grazia Speranza, 2018). Gran parte del desarrollo de modelos de optimización depende de los datos disponibles y la capacidad computacional que exista. Es también gracias a la tecnología que estos modelos puedan dar resultados frente a los eficientes sistemas de transporte y a dar solución a los problemas de logística y transporte urbano.

Grazia Speranza(2018) estableció una línea de tiempo en la cual se observa cómo ha cambiado el concepto de logística urbana y cuáles han sido sus aportes. Es así como se empezaron las diferentes investigaciones y contribuciones a problemas logísticos de transporte en diferentes zonas urbanas, junto con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación. El autor define esta línea de tiempo de la siguiente manera:

- Entre los años 1960 y 1970, el transporte abarcaba conceptos de tráfico y transporte público. Además, en esta época, la logística era un campo que solo se refería a la distribución física y a la gestión de inventarios. En este mismo periodo, se desarrollaron lenguajes de programación para aplicaciones científicas y de ingeniería.
- En la década de los 80s se empezaron estudios de los diferentes modos de transporte por carretera como agentes comunes y flotas privadas. De igual forma, en esta época inició el transporte ferroviario y marítimo. En cuanto al transporte aéreo, surgió como un área de investigación distinta. Durante los primeros años de esta década, las computadoras se desarrollaron para uso doméstico con un software para juegos, programación y productividad personal.
- En 1990, el transporte incluyó el movimiento tanto de mercancías como de pasajeros. Además, la logística empezó a tomar un enfoque en las operaciones y los transportistas, y

su papel en la gestión de la cadena de suministro. El internet en esta época empezó a tener un impacto revolucionario en la cultura y el comercio debido a la comunicación casi instantánea (correos electrónicos, mensajería instantánea) y la *World Wide Web* con los diferentes foros, redes sociales y sitios de compra en línea.

- Por último, entre los años 2000 y 2010, el concepto de transporte y logística, continuaron creciendo juntos y cubriendo diferentes aplicaciones; además, las barreras existentes entre el transporte de mercancías y los pasajeros empezaron a desaparecer y en cuanto a la tecnología de comunicación, se crean las diferentes aplicaciones móviles y se encuentran disponibles en diferentes plataformas para dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas.

5.4. Partes interesadas y elementos esenciales

En la logística urbana, se identifican algunas partes interesadas principales como lo son los transportistas, administradores y residentes que están involucrados en la logística. Dado que estas partes interesadas tienen diferentes objetivos y perspectivas sobre el transporte urbano de mercancías, es de suma importancia la coordinación entre estas partes interesadas para avanzar hacia ciudades más sostenibles y habitables.

Como se observa en la Figura 3, existen tres elementos esenciales para promover la logística urbana. Como primer elemento se tiene la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación. Esto con el fin de la recopilación con éxito de datos precisos de movimientos, recorridos, recogidas y entregas de los diferentes camiones de carga que se encuentran circulando en las vías urbanas. Estos datos digitalizados pueden ser utilizados para la optimización de las rutas que recorren todos estos vehículos y la planificación de toda la programación para estos transportistas de una manera dinámica y estocástica (Grazia Speranza, 2018).



Figura 3. Elementos esenciales de la logística urbana según (Grazia Speranza, 2018).

Además, al optimizar las operaciones de los vehículos, se está contribuyendo a la reducción de costos de logística, disminución de emisiones de gases y a la mitigación de la congestión del tráfico. Por lo tanto, tanto las empresas privadas como la sociedad en general que reside en la zona urbana pueden verse beneficiadas del uso de las tecnologías de la información y la comunicación, así como

esta podría aportar a que se mejore la eficiencia de la logística urbana y se reduzcan los impactos medioambientales.

Como segundo elemento, se requiere un cambio de mentalidad en los gerentes de logística, ya que ellos son actores clave en las operaciones de transporte de mercancías urbanas. Ya existen varias empresas a las cuales se les ha otorgado certificación ISO9001 (gestión de la calidad) y certificación ISO14001 (gestión del medio ambiente). Estas certificaciones proporcionan a las empresas diferentes oportunidades para educar a sus empleados sobre las acciones para desarrollar sistemas logísticos más verdes. Además, la imagen verde de las empresa puede beneficiarlas, ya que obtienen una buena reputación en el mercado (Taniguchi, 2015).

Como tercer y último elemento, las alianzas público-privadas son un elemento central para la logística urbana, ya que normalmente los administradores desarrollan planes de transporte basados en sus propias encuestas y datos y luego, a veces, escucha la opinión pública y los diferentes residentes. Sin embargo, con estas asociaciones público-privadas se tienen en cuenta todas las partes interesadas involucradas y, por lo tanto, tienen participación en el desarrollo de planes urbanos para el transporte de mercancías. Compartir datos entre las empresas privadas y el sector público puede llegar a ser de bastante ayuda para entender la situación de cada parte y los problemas relacionados que tienen y asimismo evitar efectos secundarios por medidas políticas existentes (Browne et al., 2004).

5.5. Etapas en la gestión urbana

Para la realización del proceso de gestión urbana para el transporte de mercancías se requieren ciertas etapas, las cuales se dividen en cuatro: Diseño, valoración, implementación y evaluación. Estas etapas se apoyan en el concepto del ciclo PHVA, también conocido como ciclo Deming, el cual consiste en una estrategia para la mejora continua de la calidad donde se realizan los pasos *planear*, *hacer*, *verificar* y *actuar* tal cual como sus siglas lo indican (Taniguchi, 2015).

Es por eso que las etapas de *diseño* y *valoración*, corresponden a la fase de ***planear*** del ciclo PHVA; la etapa de *implementación* corresponde a la fase ***hacer*** y la etapa de *evaluación* corresponde a la fase de ***verificar*** y ***actuar***.

En la primera etapa de *diseño*, se incluyen varios aspectos como identificación de problemas y la búsqueda de sus causas, el establecimiento de los objetivos, la descripción de los vehículos de carga, teniendo en cuenta datos medibles. En esta etapa es muy importante considerar aspectos del sector público y además identificar todos los problemas que se están dando en las zonas urbanas. También, los objetivos deben ser claros y alcanzables. Seguidamente, se describen todos los movimientos que realizan estos transportes de carga y se enumeran varios enfoques para esta etapa como: enfoques de infraestructura, de regularidad, logística, cooperativo, técnico y de conductas. Además, se incluyen una serie de medidas para identificar los diferentes problemas, tales como la gestión del flujo del tráfico, gestión del estacionamiento, gestión vehicular, manejo de tiempos, mejor método de transporte, mejora de los movimientos de vehículos de carga urbanos utilizando las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) y actividades organizacionales como, por ejemplo, relaciones para transporte de cargas de calidad.

En la etapa de valoración, se realiza una planificación de un plan piloto para probar y determinar si el proyecto puede causar efectos secundarios, los cuales pueden evidenciarse en casos tales como cuando se empieza a evidenciar la circulación de camiones grandes en las zonas urbanas, pero nace un nuevo problema y es la circulación de un mayor número de camiones, los cuales desplazan a camiones grandes. Esto conlleva a elevar la congestión del tránsito y a un incremento del impacto ambiental. Lo anterior conduce a determinar que la solución del problema debe considerar los aspectos antes mencionados (Taniguchi, 2015).

Para la etapa de implementación, se requiere gran colaboración entre las autoridades públicas y las empresas privadas, ya que el éxito de cualquier medida de gestión para el transporte urbano de mercancías depende de la comprensión mutua y cooperación de ambos interesados. Además, los subsidios municipales deben ser utilizados eficientemente ya que el proyecto no puede ser sostenible si depende demasiado de los subsidios.

Para finalizar, en la etapa de evaluación se manejan diferentes criterios para evaluar medidas de política y factores importantes como los costos de las cargas, transportistas, impactos ambientales, seguridad del tráfico y el consumo de energía. Es necesario que se utilicen indicadores de rendimiento en términos de calidad de vida, el desarrollo económico que se esté dando y, además, el acceso y la eficiencia de este transporte, los cuales juegan un papel muy importante para la evaluación en la formulación de políticas. Ahora bien, si los resultados al final de esta etapa no son los que se esperaban, el procedimiento vuelve a iniciar identificando acciones de mejora.

A lo largo de todo este procedimiento, tanto las asociaciones público-privadas y las partes interesadas son de suma importancia ya que en reuniones y discusiones de manera abierta se puede llegar a encontrar soluciones inteligentes y ponerlas en práctica en la situación que se está viviendo. Adicional a esto, ciertos datos como los movimientos que realizan los vehículos de carga y transportistas se encuentran disponibles gracias a los GPS (sistemas de posicionamiento global) y de esta manera se puede analizar los flujos de tráfico de camiones y cómo es su comportamiento referente al estacionamiento. Estos datos precisos deben permitir comprender la situación actual que se está viviendo en la zona urbana y así encontrar las mejores soluciones posibles dando beneficio a todas las partes interesadas involucradas (Taniguchi, 2015).

5.6. Sistemas propuestos como solución a problemas de transporte urbano

Se han tomado sistemas de medidas de política en diferentes ciudades para la solución de problemas referentes al transporte urbano, existe una medida política conocida como Joint Delivery System JDS, que traduce sistema de entrega conjunta, el cual involucra a todos los transportistas a cooperar y colaborar para recolectar y entregar de manera conjunta todos los bienes hacia y desde los clientes que utilizan los Urban Consolidation Centres UCC, que traduce centros de consolidación urbana, esto con el fin de minimizar los costos logísticos y los impactos tanto sociales como ambientales. Además, el propósito de este sistema de entrega conjunta es aumentar la eficiencia de la distribución de los bienes mediante la consolidación de los productos que se encuentran en mercados competitivos, llegando a aliviar las congestiones vehiculares y dando mejoras en las condiciones de seguridad en el casco urbano. Este sistema ha sido incluido en algunos países como

Japón, Reino Unido, y Francia. De igual forma, este sistema es operado por empresas privadas teniendo apoyo de los municipios. Sin embargo, este apoyo no es de carácter financiero necesariamente, ya que este sistema trata problemas sociales en un área, para esto caso, el área urbana.

Aun así, en algunos casos como el de Japón, se implementó un sistema de entrega conjunta a principios de 1978 en Tenjin. En 1994, los centros de consolidación se establecieron en el suburbio y una nueva empresa de reparto conjunta. Hasta el día de hoy, este proyecto ha sido totalmente exitoso y funciona con el apoyo del Ministerio de Transporte. Otro ejemplo de la implementación de este sistema se dio en Osaka en la década de 1990, donde se tuvo la participación de 11 departamentos de almacenamiento. Además, el sistema les permitió a los grandes almacenes cambiar sus productos para entregarlos a los clientes de forma conjunta y cooperativa, lo cual conllevó a la reducción de horas máximas de trabajo de los empleados, así como el aumento en la frecuencia de visita a los consumidores.

Adicional a esto, no solo los empleados y consumidores se ven afectados de manera positiva, sino que los clientes se ven beneficiados de este sistema ya que reciben todos sus productos de una sola vez de todos los diferentes almacenes. También se tienen algunos otros ejemplos de casos donde diferentes tipos de sistemas de entrega conjunta han tenido éxito como en Shinjuku, Tokio en 1992 donde se implementó para altos edificios. En 2004 se implementó para calles comerciales y en 2012 en Tokio para alimentos refrigerados. Estos sistemas realizados son muy similares a los sistemas de entregas conjuntas para las zonas urbanas en cuanto a que buscan la eficiencia en entregas y son amigables con el medio ambiente. Sin embargo, es importante resaltar que este sistema de entrega conjunta para medidas de logística urbana ha sido un éxito para la reducción del número de vehículos transportadores y también dio como resultado la mejora ambiental teniendo en cuenta el beneficio de todas las partes interesadas como los receptores a los cuales se les ha mejorado el servicio de entrega de sus pedidos y todo con una menor cantidad de camiones en el área (Taniguchi, 2015).

La Figura 4 explica de manera sencilla lo que se realiza con los sistemas de entrega conjunta, donde todas las fábricas tomando como ejemplo la distribución de leche, realizan transporte a los centros de consolidación y de allí se encargan de transportar a los diferentes consumidores y clientes individuales, haciendo que se reduzca de manera significativa la cantidad de vehículos de carga transitando.

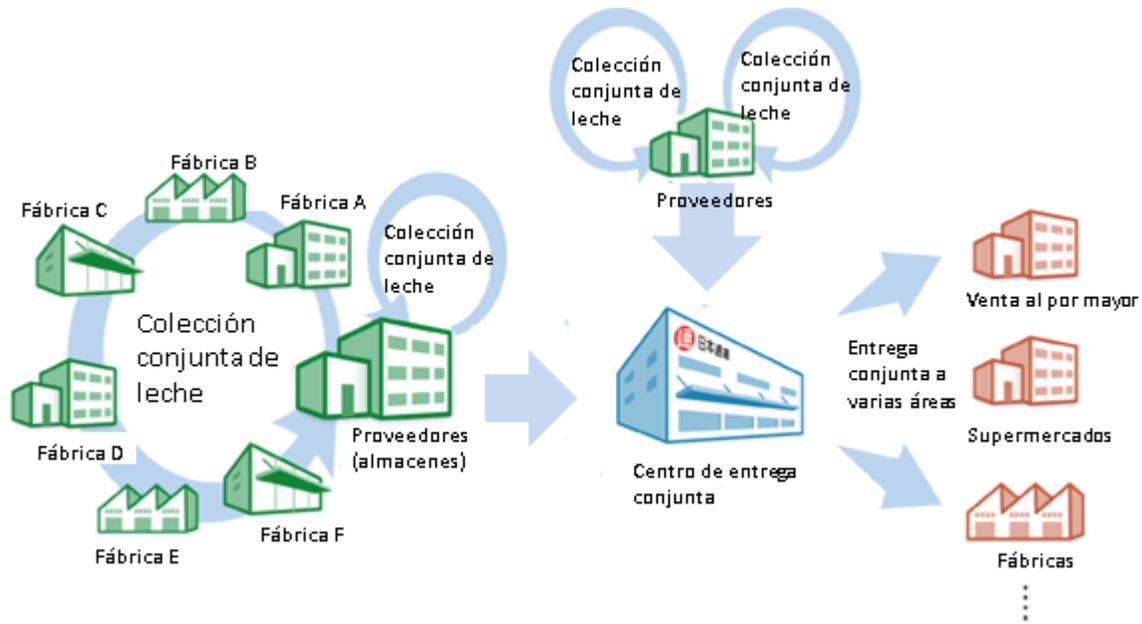


Figura 4. Sistema de entrega conjunta.

Fuente: Nippon Express (s.f)

Estos sistemas de entrega conjunta han sido mejorados y desarrollados para algunos diseños como el de complejos de edificios, donde alrededor de ellos se maneja mucha congestión del tráfico y se quiere mejorar servicios de entregas y recogidas, por lo que se requiere diseñar sistemas de distribución de bienes desde el principio para así realizar una efectiva planeación del edificio. Aun así, como ningún sistema es perfecto, este tiene ciertos problemas como lo son la confidencialidad de la información de los clientes, los tiempos de entrega limitados, las preocupaciones de las responsabilidades de transporte y los costos adicionales que representan los centros urbanos de consolidación y los sistemas unificados de información y gestión. En cuanto a confidencialidad de la información, muchos transportistas de carga manejan información de muchos de sus clientes y no esperan divulgar dicha información a cualquier empresa o persona que sea competencia en el mercado. Además, los tiempos de entrega de este sistema no son tan flexibles como en las entregas directas ya que todos estos vehículos de carga urbana tienen una planificación de horario para sus pedidos y momentos designados para visita a los clientes. También, muchos clientes y receptores de pedidos se preocupan en caso de que sus pedidos se demoren o se realicen daños a sus bienes. Asimismo, se requieren costos adicionales para crear o arrendar espacios consolidación urbana, así como para crear información unificada y que se tenga un sistema de gestión de transportistas. Todos estos elementos pueden llegar a ser obstáculos para establecer y operar algunos de estos sistemas de entrega conjunta.

Otro sistema es la Logística de última milla, este sistema de entrega conjunta fue diseñado para hacer más habitables y sostenibles todas las zonas urbanas. Este tipo de logística se basa en el comercio electrónico (*online*) donde lo más importante es la entrega del producto al cliente y la satisfacción del mismo considerando tiempos de entrega cortos (Kauf, 2016). El problema con este tipo de logística es que está incrementando el número de vehículos de carga urbana y por

consiguiente la congestión. Es por esto por lo que la logística de la última milla debería basarse en la optimización de los enlaces multimodales entre los proveedores que participan en la distribución de pequeños envíos y las diferentes operaciones de transporte a larga distancia. Este concepto debe basarse en el intercambio de recursos logísticos y la consolidación de manera flexible de los diferentes envíos que están saliendo y entrando. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo con este enfoque es la combinación de los proveedores que suministran diversos destinatarios y que se puedan trabajar de manera conjunta la logística inversa al tener en cuenta las reclamaciones y los residuos.

Además, con la creación de centros o terminales de transporte para la ciudad, se podría implementar la logística de la última milla sin algún problema (Kauf, 2016). De igual forma, esta consolidación debería empezar por realizar transportes de pequeños paquetes y de los diferentes paquetes personalizados, empezar a trabajar en pequeñas cantidades para luego pasar a trabajar con grandes envíos. Sin embargo, hasta el momento, estos terminales no han producido los efectos deseados debido a la complejidad que tienen las tareas de logística, la escasez de información y el gran número de empresas que se encuentran abasteciendo a la ciudad. Es por esto que la clave del éxito para estos terminales de transporte para carga urbana es el trabajo conjunto de todos los transportistas y el efectivo flujo de bienes teniendo en cuenta la infraestructura y todos los puntos existentes (Kauf, 2016).

La logística de última milla se puede usar con los conceptos de *Drop-off* y *Pick-up*, que traduce *Dejar* y *Recoger* respectivamente. Lo que se busca con estos dos conceptos es que no hayan entregas de un lado a otro, sino que por el contrario, existan puntos de entrega donde no se requiere mantenimiento, estos puntos están localizados usualmente en estaciones de gasolina o puntos de venta (Kauf, 2016). De esta manera, se podría garantizar la puntualidad de las entregas, la cómoda recolección de la orden, una forma de entrega rápida y se puede tener acceso a esta recolección permanentemente con una duración muy corta. Además, el hacer uso de estos términos puede ayudar a dar un concepto de logística basado en canales múltiples, podría ser de gran uso ya que hoy en día muchos consumidores modernos operan en un entorno multicanal en términos de acceso a las ofertas del mercado, y así podrían crearse nuevos canales de compra.

Igualmente, estos canales múltiples pueden tener diferentes usos según las necesidades que se tengan. Asimismo, la logística puede ayudar a mantener el atractivo de estos centros urbanos optimizando sus ofertas ya sean en línea o no. Sin embargo, gracias al requisito de la satisfacción del cliente con respecto a velocidades de entrega y disponibilidades de producto, es necesario que se tenga una estructura de ventas bastante sólida y que la logística de distribución para el comercio sea igual de buena. Aunque gracias al servicio de quejas y reclamos, muchos de los centros de logística multicanal existentes han evitado ciertas ineficiencias en sus procesos. De igual manera, la principal ventaja de la logística multicanal se tiene debido a la gestión coordinada de múltiples proveedores y así se mejora la compra y las relaciones entre cliente y proveedor.

La logística multicanal también considera el concepto de espacio urbano multifuncional o espacio compartido, este trata de realizar la inclusión de diferentes tipos de transporte en la carretera, ya

sea peatones, ciclistas, automóviles y transporte público (Kauf, 2016). Este concepto tiene como objetivo mejorar la seguridad y la fluidez del tráfico, aumentar el atractivo de las zonas urbanas, reducir la contaminación auditiva y mejorar el tipo de tráfico para cada tipo de involucrado en la carretera. Por consiguiente, la implementación de estos sistemas para dar sostenibilidad en las zonas urbanas requiere de tecnologías innovadoras. Por ejemplo, para unir los suministros en la logística última milla es necesario contar con sistemas de tecnología para la transferencia de envíos.

En el 70 % de los casos, los clientes no deciden realizar una compra debido a las limitadas opciones de entrega. Por lo tanto, ha aumentado el interés por buscar soluciones innovadoras en el campo de envíos y recepciones de productos (Kauf, 2016). Es por esto por lo que muchos transportistas han decidido optimizar los flujos de entrega realizando sus transportes en horas de tráfico reducido. Del mismo modo, uno de los elementos más importantes para tener sostenibilidad en el casco urbano es hacer de las ciudades zonas más inteligentes, una posibilidad sería haciendo uso de vehículos eléctricos ya que estos reducen la emisión de dióxido de carbono en la ciudad, aunque es una solución muy difícil de realizar, su potencial es enorme (Kauf, 2016). Esta implementación posee varias barreras, una de ellas es el costo de re adaptación de la flota, de igual manera, la implementación de una logística ecológica en la ciudad requiere nuevos modelos comerciales y un sistema de incentivos bastante bueno, como por ejemplo la reducción de impuestos locales. Además, estos vehículos eléctricos podrían ayudar a reducir la contaminación auditiva en las áreas de entrega de suministros y órdenes. Sin embargo, muchas veces no solo es el sonido de los vehículos lo que aporta a esta contaminación, sino que la acción de abrir y cerrar puertas y bodegas representa también un ruido relevante para esta área, para esto, se podrían tomar medidas de capacitación a los transportistas y demás trabajadores que se encuentran involucrados en estas entregas.

5.7. Principales áreas de la logística urbana

La logística urbana ha sido de bastante utilidad y ayuda para muchas ciudades y países gracias a su organización en cuanto a las cargas de transporte urbano, para así hacer de estas ciudades lugares más habitables y cómodos para sus residentes, de igual manera considerando todas las mejoras que pueden tener en aspectos socioeconómicos y medioambientales. Usualmente, se estudian once principales áreas de este tipo de logística las cuales según Quak et al(2008) son:

- Cooperación entre compañías
- Centros de consolidación
- Reorganización del transporte
- Mejoras en el enrutamiento
- Comercio electrónico
- Infraestructura e instalaciones de estacionamiento y descarga
- Innovación en las tecnologías
- Políticas: licencias y regulaciones
- Modelaciones
- Revisiones y discusiones
- Datos

5.8. Relación de la logística urbana con el diseño de cadena de suministros

El Consejo de Dirección Logística es una organización profesional de gerentes de logística, docentes y profesionales que se formó en 1962, este consejo define la logística con la cadena de suministro de la siguiente manera:

La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes.

Esta definición es de las más acertadas ya que explica que la logística también se ocupa de los flujos de los servicios, así como de los bienes físicos, manteniendo siempre en una mejora continua.

Ballou (2004) relaciona el término de logística y el término de cadena de suministros de la siguiente manera: "Es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal del flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor". La cadena de suministro directa abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. De igual forma todas las actividades que se realizan en la cadena de suministro directa, se realizan en la cadena de suministro inversa, la gran diferencia allí es que el flujo, como su nombre lo indica, es totalmente inverso, toda la información y bienes van del cliente a la fábrica.

En respuesta a consideraciones ambientales, sociales y económicas, algunos gobiernos a nivel mundial han decidido hacer uso de la logística inversa en las cadenas de suministro directas, convirtiéndolas en cadenas de abastecimiento inversas para trabajarlas en las respectivas ciudades y así dar beneficios a las actividades sociales y económicas que tienen lugar en las zonas urbanas. Sin embargo, la logística inversa es más compleja que las redes de logística avanzada tradicionales, por lo que pueden llevar a altos costos debido a transporte, ubicaciones potencialmente buenas para la instalación y otros factores. Es allí donde se toma como apoyo el concepto de logística urbana para la realización con éxito de diferentes actividades que se dan en el casco urbano y así poder tener resultados de rentabilidad económica alta e impacto ambiental positivo (Senthil, Muruganathan, & Ramesh, 2018).

En este orden de ideas, la cadena de suministro directa tiene en cuenta a todos los involucrados que se tienen en un proceso de entrega de bien o servicio al consumidor, puede involucrar personas, organizaciones, empresas y se tienen en cuenta diferentes actividades como la recolección, el almacenamiento, la distribución o hasta la transformación de materia prima. Por otro lado, la cadena de suministro inversa, como su nombre lo indica, ya no se dirige del fabricante al cliente sino que se dirige del cliente al fabricante. Esta cadena de suministro inversa se da gracias a la implementación de la logística inversa, todas las herramientas y conceptos de la logística inversa se

ven aplicados a la cadena de suministro directa y de esta manera es que las empresas hoy en día están cambiando sus diseños de cadena de suministros.

Teniendo en cuenta que la logística inversa busca la recuperación de los diferentes productos que pueden ser reciclados y retornables, la logística urbana hace un gran aporte llevando a cabo las actividades que pueden tener lugar en el contexto urbano y en el correcto transporte de estas mercancías para su reprocesamiento en las diferentes fábricas. Además, la logística inversa se ve complementada con la urbana gracias a que ambas buscan mejorar las condiciones económicas, sociales y ambientales.

Es así como la consideración del concepto de logística urbana en el diseño de cadena de suministros es realmente importante puesto que las fuentes de materia prima, las diferentes fábricas y los puntos de venta normalmente no se encuentran ubicados en el mismo lugar o sector y el canal de flujo que representa la cadena tiene una secuencia de pasos de manufactura, todas las actividades logísticas se repiten muchas veces antes de que el producto llegue a su lugar de mercado. Incluso, las actividades logísticas son aún más repetitivas cuando se hace uso de una cadena de suministro inversa, es decir, cuando los productos usados se reciclan en el canal de la logística.

Es de suma importancia que se haga uso de la logística urbana para el caso de esta investigación puesto que todo el diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas va a ser realizado en el contexto urbano en la ciudad de Ibagué, por lo que es necesario tener en cuenta diferentes aspectos como optimización de rutas de transporte, y manejo de transporte según las leyes que tenga esta región, de manera que todos los flujos físicos se realicen de la manera más organizada y efectiva posible. Se deben conocer todas las políticas de transporte de carga de las ciudades para así mismo realizar el diseño de rutas, cantidad de vehículos de transporte, el modo de transporte, operadoras de transporte, sistemas de recolección, y demás elementos necesarios para el correcto diseño y la debida implementación de la cadena de recuperación de llantas usadas en la ciudad de Ibagué.

De manera sintetizada, las bases conceptuales que intervienen en el diseño de cadena de suministros desde la perspectiva de la logística son:

- Diseño de rutas
- Políticas y regulaciones
- Cantidad de vehículos de transporte urbano
- Aplicación de las TIC'S
- Sistemas de solución al problema de transporte urbano
- Instalaciones de estacionamiento de carga y descarga

Estas bases son las que permiten que el diseño de una cadena de suministros sea implementado en el contexto urbano de manera exitosa. El *diseño de rutas* va muy de la mano con la *cantidad de vehículos de transporte urbano* y con las *instalaciones de estacionamiento de carga y descarga* ya que teniendo en cuenta los centros de recolección, los centros de procesamiento y las zonas de clientes, se puede realizar el diseño óptimo de rutas de tal manera que la cantidad de vehículos de carga que transiten por la ciudad sean el mínimo, ya que se busca minimizar emisiones de gases y

congestión vehicular en el casco urbano. Asimismo, las *políticas y regulaciones* se consideran una base para el correcto diseño e implementación de la cadena de recuperación de llantas usadas, es claro que todas las ciudades manejan diferentes tipos de políticas y regulaciones en cuanto a transporte urbano y en cuanto a cadenas de suministro inversas, así que es importante tener muy claro las políticas donde se piensa implementar este diseño. En el momento que se realice el diseño de la cadena, antes de llevarlo a la realidad, es supremamente importante que se simule este modelo, es decir, que se utilicen las diferentes tecnologías y softwares de simulación, todo con el fin de que el modelo de simulación de refleje la realidad y así se tengan múltiples escenarios de soluciones para tomar una decisión. De igual forma los *sistemas de solución para transporte urbano* que se proponen son referentes para dar una rápida solución a la congestión vehicular o tráfico por vehículos de carga que se estén presentando en la ciudad.

Tabla 1. Resumen bases conceptuales que intervienen en el diseño de cadena de suministros desde la perspectiva de la logística urbana

| Concepto | Descripción |
|--|--|
| Diseño de rutas | El diseñar las rutas de manera estratégica para la recolección de llantas usadas busca dar una solución estable y sostenible para el transporte urbano en el casco urbano, en la ciudad de Ibagué es fundamental para el diseño de la cadena de suministro inversa, este factor aporta a minimizar los costos de transporte de mercancías en la zona urbana. |
| Políticas y Regulaciones | Este concepto marca ciertas limitaciones necesidades para la carga urbana en el la ciudad en estudio. Todas las ciudades y regiones manejan diferentes políticas y regulaciones en el área urbana, y gracias a esto podrían ciertas barreras en el diseño de la cadena de abastecimiento inversa, para esto debe realizarse una revisión de las diferentes reglamentaciones que tiene la ciudad de Ibagué en este aspecto. |
| Cantidad de vehículos de transporte urbano | Determinar la cantidad de vehículos que van a estar transitando el área urbana es vital para minimizar el costo de transporte y el impacto ambiental y social que se genera, así entre la cantidad de vehículos sea mínima, mucho mejor. |
| Aplicación de las TIC'S | Las tecnologías de la información y la comunicación son la mejor herramienta para tomar una decisión que realmente aporte a la |

| Concepto | Descripción |
|--|--|
| | solución del problema, es necesario dar a conocer los diferentes escenarios que se presentan y así mismo que sean simulados para poder contar con un resultado verídico, todo esto utilizando los software de simulación. |
| Sistemas de solución al transporte urbano | Se comparten sistemas de solución al transporte urbano para que de esta manera el problema de la congestión vehicular y el tráfico por vehículos de carga sea mínimo en el casco urbano. En el documento se evidencian dos, el Sistema de Entrega Conjunta y la Logística de Última Milla, de esta manera se podrían estudiar qué sistema da una mejor solución para el caso de la ciudad de Ibagué. |
| Instalaciones de estacionamiento de carga y descarga | Estas instalaciones y su ubicación determinan la efectividad de la cadena de suministro inversa y qué tanto será su impacto en el transporte urbano. De esta manera se podrían determinar los centros de recolección y los centros de procesamiento y además todas las zonas de clientes. |

6. Caracterización casos empíricos

A continuación, se describen algunos casos que emplearon principios de logística urbana para el diseño de cadenas de abastecimiento inversas. La descripción incluye el proceso, los resultados y las conclusiones.

6.1. Caso donde se evidencia una DCSI (Diseño de Cadenas de Suministro Inversas)

6.1.1. Caso Manizales, Colombia (Costa-Salas, Sarache, Überwimmer, 2017)

Gran cantidad de ciudades colombianas han aumentado el número de autos comprados debido al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA), y entre estas ciudades se encuentra Manizales, la cual es la ciudad capital del departamento de Caldas en Colombia (Tovar, 2012). Gracias a este aumento, la reutilización de neumáticos ha tomado gran atención por parte de las autoridades de la ciudad. De hecho, la compañía de Saneamiento de la ciudad (SCC) ha detectado dos problemas principales de eliminación con respecto a los neumáticos desechados, uno de ellos es que se vuelven portadores de enfermedades y el otro es que se crean problemas de incendio en los neumáticos. De por sí ambos problemas presentan grandes riesgos tanto ecológicos como ambientales.

Para la solución de este problema, se desarrolla una propuesta algorítmica basada en la información recolectada por la compañía de Saneamiento de la ciudad (SCC), sin embargo, la recolección de neumáticos desechados en dicha ciudad es un proceso complejo debido a la disposición de terreno que se maneja en Manizales (carreteras montañosas) y la difícil accesibilidad que se tiene a los diferentes vecindarios. Aun así, el SCC cuenta con una flota de vehículos equipados para tales propósitos. Luego de varias propuestas y sesiones de trabajo con los gerentes de la compañía, se diseñó una propuesta para una red de reciclaje de llantas desechadas la cual toma en cuenta los principios económicos y legales según la regulación local.

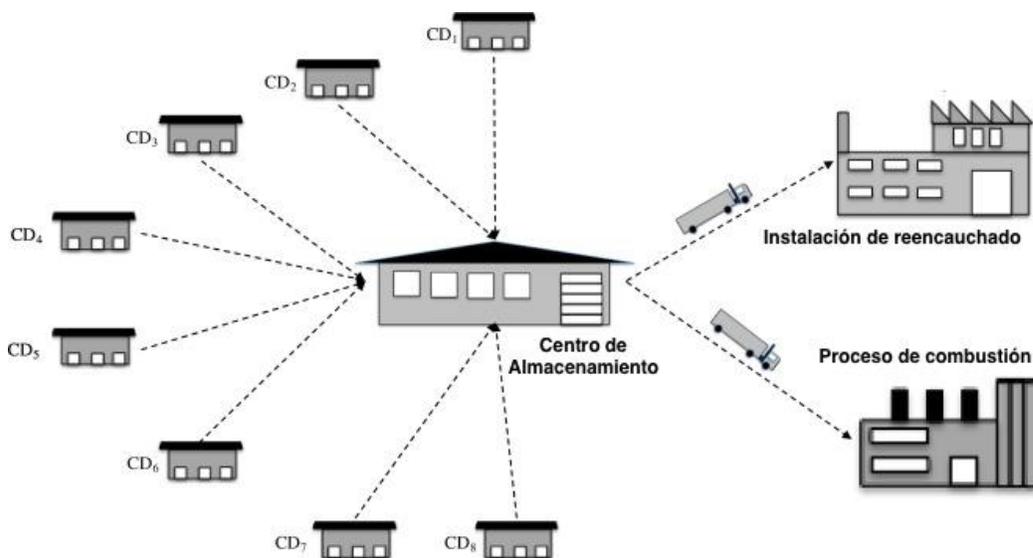


Figura 5. Red de reciclaje de neumáticos desechados en la ciudad analizada

Fuente: (Costa-Salas, Sarache, Überwimmer, 2017)

En la figura 5 se evidencian los proveedores principales de neumáticos desechados y los destinos a donde se podrían entregar los desechos recolectados. Los neumáticos desechados son generados en los puntos de concesionarios de automóviles (CD). Estos CD son los responsables de la recolección de llantas de automóviles y el transporte de neumáticos desechados desde los CD al almacén de SCC lo realiza la flota de vehículos con una capacidad de entre 5 y 20 neumáticos desechados por vehículo, una vez los vehículos entregan los neumáticos al almacén, se lleva a cabo un nuevo envío y se repite este proceso.

Basados en esa situación se definieron dos objetivos generales: maximizar el beneficio económico y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental negativo. Para la simulación de este caso de estudio, se utilizó el software de simulación PROMODEL, para mayor facilidad en cuanto a la adición de variables. En conclusión, en la ciudad de Manizales la recolección de residuos es un tema de gran preocupación para las autoridades municipales. Es por esto que el sistema que se propone minimiza el problema de las llantas desechadas y los resultados experimentales proporcionan evidencia suficiente para determinar el tamaño óptimo de la flota en los niveles de redes de reciclaje. Después de que se realizó la optimización de los escenarios simulados, donde se buscaba maximizar el beneficio económico, esto se mide por el número de llantas desechadas entregadas a las zonas del cliente y la tasa de utilización de las flotas, y donde se buscaba minimizar el impacto ambiental negativo, esto incluye la amenaza potencial que los desechos no recolectados podrían representar para el medio ambiente. Los resultados indican que se alcanza el mejor rendimiento de reciclaje global (económico y ambiental) para los neumáticos desechados cuando se usan tres camiones en la parte alta y uno se usa en los niveles inferiores respectivamente.

6.1.2. Caso Cracovia, Polonia (Jakubiak, 2016)

En Europa, gran parte de los residuos se utilizan para producir materiales y energía, de hecho, el reciclaje se convirtió en un método moderno para obtener materiales y así utilizarlos para crear nuevos productos. Gracias al éxito de este método, se empezó a implementar en Polonia y así la ley de los residuos entró en vigor en julio de 2013.

En Cracovia se encuentra una empresa que se llama El Servicio De Limpieza Municipal, es una empresa que existe desde 1906 y esta asume toda la responsabilidad del sistema de limpieza y mantenimiento en las fronteras administrativas de toda la ciudad. El 11 de Julio de 2013, el Concejo Local impuso diferentes deberes como el orden y la limpieza en vías públicas, realizar toda la gestión del sistema de recogida y mantenimiento de residuos municipales, y además realizar toda la instalación debida para poder utilizar los residuos municipales y los puntos de recolección selectivos.

Al tratar de dar cumplimiento a todos estos deberes, se detectaron muchas fallas en los procesos de recolección de desechos llevados a cabo. Algunas fallas fueron:

- Los conductores se encontraban en un lugar diferente al especificado
- No existe un sistema de planificación coherente que pueda indicar en qué ubicación se recogen los residuos

Para la solución de este problema, se propuso como objetivo de análisis el determinar el potencial de optimización, y así indicar los beneficios de cambios, especificando las restricciones que pueden influenciar en el uso de herramientas de optimización. En este caso de estudio, el criterio de optimización asumido fue minimizar la distancia recorrida por el camión, así que se procedió a analizar los diferentes recorridos que realizan los vehículos de cargas de residuos, luego de trabajar con el modelo de simulación, los resultados arrojados fueron los siguientes:

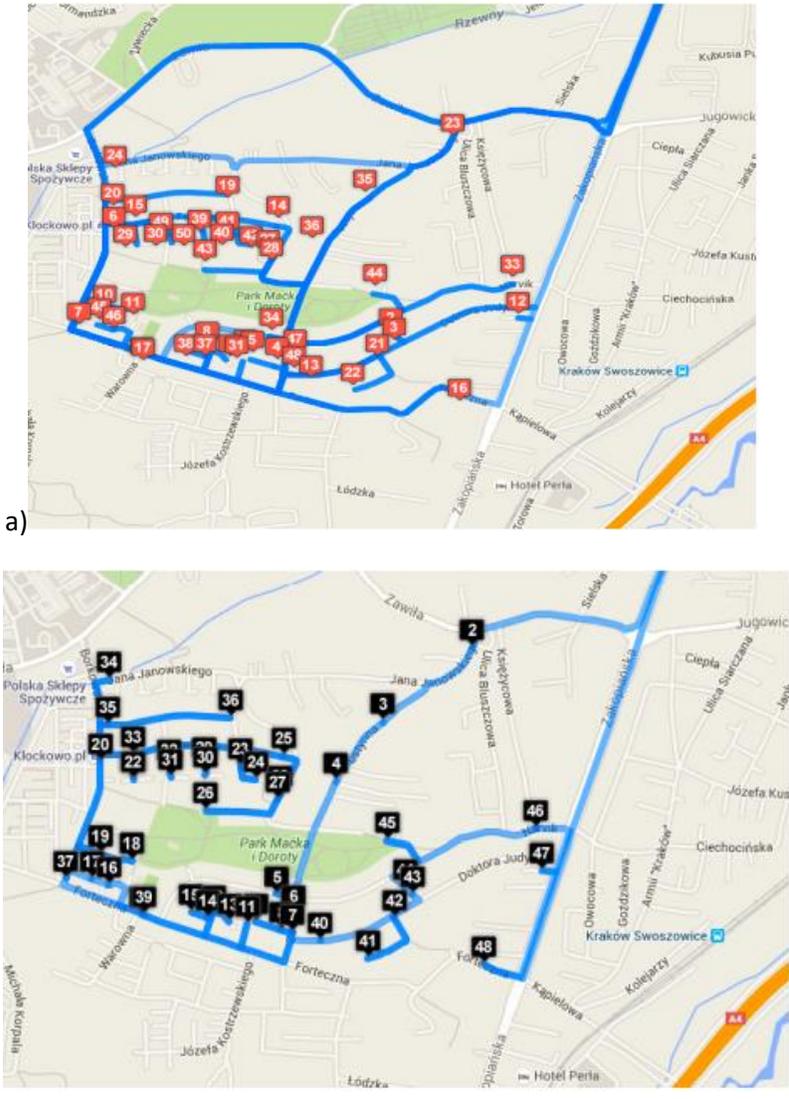


Figura 6. Comparación de las rutas a) La ruta que se llevaba a cabo antes del estudio b) Ruta sugerida por el autor
Fuente: Jakubiak, 2016

El análisis mostró que la implementación de algunos métodos de optimización simples permiten acortar significativamente la distancia de las rutas recogidas de residuos municipales y además esta investigación ayuda a identificar las limitaciones que podrían afectar en el mecanismo de optimización. Por último, el plan que se muestra a los conductores, permite controlar el trabajo de

una mejor manera, ya que nos permite determinar en qué ubicación deben estar los trabajadores en un periodo de tiempo determinado.

6.1.3. Caso área metropolitana de Estambul (Kuşakçı, Ayvaz, Cin, & Aydın, 2019)

Este caso de estudio que se realizó en el área metropolitana de Estambul, trata con todos los vehículos al final de su vida útil o más conocidos por sus siglas en inglés ELV *End Life Vehicles*. De acuerdo con la directiva Turca sobre los vehículos al final de su vida útil con fecha de 2009, el viaje de un ELV comienza con su transporte a los centros de recolección autorizados o centros de desmantelamiento. En este paso, el propietario es el responsable del transporte del vehículo. Se requiere un centro de recolección para transferir el ELV dentro de los sesenta días a un centro de desmantelamiento autorizado (ADC). Antes de que comience la operación de desmontaje, los líquidos y productos químicos tóxicos y nocivos, como el aceite hidráulico, el aceite de transmisión, el líquido refrigerante y el resto del combustible, se drenan del vehículo (Zhang y Chen, 2018). A continuación, las piezas reutilizables del cuerpo de EVL son desmontadas y codificadas por el ADC.

Mientras que las piezas reutilizables se venden en mercados de segunda mano después de la operación de restauración, algunos componentes y materiales se envían a las instalaciones de reciclaje. El resto, denominado como *hulk*, va a las trituradoras donde el cuerpo de ELV se rompe en pedazos al triturar cilindros y cuchillas y de allí se extraen metales ferrosos y no ferrosos.

Las instalaciones de reciclaje, por otro lado, separan los componentes entrantes en dos categorías principales: materiales reciclables y peligrosos. Los materiales reciclados se venden a los proveedores mientras que los peligrosos se eliminan. En función del flujo de material descrito, la cadena de suministro inversa está compuesta por siete grupos principales: (1) usuarios de vehículos, (2) centros de recolección, (3) desmanteladoras, (4) instalaciones de procesamiento/trituradoras, (5) mercados de segunda mano, (6) recicladores y (7) centros de eliminación. El ministerio de Medio Ambiente y Urbanización de Turquía estableció los objetivos de reutilización/reciclaje en 85% y 80% hasta el 2020 respectivamente. A partir de entonces, los mismos valores se elevarán al 95% y al 85% respectivamente (Ministry of Environment and Urbanization, 2009). Para el diseño y simulación de esta red, se hizo uso del modelo MILP determinista, donde el objetivo del modelo es minimizar el costo total, que es la diferencia entre el costo fijo de establecimiento, recolección, transporte, trituración y eliminación de instalaciones de ELV, así como el ingreso total generado por la venta de componentes reutilizados y material reciclado en el mercado.

Luego de realizar el modelo de simulación, se identificaron las partes constitutivas de la red de logística inversa para la región metropolitana de la ciudad que están ubicadas geográficamente en la figura 9.



Figura 9. Ubicaciones y tipos de miembros de varios niveles en la cadena de suministro (Kuşakci, Ayvaz, Cin, & Aydın, 2019)

De acuerdo con la solución óptima del modelo, deben abrirse 5 ADC (Centros de desmantelamiento autorizado), y dos instalaciones de procesamiento/trituración. En total, los centros de recolección recolectaron 13203 toneladas de ELV y el resto (11032 toneladas) se envió directamente a los ADC. De esta manera se realizó entonces el flujo del material hacia las instalaciones de trituración, teniendo en cuenta todo lo que es las rutas en el contexto urbano para evitar problemas de tráfico y congestión con todos los vehículos de transporte urbano que van a estar recorriendo las calles de esta área metropolitana.

6.2. Casos donde se evidencia la Logística Inversa

6.2.1. Caso del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC) (Alshamsi, Diabat, 2017)

Este caso de estudio se formula para el Consejo de Cooperación del Golfo (GCC) región, donde se consideran 68 ciudades, lo que lleva a cabo un gran número de variables y restricciones, por lo que se elige un enfoque heurístico para dar solución al problema. Este trabajo se centra en modelar una red de logística inversa para el caso de grandes electrodomésticos (lavadoras y secadoras) en la región del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC).

Los estados miembros de GCC son Bahrein, el Reino de Arabia Saudita (KSA), Kuwait, Omán, Qatar y los Emiratos Arabes Unidos (EAU). Estos países se encuentran en la península árabe en Asia Occidental. Para dar solución a este caso de estudio, se formula un modelo de programación lineal mixta MILP donde se consideran las diversas opciones de transporte e inversión disponibles para decidir las ubicaciones óptimas para los centros de inspección, las plantas de remanufactura y los

centros de reciclaje. Además determinar el tiempo, la capacidad, y la cantidad de centros de inspección y plantas de remanufactura que se abrirán o expandirán.

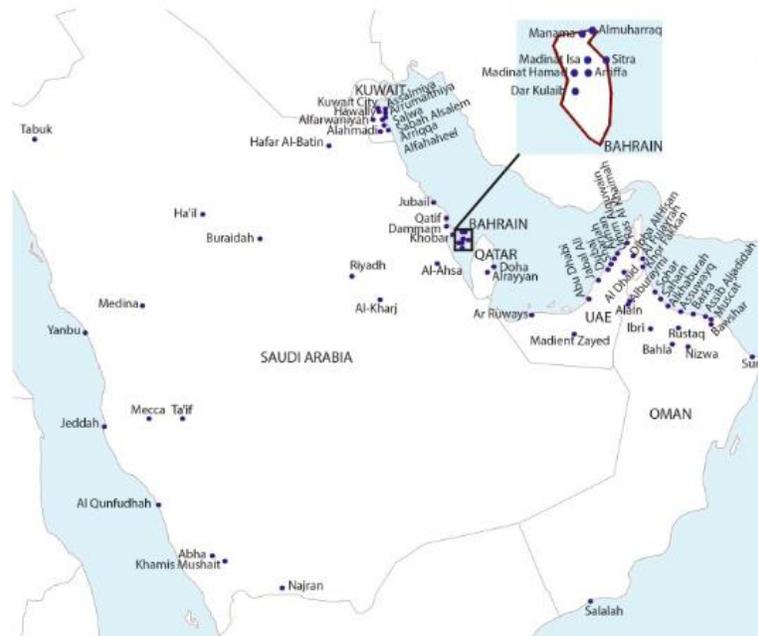


Figura 7. Las ubicaciones y los nombres de las 68 ciudades más pobladas de GCC (Alshamsi, Diabat, 2017)

En la formulación para este caso de estudio, la función objetivo maximiza el beneficio y comprende varios términos, donde los primeros cinco se refieren a los ingresos obtenidos a través de centros de reciclaje, plantas de fabricación externas y mercados secundarios. El problema MILP desarrollado que se considera se resuelve utilizando un algoritmo genético y el software comercial GAMS. El caso contiene 68 centros de recolección, 68 ubicaciones potenciales para centros de inspección y las plantas de remanufactura pueden expandirse con una capacidad alta o baja de los módulos. Además se asume que hay un centro de eliminación y una planta de remanufactura externa con capacidades ilimitadas. El horizonte de planificación para este caso de estudio es de cinco años y hay dos opciones de transporte las cuales son la flota interna y la flota de subcontratación.

En conclusión, el algoritmo genético (GA) se aplicó con éxito para resolver un problema de programación lineal mixta (MILP) de gran escala de una red de logística inversa. Gracias a esto se pudo lograr una gran reducción en el tamaño del problema en términos de la cantidad de variables y restricciones, haciendo que este se pudiera solucionar en una computadora personal. A través del análisis de resultados se concluyó que las ubicaciones potenciales de centros de inspección y remanufactura dependen mucho del peso de factor tierra y depende de la ubicación de la ciudad.

6.2.2. Caso Gran Santiago de Chile (Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas, & Vásquez, 2018)

En el año 2010, Chile se unió a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2018), y recibieron como sugerencia de la organización que sus esfuerzos deberían fortalecerse en la valorización de los residuos, para que así el país logre un desarrollo más sostenible. En mayo de 2016, el gobierno de Chile promulgó la Ley Marco para la gestión de residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y la Promoción del Reciclaje. Gracias a esta Ley Marco, los fabricantes e importadores de productos prioritarios están obligados a cuidar sus productos al final de su vida útil (aceites lubricantes, productos electrónicos, bombillas, periódicos y revistas, embalajes, productos farmacéuticos, baterías, pesticidas y vehículos). La Responsabilidad Extendida del Productor se define como un enfoque de política ambiental en el que la responsabilidad de un productor por un producto se extiende a la etapa posterior al consumo de ciclo de vida del producto (Wilts et al., 2016).

Para este caso, se lleva a cabo un ejemplo numérico basado en el caso de las llantas fuera de uso en la ciudad de Gran Santiago de Chile. En la actualidad, el nivel total de reciclaje se estima en un 10% en el país y con la REP, se espera que en cinco años se logre un 30% de recolección y recuperación de desechos, creando así nuevos negocios y disminuyendo su disposición final. Esta responsabilidad (REP) impone responsabilidades financieras y operativas completas a los productores (o importadores) de un conjunto de productos específicos. Para abordar estas responsabilidades se diseña una red de logística inversa que permite el reciclaje de múltiples productos fuera de uso. La red se define por conjuntos de proveedores locales, centros de recolección, plantas de reprocesamiento, una disposición final y un mercado, donde se negocian los productos derivados de los residuos separados y reciclados.

Es por esto que se propone realizar un modelo matemático de programación lineal (MILP) para el diseño de la red. El objetivo es maximizar el beneficio/minimizar la inversión del sistema de gestión, mediante un modelo de ubicación capacitado, el cual permite determinar los centros de recolección y las plantas de reprocesamiento del sistema que entrarán en operación, así como la cantidad de residuos separados y reciclados de un producto específico enviado a los centros de recogida, plantas de reprocesamiento y fuentes de generación de energía. De tal forma que satisfaga la demanda, optimizando los costos de operación y la utilización de las capacidades de desechos reciclados de un producto específico que falta para cumplir con los objetivos de reciclaje establecidos por el gobierno. Para este caso tomaron varios costos fijos y variables de producción, transporte, inversiones de los centros de recolección y plantas de reprocesamiento. Se tomó además la cantidad de centros de acopio y plantas de reprocesamiento finitas.

En la figura 8 se evidencia la red del sistema en la ciudad de Gran Santiago donde se describen algunas características del diseño.

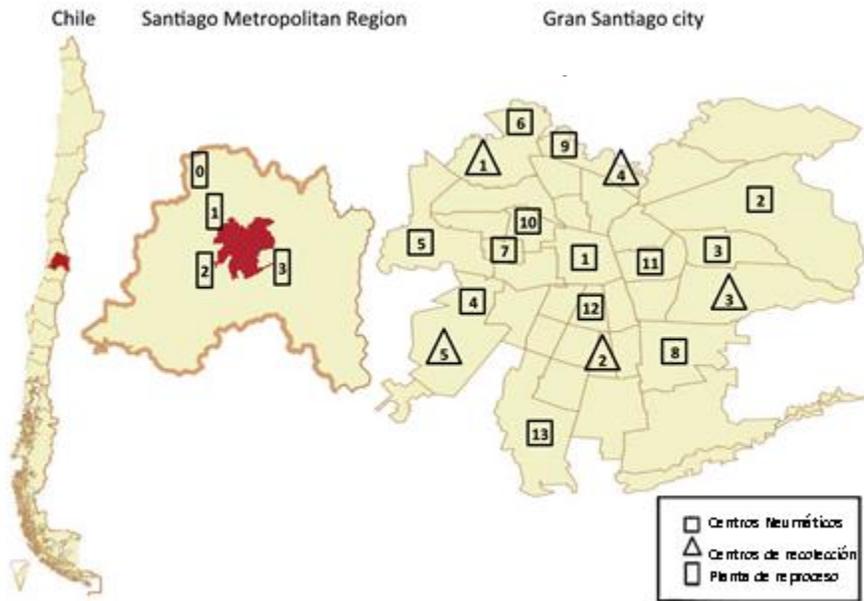


Figura 8. Red del sistema en la ciudad de Gran Santiago
(Banguera et al., 2018)

Para abordar este problema de diseño, se presentó un modelo para el diseño óptimo bajo un enfoque de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), este modelo permite visualizar el flujo económico de ingresos y costos que están relacionados con todo el proceso de logística inversa en este caso. Este sistema permite a la logística urbana predecir algunos costos de transporte y evaluar contratos de licitación realizados con proveedores. Además, este modelo de localización permite conocer los centros de recolección y los centros de reprocesamiento que deben habilitarse para que el costo de la red sea mínimo y a su vez brinde información de la distribución de residuos entre los diferentes participantes del sistema.

6.3. Casos donde se evidencia la logística urbana en una CSD (Cadena de Suministro Directa)

6.3.1. Caso Lisboa, Portugal (Alho & de Abreu Silva, 2015)

El caso que se va a mostrar es el de Lisboa, en Portugal, el cual fue realizado por Alho & de Abreu Silva (2015). Esta ciudad cuenta con 547.700 habitantes y tiene 17.346 establecimientos minoristas, se hace referencia a estos establecimientos como los que pueden ser una empresa o son parte de una empresa. Físicamente, representan el punto de venta de bienes desde las empresas hasta el usuario final (Alho & de Abreu Silva, 2015). En esta ciudad, el comercio está bastante concentrado en la parte del sur del eje central del mapa (ver Figura 4), mientras que los residentes están más concentrados en la periferia de la ciudad. Esto se asocia con el hecho de que el comercio está más concentrado entre las áreas más antiguas y centrales de la ciudad, donde la red vial se caracteriza por tener carreteras estrechas. Aun así, como no hay datos que respalden estas concentraciones, se cree que estas congestiones en periodos pico está relacionado con el desplazamiento diario, por lo

que existe una expansión urbana en el área metropolitana. De igual forma, no se tiene en cuenta zonas con acceso restringido, es decir, zonas donde los vehículos deben realizar un proceso de registro tanto para la entrada como para la salida.



Imagen tomada de A.R. Alho, J. de Abreu e Silva / Journal of Transport Geography 42 (2015) 57–71

El caso de estudio es la zona que se encuentra delimitada en negro y los puntos azules son los establecimientos ya mencionados. También para este estudio se tomaron algunas variables como: el área de la ciudad, la densidad comercial, la homogeneidad comercial la accesibilidad logística y las restricciones. Para la densidad comercial, se formuló el supuesto de que esta densidad era igual al número de establecimientos en cada elemento de la red, ya que todas las áreas son de igual tamaño. Así mismo, el sector de actividad comercial no se consideró relevante y para los establecimientos industriales no hay datos actualizados ni georreferenciados sobre ubicación o actividad. En cuanto a la homogeneidad comercial, se realizó una clasificación del establecimiento con 10 categorías diferentes y se usó el concepto de la entropía, el cual es comúnmente utilizado para medir uniformidad, pero en este caso fue utilizado para medir la diversidad.

Para la accesibilidad logística (nivel de acceso entre la tienda y el estacionamiento del transporte de mercancías), no se encontraron datos sobre el nivel de congestión del tráfico, por lo que se tomó como alternativa de solución el porcentaje de todos los diferentes establecimientos que cuentan con zonas de carga y descarga (Alho & de Abreu Silva, 2015). En cuanto a las restricciones, hay cuatro vecindarios los cuales el acceso por carretera está restringido a residentes, comerciales y proveedores; sin embargo, esta proporción es muy pequeña comparada con el área total, tan solo son aproximadamente 0,8 % del área total.

Antes de esto se realizó una preselección en los establecimientos minoristas, en este proceso se descartaron establecimientos ubicados en centros comerciales (13 % del total), puesto que estos se suponen que deben tener estacionamientos y es un punto de concentración, de igual forma se descartaron establecimientos dedicados para cierto uso y que tuvieran más de 100 empleados, por lo que manejan operaciones logísticas diferentes gracias a sus tamaños de envíos los cuales serían

más grandes que los demás establecimientos. Asimismo, se descartaron aquellos que no contaban con la suficiente información de direcciones y demás (7 % del total).

En cuanto a las características de los productos, se tomó un grupo de variables donde se categorizaban por volumen, por peso y si se requería alguna condición especial. Para la última variable se tienen los perfiles de agentes y de entregas, teniendo en cuenta la urgencia de las entregas.

Por último, la metodología que fue implementada puede ser de uso para definir perfiles logísticos de manera cuantitativa, teniendo en cuenta los grupos de zonas urbanas y sus diversas características. Además, para este caso en Lisboa solo se validaron cuatro perfiles logísticos diferentes a los cuales se les podría aplicar un conjunto de acciones políticas y regulaciones para así mejorar toda la gestión logística en esta zona.

6.3.2. Caso Mar Báltico (Lindholm & Behrends, 2012)

El estudio realizado por (Lindholm & Behrends, 2012) incluyó 12 ciudades y regiones en los países alrededor del Mar Báltico. Todos los datos empíricos fueron recolectados en tres pasos: primero, se realizó una autoevaluación del sistema de transportes de la ciudad, incluyendo el transporte de pasajeros y mercancías; luego se realizó una revisión entre pares sobre la base de autoevaluación de las ciudades y, por último, una revisión en profundidad del transporte de mercancías de las ciudades. La autoevaluación y la revisión por pares se aplicaron en las doce ciudades (Bremen, Göteborg, Kouvola Region, Örebro, Sundsvall, Turku, Gdynia, Kaunas, Liepaja, Pärnu, Tartu, y Vilnius) mientras que la revisión de carga en profundidad se limitó a cuatro ciudades: Bremen, Gdynia, Kaunas y Örebro. Lo particular de estas cuatro ciudades, es que representan culturas políticas y administrativas diferentes, ya que el estudio incluye tanto ciudades de los antiguos estados miembros de la Unión Europea (Bremen y Örebro), como ciudades de los nuevos miembros. Además, estas ciudades difieren en tamaño ya que aproximadamente, Bremen cuenta con 500.000 habitantes, Kaunas 320.000, Gdynia 250.000 y Örebro con 100.000 habitantes. En cuanto a las condiciones geográficas, Bremen y Gdynia son ciudades portuarias, mientras que Örebro y Kaunas se encuentran dentro del país. Lo que tienen en común todas estas ciudades es el fuerte papel de la logística y transporte de mercancías para su economía local.

La autoevaluación fue realizada por autoridades locales, donde se mapean todos los desarrollos, planes y proyectos actuales en un informe de autoevaluación, este informe contenía descripciones del perfil del municipio, factores que afectan la movilidad y el transporte, impactos sobre la sostenibilidad urbana, indicadores de emisiones, seguridad y calidad de vida urbana. Una vez realizados los informes, se llevaron a cabo las revisiones entre pares por un grupo de expertos formados por planificadores de tráfico e investigadores de las diferentes ciudades del proyecto, incluido los autores, realizaron una revisión del informe de autoevaluación y luego visitaron las ciudades. Durante una semana, el equipo de revisión realizó entrevistas con todas las partes interesadas en el proyecto. Y por último, se llevó a cabo una revisión de carga en profundidad en las cuatro ciudades anteriormente mencionadas. En total, se realizaron 34 entrevistas de mercancías a

fondo con actores que representan diferentes aspectos del problema del transporte de mercancías en diversos niveles y funciones.

Teniendo en cuenta los subsistemas identificados en la logística urbana por Sjöstedt (1996), uso de la tierra, accesibilidad, transporte y tráfico (ver Figura 2). Se concluyó que para el uso del suelo o de la tierra rara vez se tiene en cuenta el transporte de carga para el desarrollo de un plan de estos. Sin embargo, aunque este sea un problema que se ve a menudo, en Bremen tienen muy buena planificación del uso del suelo ya que este va relacionado con el transporte de mercancías y concentra las instalaciones de transporte y logística intensiva en un área dedicada con una terminal intermodal.

En cuanto a la accesibilidad, el crecimiento económico que se espera en estas ciudades durante las próximas décadas llevará a que se produzcan más bienes en las áreas urbanas, como consecuencia de esto, el sector de la logística debe ser desarrollado y mejorado. En Kaunas, por ejemplo, desarrollar la ciudad como centro logístico es una prioridad en el plan estratégico. En general, se espera que los bienes que demandan accesibilidad sigan aumentando y el crecimiento resultante en el tráfico de mercancías probablemente tenga consecuencias negativas tanto en el nivel de servicio de transporte urbano como en la sostenibilidad urbana.

Para el transporte, el tipo de transporte que domina la división modal del transporte de mercancías entre las ciudades es el transporte por carretera. Sin embargo, en muchos casos hay tiempos de espera considerables gracias a la congestión en las carreteras de acceso y las colas de terminales. En Gdynia, por ejemplo, hay una demanda de servicios ferroviarios los cuales podrían ofrecer mejores velocidades y menores costos, sin embargo, las limitaciones de capacidad de infraestructura conducen a la falta de servicio de transporte ferroviario. En todas las ciudades se han realizado inversiones en infraestructura vial que mejoran el acceso a las principales áreas de logística por carretera, mientras que no hay evidencia de ninguna inversión que se haya hecho recientemente para la infraestructura ferroviaria. Y aunque ciertos esquemas logísticos municipales se probaron en Bremen y Örebro, no han tenido éxito debido a problemas operativos y la falta de beneficios para los actores que participan en estos esquemas. Además, la falta de voluntad de cooperación entre los diferentes actores es un gran problema para la realización de estos.

En cuanto al tráfico, el crecimiento de estos flujos es un problema en todas las ciudades y se espera que aumente en el futuro. Por lo tanto, la falta de capacidad de infraestructura de tráfico es un desafío común ya que a pesar de que actualmente se está construyendo una importante infraestructura de transporte, el crecimiento de la capacidad todavía se ve superado por el crecimiento de la demanda de transporte de mercancías. Es por esto que se requieren importantes inversiones en infraestructura para garantizar acceso. Además, la falta de espacio de carga en los distritos comerciales centrales causa problemas para las operaciones de entrega y obstaculiza el tráfico de pasajeros, es por esto que en todas las ciudades la congestión y la falta de espacio de carga son una amenaza para todas las diferentes entregas que se quieren realizar de manera confiable y eficiente.

En los impactos ambientales y de sostenibilidad no se tiene una conexión clara para estos casos en cuanto al transporte de mercancías y los impactos ambientales, sin embargo, todas las ciudades enfrentan el desafío de cumplir con los estándares de calidad del aire de la Comisión Europea.

Para concluir este caso de estudio, los resultados mostraron que los servicios de transporte de mercancías son cada vez más importantes para la competitividad regional, mientras que el tráfico de mercancías es considerado una amenaza creciente para la sostenibilidad urbana, además se pudo identificar de este caso de estudio que existen varias deficiencias en la planificación del transporte urbano de mercancías. Para realizar esto de manera correcta, debe realizarse un procedimiento de planificación integrada, donde se incluyen todos los diferentes tipos de transporte existente y todos los tipos de transporte de mercancías.

6.3.3. Caso Belo Horizonte (De Magalhães, 2010)

El siguiente caso de estudio que se va a presentar fue realizado por De Magalhães (2010). Este caso tiene como objetivo de análisis el tránsito de personas por las vías urbanas en Brasil, en especial en Belo Horizonte, capital del estado de Minas Gerais, con casi 2.5 millones de personas y se encuentra en una región metropolitana compuesta por 34 ciudades y por casi 5 millones de personas y además posee uno de los principales parques industriales del país. Debido a los múltiples orígenes y destinos que tiene esta región, es bastante complicado la realización del mapeo y caracterización de todos los movimientos de mercancía.

Sin embargo, gracias a las encuestas realizadas en las carreteras principales acceden en la región metropolitana en el año 1992 y 2001, se identificaron los diferentes flujos de carga dentro de la región, así como los flujos que tan solo cruzan por esta. Y aunque estos datos no incluyen información sobre los flujos internos con origen y destino dentro de la región, pudo llegar a realizarse un mapeo específico de las principales rutas de tráfico de carga dentro de la ciudad Belo Horizonte, permitiendo de esta manera, la caracterización de productos y vehículos, condiciones de transporte, y los principales orígenes y destinos de cargas dentro del área central de Belo Horizonte. Este estudio tiene como objetivo de contribución la discusión y las dificultades para medir los flujos de carga en las ciudades de la región metropolitana y también mostrar el volumen excesivo de vehículos de carga que circulan vacíos o sin el uso de su capacidad de carga completa y asimismo poder hallar soluciones basados en los conceptos de la logística urbana.

En la realización de este estudio, se pudieron señalar algunos factores responsables de la alta complejidad de la logística y la frecuencia del transporte de mercancías en las ciudades brasileñas más grandes, particularmente en la ciudad de Belo Horizonte. El primer factor influyente es la rápida urbanización, este proceso de crecimiento acelerado concentra poblaciones y flujos de tráfico en áreas reducidas, así como la dispersión de las ciudades, lo que termina resultando en aumento de volúmenes y distancias cubiertas por vehículos de transporte de carga y de servicio, lo cual termina contribuyendo a los atascos y aumento de accidentalidad en las vías, además de la contaminación ambiental que se presenta.

El segundo factor es la globalización en la cadena de suministro y el comercio electrónico, esto ha hecho que la participación de la oferta extranjera se intensifique, proporcionando todo lo que son

materias primas, componentes enviados a industrias locales en la ciudad, productos enviados directamente a empresas y productos que se envían a consumidores a través de servicio de mensajería.

El tercer factor es la estrategia JIT (just in time) que traduce justo a tiempo, esta estrategia es adoptada por muchas empresas con el objetivo de una mayor eficiencia y un mejor uso de espacios para los procesos de fabricación en vez de procesos de almacenamiento, lo que termina resultando en la minimización de antiguas áreas dedicadas para este fin.

El cuarto factor son las políticas de reabastecimiento continuo de inventarios, esta política es comúnmente adoptada por establecimientos minoristas, se realiza con el objetivo de tener más espacio disponible dentro de las tiendas y al no tener gran cantidad de inventario, hace que las visitas de reabastecimiento por parte de los proveedores se hagan con mayor frecuencia y esto conlleva a la utilización de vehículos de carga.

El quinto y último factor es el nivel de servicio que es considerado como un producto, esto hace referencia a que hoy en día la mayoría de productos vienen con servicios de entrega incluido, lo cual lleva al uso de vehículos de transporte para servicios de entrega a casas y negocios, además este factor en particular se ha visto de manera creciente en la ciudad de Belo Horizonte.

Cabe resaltar que lo que se realizó con este caso debido al contexto metropolitano en el que se encuentra la ciudad de Belo Horizonte, fue la planificación y gestión del sistema de transporte de mercancías dentro de la ciudad, el cual lo dividieron en dos enfoques. Un primer enfoque macro que tiene como objetivo lograr economías de escala a través de la reducción de ubicaciones de autopistas e instalaciones con los diferentes centros de consolidación y distribución de terminales. Y el segundo enfoque es la realización de proyectos específicos y operaciones diseñadas para Belo Horizonte.

Para la disminución de los impactos negativos de los vehículos de carga presentados en el área central de Belo Horizonte, se realizaron ciertos procedimientos operativos:

- Operaciones de libre circulación y de carga y descarga para camiones con longitud máxima de 6,5 metros que realizan trabajos en la zona de centro de la ciudad, esta longitud no afecta tanto el flujo del tráfico como otros vehículos más grandes.
- Horarios restringidos para operaciones de circulación y carga y descarga.
- Período de tiempo limitado para realizar operaciones de carga y descarga, esto controlado con tarjetas de estacionamiento, acompañado de multas si se excede el tiempo máximo.
- Optimización de tiempos para minimizar el período de carga y descarga.
- Prohibición de las operaciones de carga y descarga en periodos diurnos en las carreteras.

De este caso de estudio se concluyó que el 30 % de los camiones circulaban vacíos y los que tenían carga, usaban menos del 50 % de su capacidad. Por otro lado, los camiones más grandes transportados en el área del centro, en promedio, cargaban más del 23 % de su capacidad de carga nominal, lo cual termina siendo indeseable de igual forma ya que existen riesgos de accidentes y de

desgaste de la superficie de las carreteras. Igualmente se concluyó que hay demasiadas camionetas, camiones y motocicletas en circulación, particularmente en el área central de Belo Horizonte. Y esto no quiere decir que sea un servicio de distribución de carga satisfactorio, ya que implica altos costos.

Además, existe falta de información e infraestructura tecnológica, por lo que se deben desarrollar procedimientos para reducir la cantidad de vehículos con carga vacía en circulación, así como controlar el acceso al área central de la ciudad de Belo Horizonte y las operaciones de carga y descarga. Asimismo, hacen falta de terminales de carga integrados con plataformas logísticas, lo cual podría promover la consolidación de la carga en vehículos apropiados para que esté listo a la distribución dentro de las áreas centrales de las ciudades.

De igual manera, se concluyó la falta de depósitos de almacenamiento que podría dar soporte a la concentración y reducción del movimiento de vehículos de carga en las carreteras en los horarios apropiados. Igualmente existe una falta de puntos de recogida para pedidos pequeños, lo que podría promover la reducción de motocicletas y los vehículos de carga urbanos medio vacíos en Belo Horizonte.

Sin embargo, la viabilidad de consolidar los diferentes orígenes y destinos de los movimientos de mercancías depende en gran medida de la cooperación entre las partes interesadas, además, para controlar los impactos negativos que tienen los vehículos de transporte de mercancías en las zonas urbanas, deberían darse cuenta de lo importante que es cumplir satisfactoriamente las necesidades materiales de los clientes teniendo en cuenta el contexto de una cadena de suministro y así establecer políticas de servicios urbanos que resulten proporcionando tiempo y utilidad para productos y servicios de una manera eficiente y con bajos costos.

6.3.4. Caso de Delhi, India (Gupta & Garima, 2017)

El siguiente caso de estudio fue realizado por Gupta & Garima (2017). India es una de las economías más grandes del mundo y un importante mercado que tiene una población joven, donde sus tasas de inversión están aumentando y tienen una gran demanda interna y empresas globalmente competitivas. Los principales impulsores del crecimiento de la logística en cuanto a industria son los farmacéuticos, las industrias de automóviles, y los bienes de rápido consumo. La contribución del movimiento de mercancías, incluido el transporte y el almacenamiento de estas, es de alrededor 90 %. La carretera domina el modo de carga de transporte mixto y constituye aproximadamente 60 % del tráfico total de mercancías, el transporte ferroviario constituye aproximadamente 32 % y el transporte marítimo constituye aproximadamente un 7 %. Mientras que el transporte por navegables interiores y vías aéreas constituyen aproximadamente menos del 1 % cada uno.

Además, según el censo realizado en el año 2011 en India, Delhi tiene una población de 16.75 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento exponencial anual promedio de la población de 1.92 %. El área total de Delhi es de 1,483 km², con una densidad de población de 11,320 por km². Además, la economía de Delhi ha crecido al 12 % durante los años 2004 a 2012, y está dominada por el sector terciario. Alrededor de 58,000 vehículos de mercancías hacen viajes múltiples para el transporte de mercancías y distribución dentro de Delhi. El comercio en esta ciudad ha jugado un papel muy importante para el crecimiento en la economía debido a las renovaciones en los

impuestos y el conceder nuevos empleos remunerados. Delhi es el mayor centro de comercio y de consumo del norte de la India, lo que significa que una gran parte de su actividad económica se ocupa de la redistribución de los bienes producidos en otros lugares e importados para las diferentes ventas locales, así como para distribuir por otros estados.

En esta ciudad hay alrededor de 37,000 empresas mayoristas, además de 6,500 empresas de almacenamiento. En el año 2005, el número total de establecimientos que funcionan en los límites geográficos de Delhi eran de 757,743. De los cuales en el 2011, aproximadamente 400,838 eran establecimientos comerciales mayoristas y minoristas. Delhi siendo el centro de distribución del país, recibe y distribuye grandes cantidades de bienes a diario, lo que resulta en un intenso movimiento de transporte de carga a diario dentro de esta ciudad. Según Gupta et. al. (2007) el tonelaje regional gestionado por día en Delhi es de 377.030 toneladas para el año 2008.

De este caso de estudio se concluyó que, se ha propuesto realizar una instalación de 4,557 depósitos para el área comercial, de los cuales 735 serían depósitos y almacenamiento en frío, ya que de los bienes distribuidos en Delhi, aproximadamente un 16 % del área total comercial, son productos que requieren cadena de frío. Sin embargo, en términos de enfoque de planificación y políticas no ha habido ningún esfuerzo para la evaluación de requisitos de almacenes en Delhi, particularmente para almacenes privados. Aun así, se ha intentado planear complejos de carga integrados desde que se realizaron los dos últimos planes maestros, que además del almacenamiento y otros servicios, se incluiría el uso para los mercados mayoristas para así facilitar las operaciones de flete y descongestionar las áreas existentes en el mercado mayorista.

6.3.5. Caso de Parma, Italia (Morganti & Gonzalez-Feliu, 2015)

Este caso de estudio fue realizado por Morganti & Gonzalez-Feliu (2015). Este proyecto es particularmente diferente respecto a los anteriores ya mencionados, ya que la mayoría de los proyectos de logística urbana se ocupan de productos no alimentarios, mientras que este se concentra en esa logística de la ciudad para productos frescos, los cuales tienen un mayor cuidado. Existen diferentes factores que se diferencian de la realización de proyectos relacionados con productos no alimentarios y productos frescos. En primer lugar, la logística que se realiza para los alimentos impone ciertas restricciones que no se aplican en las cadenas de suministros de productos no alimentarios, de igual manera, impone limitaciones en los tiempos de entrega cortos y procedimientos específicos, así como se aumenta costos operaciones debido a cadenas de frío, requisitos de temperatura, entre otros.

Este estudio se centra en el papel de mercado de productos al por mayor, para proporcionar servicios de logística actuando como un centro de distribución urbano. Se estudia ese proyecto denominado Ecocity en Parma ya que ha realizado dos innovaciones importantes: trata con productos alimenticios frescos en lugar de paquetes de entrega convencionales los cuales ya han tenido varios estudios. Como segunda innovación, es la primera vez que una autoridad del mercado mayorista decide gestionar un proyecto de logística para productos perecederos y además, ha renovado algunas de las instalaciones de distribución existentes para que el mercado de productos sirva como centro de distribución y consolidación.

Ahora bien, Parma es una ciudad histórica con 190,000 habitantes, ubicada en la región de Emilia-Romaña, en el norte de Italia, entre el río Po y los montes Apeninos. La economía de esta ciudad se basa principalmente en el sector agroalimentario y es conocida como la capital del *valle de la alimentación* de Italia, donde se producen productos alimenticios de alta calidad como algunos reconocidos quesos. Además, se encuentra situado en un importante cruce ferroviario y de carreteras en las principales rutas de Milán a Bolonia, los cuales llevan un tercio de la carga de Italia. En Parma, todas las actividades comerciales que involucran alimentos se extienden por toda la zona urbana, en particular, los minoristas de alimentos independientes y servicios están muy concentrados en el centro de la ciudad, mientras que los supermercados se encuentran en los suburbios.

Para el análisis de este caso, se estudiaron las siguientes variables para todos los transportes de alimentos, tanto minoristas como minoristas independientes:

- Variables logísticas
 - Frecuencia solicitada por receptores (promedio)
 - Unidad de carga
 - Características de las entregas.
- Variables tecnológicas y organizacionales
 - Tipos de vehículos
 - Período de entrega
 - Nivel de optimización logística
 - Tipos de portadores
 - Nodos en la cadena de suministro

En Parma, el plan urbano y su estructura de carretera no es adecuada para los volúmenes de tráfico actuales. Estos altos volúmenes han impactado de manera negativa la zona urbana originando congestiones, peligros en las calles, contaminación acústica y atmosférica, y representan amenazas para el entorno de vida del centro de la ciudad. Es por esto que han decidido estudiar las variables y han encontrado que, con respecto a las eficiencias de las operaciones de transporte, la dispersión de los clientes y receptores, hacen que se haga uso de gran número de vehículos comerciales que operan por debajo de su capacidad máxima de carga. Además, la mayoría de las entregas de alimentos urbanos son hechas por vehículos diésel viejos, por ejemplo, camionetas y furgonetas, los cuales generalmente consumen grandes cantidades de combustibles fósiles y de igual manera generan mayores cantidades de emisiones contaminantes como dióxido de nitrógeno y partículas.

Debido a esto, se decidió diseñar ciertas políticas que contribuyan al mejoramiento de la situación actual. La administración de Parma se enfocó en los siguientes objetivos:

- Reducir la contaminación del aire, las emisiones de gases efecto invernadero, disminución del ruido a niveles que no tengan un impacto negativo en la salud de los ciudadanos o la naturaleza.
- Mejorar los recursos y la eficiencia energética y la rentabilidad del transporte de mercancías.

- Mejorar el atractivo y la calidad del entorno urbano, reduciendo el número de accidentes, minimizando la ocupación de la carretera, sin comprometer la movilidad de los ciudadanos.

Para la realización de estos, se realizaron asociaciones con las partes interesadas donde se propongan esquemas de solución de las necesidades de todos de la mejor manera. Así como la creación de centros de distribución urbanos para la eficiencia de los transportes. Además, definieron requisitos para calificar como vehículo de transporte de alimentos, requisitos como uso de vehículos livianos (3.5 toneladas), garantizar un alto uso de capacidad de carga (al menos un 70 %) y la configuración de sistemas de localización para rastrear y monitorear vehículos.

Los resultados que se obtuvieron de este proyecto Ecocity fueron realmente exitosos, ya que se están utilizando las instalaciones de distribución existentes y se han racionalizado las entregas de alimentos. Además, el servicio de transporte capta una parte cada vez mayor de los flujos de carga y se entregan 40 toneladas de productos alimenticios por día dentro de la ciudad. Este caso de estudio involucra 16 operadores y transportistas, 17 fabricantes y proveedores de alimentos, 7 minoristas de cadenas corporativas y 10 mayoristas de productos agrícolas. Los clientes y receptores son alrededor de 250 empresas de alimentos y servicio de alimentos que requieren entregas diarias de alimentos frescos y secos. Asimismo, todas las entregas se realizan en furgonetas de 3.5 toneladas con un sistema de motor alimentado con metano.

6.3.6. Descripción caso Bogotá en el contexto nacional (Portuario, 2016)

Un estudio realizado por la Alcaldía Mayor de Bogotá (Cal & Mayor y Asociados SC., 2012) definió la logística urbano-regional del transporte de mercancías como una rama especial de la logística que se encarga de todo lo relacionado con flujos de transporte, impactos económicos, sociales y medioambientales, y todas las distribuciones físicas de las empresas ubicadas en esta región.

Problemas en la ciudad

El plan de ordenamiento logístico que se propuso para Bogotá arrojó ciertas características cuantitativas y cualitativas las cuales tienen que resolverse, entre las características de orden cuantitativo se destacan algunas como:

- Circulan alrededor de 20 mil camiones los cuales entran y salen de la zona urbana, de los cuales el 63% clasifican de capacidades medianas y altas.
- Estacionamientos de camiones en la vía pública que sobrepasan el 9% de los que entran y salen de la ciudad.
- Operaciones de carga y descarga en la vía pública que alcanza el 15% de los camiones que entran y salen.
- Entrada y salida de 11 mil toneladas de productos químicos peligrosos que circulan por la vía urbana, aquí se incluyen los camiones que atraviesan la ciudad de Bogotá pero no van destinadas a ella.
- El flujo de productos perecederos representa el 22% de la carga de entrada de los camiones.

Entre las características de orden cualitativo se destacan algunas como:

- La falta de aplicación de la normatividad a los responsables de la violación del espacio público mientras realiza actividades de estacionamiento y la carga y descarga de camiones.
- Afectación a la competitividad y productividad debido a las restricciones horarias que se les da a los camiones y con esto solo se beneficia a los transportadores en autos particulares.

Recomendaciones

Respecto al plan de ordenamiento logística para Bogotá D.C., el estudio de consultoría realizado por (Cal & Mayor y Asociados SC., 2012) recomienda que se solucionan los diferentes aspectos ya mencionados con algunas estrategias como:

- El diseño de una estrategia de política para el ordenamiento logístico a nivel urbano-regional.
- Promover la conformación y creación de centros logísticos en Bogotá para manejar de manera conjunta todos los flujos provenientes de la autopista Sur, vía Mosquera y vía Medellín. Y así mismo para los demás flujos provenientes del norte y demás.
- El aeropuerto El Dorado como centro logístico internacional.
- Contribuir a la conformación de terminales de carga y descarga.

6.3.7. Síntesis Casos empíricos

A partir de los casos presentados, en la Tabla 2 se presenta una síntesis de cada uno, esto con el fin de evidenciar los objetivos, el bien a transportar en la cadena, el tipo de cadena de suministro ya sea directa o inversa, los resultados obtenidos, el tipo de modelación implementado y el tamaño de la ciudad al cual se le aplica dicho estudio, y de esta manera recurrir a la consulta del estudio, en caso de requerir la profundización en algún componente de la investigación.

Tabla 2. Síntesis de los casos empíricos analizados en el presente estudio

| Ciudad / Caso | Autor | Año | Objetivo | Contexto de aplicación | Estructura de la red | Conclusión o resultado | Tipo de Modelación | Tamaño de la ciudad |
|----------------------------------|-----------------------------------|------|---|---|----------------------|---|---------------------------------------|---|
| Manizales, Colombia | Costa-Salas, Sarache, Überwimmer, | 2017 | Maximizar el beneficio económico y minimizar el impacto ambiental negativo | Neumáticos desechados | Inversa | Mejor rendimiento de reciclaje global (económico y ambiental) para los neumáticos desechados cuando se usa la configuración de ruteo de cuatro camiones circulando para la recolección de desechos. | Simulación de eventos discretos | 434,403 habitantes y 571.84 km ² |
| Cracovia, Polonia | Jakubiak | 2016 | Determinar el potencial de optimización buscando minimizar la distancia recorrida por el camión | Residuos municipales | Inversa | La optimización permitió acortar significativamente las distancias recorridas y se pudo determinar en qué ubicación deben estar los trabajadores en cierto periodo tiempo determinado | Método de optimización "2-optimal" | 766,739 habitantes y 326.8 km ² |
| Área metropolitana de Estambul | Kuşakçı, Ayvaz, Cin, & Aydın | 2019 | Determinar el número óptimo de centros de recolección y de desmantelamiento de autos | Vehículos al final de su vida útil | Inversa | De acuerdo con la solución óptima del modelo, deben abrirse 5 ADC (Centros de desmantelamiento autorizado), y dos instalaciones de procesamiento/trituración. | Programación lineal de enteros mixtos | 14'657,434 habitantes y 1538.77 km ² |
| Consejo de Cooperación del Golfo | Alshamsi & Diabat | 2017 | Determinar las ubicaciones óptimas de los centros de inspección, plantas de remanufactura y los centros de reciclaje para los grandes electrodomésticos | Lavadores y Secadoras (Electrodomésticos) | Inversa | Aunque se logró la reducción en cuanto al tamaño del problema en cantidad de variables y restricciones, se concluyó que las ubicaciones potenciales de centros de inspección y remanufactura dependen mucho del peso de factor tierra y depende de la ubicación de la ciudad. | Algoritmo Genético | 68 ciudades |

| | | | | | | | | |
|------------------------|---|------|--|--|---------|--|--|--|
| Gran Santiago de Chile | Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas, & Vásquez | 2018 | Maximizar el beneficio/minimizar la inversión del sistema de gestión, mediante un modelo de ubicación capacitado | Neumáticos desechados | Inversa | Se determinaron los centros de recolección y los centros de reprocesamiento que deben habilitarse para que el costo de la red sea mínimo y a su vez brinde información de la distribución de residuos entre los diferentes participantes del sistema. | Programación lineal de enteros mixtos | 6'257,516 habitantes y 837.89 km2 |
| Lisboa, Portugal | Alho & de Abreu Silva | 2015 | Realizar la mejora de toda la gestión logística de Lisboa | Tráfico urbano en la ciudad | Directa | Se definieron los perfiles logísticos de manera cuantitativa, en cuanto a Lisboa solo se definieron cuatro perfiles a los cuales se les podría aplicar un conjunto de acciones políticas y regulaciones para la mejora. | Análisis de clasificación múltiple | 506,654 habitantes 100.05 km2 |
| Mar Báltico | Lindholm & Behrends | 2012 | Optimizar el sistema de logística urbana en las ciudades especificadas | Análisis del transporte de carga en las ciudades seleccionadas alrededor del Mar Báltico | Directa | Existen varias deficiencias en la planificación del transporte urbano de mercancías, es por esto que debe realizarse un procedimiento de planificación integrada, donde se incluyen todos los diferentes tipos de transporte existente y todos los tipos de transporte de mercancías | Autoevaluación holística del sistema de transportes de la ciudad | 4 ciudades seleccionadas (Bremen, Gdynia, Kaunas y Örebro) |

| | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------|------|--|---|---------|---|--|-----------------------------------|
| Belo Horizonte | De Magalhães | 2010 | Lograr economías de escala a través de la reducción de ubicaciones de autopistas e instalaciones con los diferentes centros de consolidación y distribución de terminales. | Problema de transporte de carga urbana en la ciudad de Belo Horizonte | Directa | Se concluyó que el 30 % de los camiones circulaban vacíos y los que tenían carga, usaban menos del 50 % de su capacidad. Además de los camiones más grandes los cuales cargaban más del 23% de su capacidad de carga nominal | Encuestas realizadas para identificar los flujos de carga dentro de la región | 2'513,451 habitantes y 330.95 km2 |
| Delhi, India | Gupta & Garima | 2017 | Determinar las cantidades de depósitos y almacenamiento de bienes distribuidos en Delhi para la mejora en la gestión urbana | Planificación y gestión urbana en la ciudad de Delhi | Directa | Se concluyó que se debe realizar una instalación de 4,557 depósitos para el área comercial, de los cuales 735 serían depósitos y almacenamiento en frío, ya que de los bienes distribuidos en Delhi, aproximadamente un 16 % del área total comercial, son productos que requieren cadena de frío | Análisis de transporte (Toneladas de distribución y kilómetros de recorrido) | 26'495,000 habitantes y 1483 km2 |
| Bogotá, Colombia | Portuario | 2016 | Minimizar el impacto ambiental, social y económico en la ciudad de Bogotá debido al transporte de mercancías | Ordenamiento logística en la ciudad de Bogotá | Directa | Mejoras en las características cualitativas y cuantitativas en el plan de ordenamiento logístico en Bogotá | Estudios y revisión en el plan de ordenamiento | 7'150,000 habitantes y 1775 km2 |
| Parma, Italia | Morganti & Gonzalez-Feliu | 2015 | Gestionar un proyecto de logística para productos perecederos | Productos perecederos | Directa | El proyecto que se quería plantear "Ecocity" fue un éxito ya que las instalaciones de distribución existentes se están utilizando de manera eficiente y se han racionalizado las entregas de los alimentos | Estudio de variables para los transportes de alimentos (variables logísticas, tecnológicas y organizacionales) | 194,417 habitantes y 260 km2 |

De acuerdo a las bases conceptuales que intervienen en una cadena de suministro desde la perspectiva de la logística urbana identificadas anteriormente, se presenta en la Tabla 3 el concepto o los conceptos abordados en cada uno de los casos estudiados.

Tabla 3. Conceptos aplicados en los casos empíricos

| Ciudad / Caso | Concepto | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------|--|-------------------------|---|--|
| | Diseño de rutas | Políticas y regulaciones | Cantidad de Vehículos de transporte urbano | Aplicación de las TIC'S | Sistemas de solución al transporte urbano | Instalaciones de estacionamiento de carga y descarga |
| Manizales, Colombia | X | | X | X | X | X |
| Cracovia, Polonia | X | X | X | X | X | X |
| Área metropolitana de Estambul | X | | X | X | X | X |
| Consejo de Cooperación del Golfo | | X | | X | X | X |
| Gran Santiago de Chile | X | | X | X | X | X |
| Lisboa, Portugal | | | X | X | X | X |
| Mar Báltico | X | X | | X | | |
| Belo Horizonte | X | X | X | X | | X |
| Delhi, India | | X | | X | | X |
| Bogotá, Colombia | | X | | X | | X |
| Parma, Italia | | X | X | X | | X |

7. Aspectos para tener en cuenta de la logística urbana para el diseño de una cadena dedicada a la recuperación de llantas usadas

A continuación, se van a dar a conocer algunos aspectos relevantes de la logística urbana para el eficiente diseño de una cadena de recuperación de llantas usadas.

7.1. Planeación

El siguiente aspecto es identificado por Crainic (2008), este autor recomienda que como primera medida se debe realizar una planificación a nivel estratégico, táctico y operacional, esto con el fin de que el sistema de transporte de logística urbana se realice y se empiece con éxito. El nivel estratégico hace referencia al diseño del sistema y la evaluación de las propuestas de logística urbana, es decir, se debe evaluar el comportamiento del sistema que se propone y las políticas operativas, además de que aborda el análisis continuo del rendimiento.

Igualmente, para que esta planificación se realice de manera adecuada, es necesario tomar como referencia los siguientes pasos:

1. Se debe representar los modos de transporte, infraestructura, servicios, vehículos, terminales e instalaciones intermodales, esto con el fin de conocer los diferentes requerimientos y necesidades del sistema de transporte logístico a implementar.
2. Definir los productos, identificar los productores, expedidores, intermediarios y asimismo evaluar los volúmenes de producción, consumo y distribución punto a punto.
3. Por último, se deben asignar los flujos de transporte de los materiales.

Este procedimiento impone el comportamiento del sistema de transporte y su resultado forma la base para los análisis estratégicos y las actividades de planificación.

7.2. Políticas

El siguiente aspecto relevante es identificado por Macharis & Melo (2011). Este aspecto hace referencia a las políticas de carga urbana que se deben tener en cuenta, en donde se encuentran cinco áreas principales de políticas a evaluar:

- Políticas de información
- Políticas del sistema de distribución
- Políticas de accesibilidad
- Instalaciones de carga y descarga
- Políticas de vehículos

Es muy importante que todo esto se tenga en cuenta antes de implementar un sistema de transporte de logística urbana, ya que hay que revisar todos los factores, reglas y regulaciones que limitan las diferentes acciones con los vehículos de carga, además de que hay que evaluar si se tiene algún requisito legal por factores de emisión y carga en los vehículos de transporte urbano.

7.3. Actores de la cadena

El siguiente aspecto relevante es identificado por Macharis & Melo (2011). Este hace referencia a la perspectiva y el papel de los diferentes agentes que tiene interés en la cadena logística. Para esto es necesario que se hagan algunas distinciones. Una primera distinción que debe establecerse entre las responsabilidades de los agentes privados y públicos.

En el caso de la recuperación de llantas, para este producto es necesario distinguir entre operadores privados (minoristas, mayoristas o empresas de transporte de mercancías) y públicos, como el gobierno local. Si las decisiones que generan los flujos de estos bienes en el área urbana provienen del sector privado, los responsables de las políticas podrían facilitar o restringir estos flujos o regular el sistema de transportes para que este sea más amplio. En cambio, las medidas públicas regularmente incluyen precios o licencias.

Ahora bien, entre los actores tradicionalmente identificados en el sistema de movimientos de mercancías se encuentran receptores, transportistas y reenviadores. Estos son tres tipos de agentes principales que influyen en el funcionamiento de la cadena logística. Los dos primeros agentes son los operadores de transporte (transportistas y reenviadores) y los minoristas que reciben los bienes,

sin embargo, aquí debe tenerse en cuenta a los formuladores de políticas, ya que estos dictan el escenario de políticas en el que operan los agentes privados.

Existen otras partes interesadas esenciales, como lo son los residentes y los consumidores. Con estos no hay necesidad de realizar encuestas de algún tipo ya que no tienen influencia directa sobre las políticas de transporte urbano. Cuando se tengan los actores ya identificados para la cadena de recuperación de llantas, se debe abordar el problema más complejo a analizar: la interacción entre ellos en el acto de entregar y recibir bienes en la ciudad.

Sin embargo, en esta etapa se debe tener en cuenta las necesidades y limitaciones asociadas con cada tipo de agente al cumplir con las políticas logísticas de la ciudad. Por eso se va a dar una breve descripción de los resultados de los estudios empíricos sobre cada tipo de agente.

7.3.1. Operadores de transporte de carga

Al considerar a este agente, lo más importante es minimizar el costo de transporte. Por lo tanto, se debe analizar la planificación de la recolección y la entrega, el enrutamiento de vehículos y los costos operacionales. Este movimiento de mercancías implica ciertos niveles de decisión propios de la cadena de transporte realizado por el conductor del vehículo.

7.3.2. Receptores de bienes

Los receptores de los bienes deben responder, por su parte, a las demandas de los consumidores finales. En esta línea, se requieren plazos de entrega más cortos junto con la eliminación de los espacios de depósito ya que estos tienen un elevado costo debido a la renta en el área urbana. Un componente principal en este tipo de agente (minorista) es el tipo de bienes que se mueven en su mercado.

7.3.3. Políticos locales

Desde el punto de vista de la administración pública, el aspecto más importante es el moderar los costos sociales generados por el movimiento de mercancías en el área urbana. Aquí la preocupación radica principalmente en el impacto que este tiene en la congestión del tráfico y los diferentes problemas de planificación relacionados con la provisión de instalaciones para el transporte de mercancías en competencia con otros por los usos de las vías y de aprovechar esa capacidad vial. Aun así, los problemas identificados se gestionan mediante el diseño de políticas de regulación efectiva del tráfico de mercancías. Esto puede llevar a que se limiten los estacionamientos de vehículos de carga y la creación de áreas dedicadas para maniobrar con los vehículos.

7.4. Otros aspectos relevantes

Otros aspectos de suma importancia para el diseño de una cadena de abastecimiento inversa teniendo en cuenta la logística urbana son el software a implementar para la modelación del caso de estudio, en diferentes casos de estudio sucedía que las variables y restricciones eran muchas y así mismo no se permitía correr la simulación en diferentes softwares y había situaciones que no lo permitía correr hasta en diferentes computadores según las características de la misma. En este orden de ideas, cabe recalcar que la función objetivo, variables y restricciones del caso del diseño

de la cadena de abastecimiento inversa para los neumáticos usados en la ciudad de Ibagué debe estar supremamente clara para que así mismo el resultado obtenido sea el esperado o el deseado.

Para diseñar la cadena de abastecimiento se tiene que tomar en cuenta las características del producto a transportar, ya que según estas particularidades del producto, se toman medidas para el transporte de los artículos hacia los diferentes puntos de entrega y centros de consolidación, para así realizar la planeación de transporte y cuidado del producto según las condiciones que se manejen con este.

Se debe tener claro siempre el modo de transporte que se va a utilizar para realizar cualquier tipo de logística en la zona urbana, ya que en esta zona se cuentan con diferentes políticas de transporte según los vehículos que se usen. Existen ciertas restricciones para el uso de vehículos en diferentes zonas del casco urbano, es por esto por lo que es relevante para el diseño de una cadena de abastecimiento para la recuperación de llantas usadas en la ciudad de Ibagué.

Por último, en ciertas zonas de la ciudad de Ibagué, las carreteras son como en la ciudad de Manizales, es decir, no son carreteras planas sino que muchas veces son montañosas y tienen cierta inclinación, por lo que así mismo se debe tener en cuenta el peso máximo que podría transportar la flota de vehículos para que el transporte de carga urbana no vaya a tener un desgaste mayor al que ya tendría por el simple recorrido en la ciudad. De igual manera se recomendaría establecer un ruteo de vehículos óptimo para que toda la flota haga en menor tiempo todo el recorrido de recolección de neumáticos en los centros de recolección y de igual manera se disminuye el impacto ambiental y de gasto económico para la ciudad.

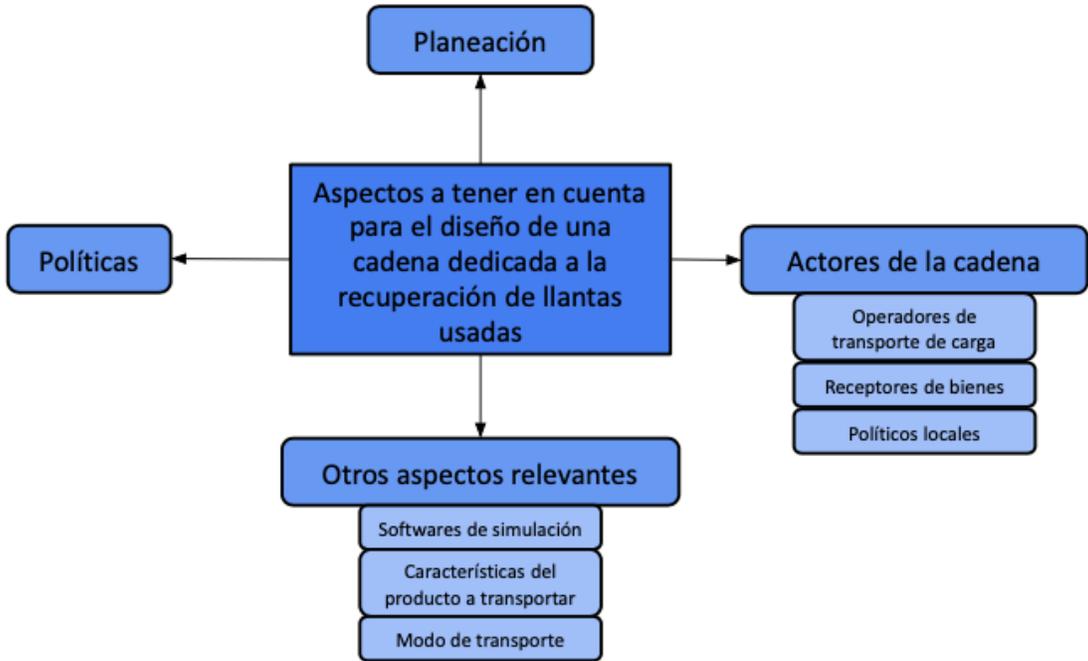


Figura 10. Aspectos a tener en cuenta de la logística urbana para el diseño de una cadena de suministro inversa

7. Conclusiones

- Se identificaron las bases conceptuales de la logística urbana aplicables al diseño de una cadena de abastecimiento para la recuperación de llantas usadas. El diseño de rutas, la cantidad de vehículos de transporte urbano a utilizar, las instalaciones de estacionamiento de carga y descarga, la definición de centros de recolección y consolidación son actividades fundamentales para mejorar el diseño y desempeño de una cadena de abastecimiento inversa y a su vez, reducir la congestión vehicular en la ciudad y los impactos ambientales negativos asociados como la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
- Gracias a los casos empíricos presentados, se puede concluir que:
 - La cantidad de habitantes y la superficie de las diferentes ciudades es un factor a tomar en cuenta al momento de aplicar la logística urbana para el diseño de cadenas de suministro, ya que así se puede tener una mejor gestión de las rutas determinando la cantidad óptima de vehículos de transporte urbano a utilizar de acuerdo al contexto.
 - A la hora de diseñar e implementar el diseño de una cadena de suministro inversa, es fundamental contar con la mayor cantidad de información en cuanto a limitaciones políticas, sociales o económicas de la ciudad en estudio, ya que no es posible realizar generalizaciones.
 - Para que el diseño de una cadena de abastecimiento inversa sea implementada de manera óptima, se puede recurrir a modelos de simulación que permitan evaluar el cumplimiento del objetivo del estudio. Asimismo, el ruteo de vehículos es una herramienta importante que permitirá determinar el diseño de rutas para el transporte de carga en el casco urbano.
- Para que el diseño de la cadena de abastecimiento inversa que se quiere implementar en la ciudad de Ibagué se realice de manera exitosa, es imperativo ejecutar una excelente planeación a través del estudio de los modos de transporte disponibles en la ciudad y las características del producto a transportar, con el fin de determinar los flujos de transporte; además, es imprescindible tener conocimiento de las políticas de transporte de la ciudad, de forma que se involucren los principios económicos y legales acordes con la regulación local.
- Antes de implementar y diseñar esta cadena de abastecimiento inversa, es necesario conocer las diferentes partes interesadas y eslabones que se ven afectados de manera positiva o negativa, así de esta manera se podrán conocer las necesidades y limitaciones que puede presentar este sistema.

9. Bibliografía

- Alho, A. R., & de Abreu Silva, J. (2015). Utilizing urban form characteristics in urban logistics analysis: A case study in Lisbon, Portugal. *Journal of Transport Geography*, 42, 57–71. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.11.002>
- Alshamsi, A., & Diabat, A. (2015). A reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 589–598. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.006>
- Alshamsi, A., Diabat, A. (2017). A Genetic Algorithm for Reverse Logistics network design: A case study from the GCC. *Journal of Cleaner Production*, Volume 151, Issue undefined, 10 May 2017
- Banguera, L. A., Sepúlveda, J. M., Ternero, R., Vargas, M., & Vásquez, Ó. C. (2018). International Journal of Production Economics Reverse logistics network design under extended producer responsibility : The case of out-of-use tires in the Gran Santiago city of Chile ☆. *Intern. Journal of Production Economics*, 205(August), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.006>
- Crainic, T. G. (2008). *City Logistics. State-of-the-Art Decision-Making Tools in the Information-Intensive Age*. <https://doi.org/10.1287/educ.1080.0047>
- C. Zhang, M. Chen Designing and verifying a disassembly line approach to cope with the upsurge of end-of-life vehicles in China
Waste Manag. (2018)
- Costa-Salas, Y., Sarache, W., Überwimmer, M. (2017). Fleet size optimization in the discarded tire collection process. *Research in Transportation Business and Management*, Volume 24, Issue undefined, September 2017
- De Magalhães, D. J. A. V. (2010). Urban freight transport in a metropolitan context: The Belo Horizonte city case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6076–6086. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.020>
- Grazia Speranza, M. (2018). Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.032>
- Gupta, S., & Garima. (2017). Logistics Sprawl in Timber Markets and its Impact on Freight Distribution Patterns in Metropolitan City of Delhi, India. *Transportation Research Procedia*, 25, 965–977. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.471>
- Jakubiak, M. (2016). The Improvement in Collection of Municipal Waste on the Example of a Chosen Municipality. *Transportation Research Procedia*, Volume 16, Issue undefined, 1 December 2016
- Kauf, S. (2016). City logistics - A Strategic Element of Sustainable Urban Development. *Transportation Research Procedia*, 16(March), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.016>

- Kuşakcı, A. O., Ayvaz, B., Cin, E., & Aydın, N. (2019). Corresponding author. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.090>
- Lindholm, M., & Behrends, S. (2012). Challenges in urban freight transport planning - a review in the Baltic Sea Region. *Journal of Transport Geography*, 22, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.001>
- Macharis, C., & Melo, S. (2011). City distribution and Urban freight transport: Multiple perspectives. *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*, (March 2016), 1–263. <https://doi.org/10.4337/9780857932754.00001>
- Ministry of Environment and Urbanization Directive on the Control of End of Life Vehicles (2009)
- Morganti, E., & Gonzalez-Feliu, J. (2015). City logistics for perishable products. The case of the Parma's Food Hub. *Case Studies on Transport Policy*, 3(2), 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.08.003>
- Portuario, C. (2016). La logística urbana, la ciudad logística y el ordenamiento territorial logístico, 4(4), 21–39.
- Senthil, S., Murugananthan, K., & Ramesh, A. (2018). Analysis and prioritisation of risks in a reverse logistics network using hybrid multi-criteria decision making methods. *Journal of Cleaner Production*, 179, 716–730. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.095>
- Taniguchi, E. (2015). City logistics for sustainable and liveable cities. *Green Logistics and Transportation: A Sustainable Supply Chain Perspective*, 151, 49–60. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17181-4_4
- J. Tovar. Bienestar de los clientes y liberalización comercial: evidencia de la industria automotriz en Colombia. *Desarrollo mundial*, 40 (2012), pp. 808 - 820
- Zhao, L., Li, H., Li, M., Sun, Y., Hu, Q., & Mao, S. (2018). Location selection of intra-city distribution hubs in the metro-integrated logistics system. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 80(June), 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.02>