

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

Método de mejoramiento del desempeño de la red de distribución en la cadena de abastecimiento del reciclaje en una zona seleccionada de la ciudad de Bogotá.

Catalina Aparicio Arango ^{a,c}, Juan Miguel Blanco Trujillo ^{a,c},

Daniela Gaviria Zuluaga ^{a,c}, Camila Posada Motta ^{a,c}

Alexander Cárdenas Ramos ^{b,c}

^a Estudiante de Ingeniería Industrial

^b Profesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^c Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Este trabajo propone y diseña un método de mejoramiento del desempeño de la red de distribución en la cadena de abastecimiento del reciclaje, específicamente en la fase de recolección, en una zona seleccionada de la ciudad de Bogotá por medio de la caracterización de la cadena con el modelo As-Is y la simulación de eventos discretos de las variables cualitativas y cuantitativas del modelo To-Be. Lo anterior es importante debido a que en la actualidad la actividad carece de planeación y estrategias que permitan el buen funcionamiento de la cadena de suministro del reciclaje y por tanto se afecta directamente la movilidad de la ciudad y la calidad de trabajo de los recicladores informales. El método diseñado busca solucionar estos problemas para generar beneficios en los aspectos sociales y organizacionales de la ciudad y, en consecuencia, ocasionar un impacto positivo en el medio ambiente y en los actores involucrados de forma directa e indirecta.

Palabras claves: Reciclaje, cadena de abastecimiento, recolección y clasificación, residuos sólidos.

The present work seeks to design a method to improve the performance of the distribution network, in the recycling supply chain. It is focused on the collection phase, in a selected area of the city of Bogotá. The method starts from the characterization of the chain with the As-Is model and identifying opportunities for improvement and channel them through a To-Be model. These models are strengthened with the design of a prototype for the collection phase; a simulation of discrete events of the desired model will be carried out considering the analysis of its qualitative and quantitative variables. This model is thought to solve problems associated with the mobility of the city and the quality of work of informal recyclers. As it will help them generate benefits in the social and organizational aspects of the city, have a positive impact on the environment and on the stakeholders directly involved which will impact indirectly in the system.

1. Justificación y planteamiento del problema

El reciclaje es la actividad de recuperación, transformación y elaboración de un material a partir de residuos sólidos (Álvarez, 2013). Esta herramienta permite fomentar la educación ambiental con respecto a la problemática relacionada con el medio ambiente, al generar una conducta ecológica que adquiere una persona cuando realiza alguna acción que esté a favor de la conservación de recursos naturales o de obtener una mejor calidad en el medio ambiente (Luzón, Sánchez, &

Martínez, 2005). Por otra parte, el reciclaje lleva a diferentes beneficios sociales, económicos y medioambientales que permiten el desarrollo de una sociedad amigable con el planeta.

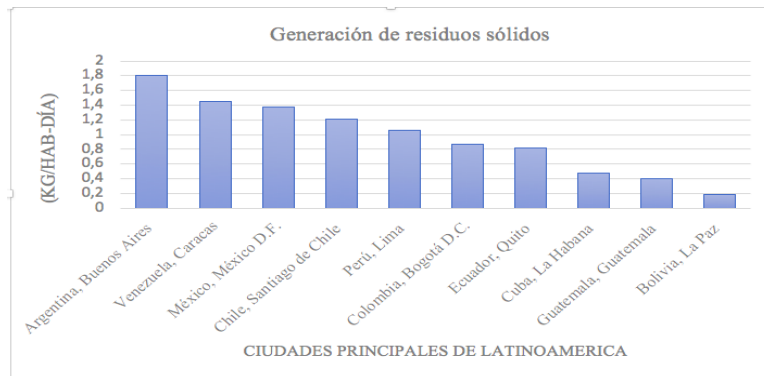
En primera instancia, esta actividad permite reducir la utilización de materias primas obtenidas a partir de recursos naturales, generan diferentes alternativas de posibles materiales como el plástico, aluminio y cobre para la fabricación de productos. Al mismo tiempo, disminuye el consumo de energía debido a que sustituye procesos completos de materias primas vírgenes por reprocesos de materiales reciclados, al generar un beneficio económico a largo plazo en las organizaciones y empresas (Martínez, 2001). Por último, el reciclaje beneficia a la contribución del desarrollo sostenible que permite la evolución de un país en términos económicos, en donde se aprovechen los recursos que ya han sido utilizados en procesos de producción anteriores para la creación de nuevos productos sin la necesidad de explotar los recursos naturales.

Para el desarrollo sostenible basado en el reciclaje, es necesaria la intervención organizada de consumidores, empresas y recolectores que interactúan entre sí a lo largo de la cadena de suministros. Esta cadena de suministro se compone de 6 fases fundamentales: origen, recuperación, planta de transferencia, planta de clasificación, pre-transformación y consumidor.

A partir de la cadena de suministros del reciclaje mencionada anteriormente, se evidencian diferentes modificaciones o cambios estructurados dentro de los eslabones a nivel mundial. Esto se debe al principal problema del manejo de residuos sólidos que llevan a cada país a crear estrategias personalizadas que se acomoden a las características de cada uno. Este problema nace de factores como el crecimiento y concentración poblacional en las zonas urbanas y la ineficacia de los sectores industriales o empresariales que difieren dependiendo del país. Por esta razón, se evidencian grandes diferencias entre las cadenas de abastecimiento europeas y las de América Latina.

Un ejemplo del reciclaje en países no latinoamericanos es España, el cual se enfoca en la recuperación de papel usado para satisfacer la demanda de este material. Así mismo, en países como Bélgica, Japón, China, Singapur y Estados Unidos el reciclaje está enfocado en el reciclaje electrónico¹. Con esto, algunas universidades y empresas como Dell, Microsoft, HP y Philips han adoptado el programa *E-Trash*. Este proyecto busca generalizar los procesos de reciclaje a través de la estandarización con el fin de que los componentes valiosos sean recuperados para ser utilizados nuevamente. De la misma manera, el programa permite disminuir los procesos de producción con materias primas vírgenes y contribuye a la disminución de residuos sólidos en el medio ambiente (Bermeo, Rea, López, & Pico, 2018).

Los avances realizados en los países mencionados anteriormente han tenido eco en los países de América Latina, donde el reciclaje de residuos sólidos es muy similar. En Brasil, México, Argentina, Venezuela y Colombia, esta actividad se enfoca en el reciclaje del papel, cartón, plástico y metales. El cual, está compuesto por los principales materiales utilizados en gran cantidad en los procesos de producción de bienes. Sin embargo, en estos países el reciclaje no es muy llamativo, ya que muchas veces para las industrias o personas del común les resulta mucho más económico utilizar materiales nuevos que reciclados. Lo anterior genera un atraso y estancamiento hacia la evolución de las tecnologías sobre el tema del reciclaje (Sáez & Urdaneta, 2014). Por esto, en la Gráfica 1 se puede encontrar la tasa de generación de residuos en las principales ciudades de Latinoamérica.



Gráfica 1. Generación de residuos en América Latina. Elaboración propia basada en Sáez & Urdaneta, 2014.

¹ La reutilización de partes de dispositivos móviles, computadores, impresoras entre otros, para la producción de nuevos dispositivos electrónicos (Sáez & Urdaneta, 2014).

Con estas cifras, la preocupación por crear estrategias que permitan disminuir esta acumulación de residuos y que ayuden al funcionamiento de la cadena de abastecimiento del reciclaje de manera eficiente es cada vez mayor, llevando al diseño de campañas y estrategias corporativas para incentivar a las personas a realizar dicha actividad. Dentro de estas estrategias para incentivar a las personas a reciclar se evidencia que Bogotá, ciudad que cuenta con aproximadamente 8'080,734 habitantes (DANE, 2017), es considerada como una de las ciudades más involucradas en avanzar en el tema de reciclaje, debido a la cantidad de residuos que se generan en las zonas industriales. Esto puesto que 18 mil familias se dedican al reciclaje y reciben una bonificación por cada kilo de residuos que recogen (KienyKe, 2012).

De este modo, para la gestión de los procesos del reciclaje en la ciudad se cuenta con diferentes actores quienes se encargan de realizar todas las actividades, desde la clasificación o recuperación hasta la transformación. Estos actores son diferentes organizaciones o independientes. Dentro de las organizaciones, las seis principales son: Asociación de Recicladores Bogotá (ARB), Asociación de Recicladores Unidos de Bogotá (ARUB), Asociación de Recicladores Ambientalistas (ARAMBIENTAL), Federación de Recicladores de Colombia (FEDERINCOL), Asociación Nacional de Industriales del Reciclaje (ANIR), Asociación Colombiana de Recicladores Industriales (ACORIN). A continuación, se muestran las principales funciones de cada organización:

Tabla 1. Principales funciones de las organizaciones asociadas al reciclaje en Bogotá.

Organización	Funciones
ARUB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección, clasificación y comercialización de productos reciclables. ▪ Proyectos de beneficio social. ▪ Iniciativas para el desarrollo del reciclaje en la fuente. ▪ Presentación de servicios varios en entidades públicas y privadas.
ARB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección, clasificación y comercialización de productos reciclables. ▪ Proyectos de beneficio social. ▪ Iniciativas para el desarrollo del reciclaje en la fuente. ▪ Presentación de servicios varios en entidades públicas y privadas.
ARAMBIENTAL	Gestionar los procesos de recolección y pre – transformación del reciclaje.
FEDERINCOL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolección, almacenamiento y clasificación de residuos. ▪ Impulsar, trabajar y recuperar más productos acompañado del relleno sanitario Doña Juana.
ANIR	Comercialización y transporte de los materiales.
ACORIN	Comercialización y transporte de los materiales.

Elaboración propia basada en Aluna Consultores Limitada, 2011.

Adicional a estas organizaciones mencionadas, en los últimos años se han desarrollado algunas políticas públicas que permiten regular las funciones del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS). Estas políticas posibilitan una inclusión progresiva de los recicladores informales en las funciones de esta actividad sin cambiar el curso normal de esta (Ver tabla 2).

Tabla 2. Políticas Públicas implementadas en Bogotá.

Año	Política pública
2003	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inclusión y participación de los recicladores y sector solidario en los PGIRS y en las actividades recuperación y aprovechamiento. ▪ Tutela por parte de Bogotá-ARB ante la Corte Constitucional refutando que la UAESP está incumpliendo con la inclusión de los recicladores. ▪ Corte institucional exigió “Incluir acciones afirmativas en futuros procesos licitatorios relacionados con la prestación del servicio de aseo”.
2006	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El programa Distrital de Reciclaje propone “Generar inclusión social para los recicladores de oficio en condiciones de pobreza y vulnerabilidad, oportunidades de ingreso, empleo y participación económica en el sector, que se traduzcan en mejor calidad de vida”. ▪ Inauguración primer parque de reciclaje La Alquería.
2007	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se crea la Mesa Nacional de Reciclaje, la cual, como estrategia para generar más 800 empleos formales para los recicladores, tenían en mente la construcción de 6 más parques de reciclaje.

2010	<ul style="list-style-type: none"> Decreto Distrital No. 456: Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS).
2011	<ul style="list-style-type: none"> Licitación por parte de la UAESP que los recicladores sean incluidos dentro del proceso de la recolección de residuos sólidos, barrido y limpieza de Bogotá. La UAESP requería que las empresas se aliaran con los recicladores para crear futuras sociedades, exigiendo que su participación solidaria sea mayor o igual al 5%.
2012	<ul style="list-style-type: none"> Remuneración para todos los actores de oficio implicados en las actividades de reciclaje. “Bogotá Humana”; Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá. “Basura Cero”; Reciclaje como parte del proceso de Aseo de la Ciudad.
2013	<ul style="list-style-type: none"> Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. “Inclusión del sistema general para la gestión integral de residuos sólidos ...diseñar el esquema de inclusión de la población recicladora en la operación del reciclaje, transformación y aprovechamiento como un componente del sistema general para la gestión y manejo de residuos”.

Elaboración propia basado en Jiménez, Mantilla, Castro. 2014

A partir de lo anterior, el reciclaje formal e informal en Bogotá presenta diferentes oportunidades de mejora asociadas a la ejecución de los diversos procesos de la cadena de abastecimiento. En primer lugar, en el caso del reciclaje formal estas empresas cuentan con una serie de aspectos legales y regulatorios que deben cumplir y ajustar a su operación, la cual en diferentes ocasiones puede conllevar complicaciones, multas y sobrecostos. En segundo lugar, en el caso informal, los actores se enfrentan a mayores necesidades y desafíos que afectan las condiciones de su actividad.

Con base en lo anterior, los recicladores informales no cuentan con una ruta específica de circulación, ni un espacio adecuado para la recuperación y clasificación, razón por la que realizan dicha actividad en las calles de la ciudad, al afectar su movilidad y dejando residuos no aprovechables que aumentan la contaminación en el medio ambiente. De igual modo, debido a que el diseño del medio de transporte que utilizan para la recolección no es el más adecuado para la manipulación constante de una persona, se producen problemas en la salud de estos y accidentes con otras personas que transitan en las vías.

En suma, se puede decir que en la ciudad de Bogotá el reciclaje informal carece de planeación y estrategias que permitan el buen funcionamiento de la cadena de abastecimiento del reciclaje. Aunque han existido iniciativas para fortalecer esta cadena a lo largo de los últimos gobiernos distritales, es necesario generar y plantear alternativas que permitan elevar las condiciones ergonómicas asociadas a las actividades de los recicladores informales y de esta manera mejorar sus métodos de trabajo buscando tener impacto en la movilidad de la ciudad.

Por tanto, el presente trabajo de grado busca responder a la pregunta ¿Cuál debe ser el método que mejore el desempeño de la red de distribución en la cadena de abastecimiento de reciclaje, teniendo en cuenta las principales variables cuantitativas y cualitativas que constituyen dicho proceso en una zona seleccionada de la ciudad de Bogotá?

2. Antecedentes

A medida que ha transcurrido el tiempo, América Latina ha sido un continente que se ha interesado mucho por el reciclaje de residuos sólidos y por la inclusión de recicladores. En primera instancia, para el manejo y control de estos residuos se han implementado normas que buscan controlar la cantidad de desechos generados por los habitantes de los países. Bolivia es un ejemplo de este interés, al crear un programa plurinacional de gestión integral de residuos sólidos como base en la identificación de oportunidades para gestionar los desechos que se generan en este país.

Por otra parte, Argentina es uno de los países en Suramérica que más residuos sólidos produce debido a su número de habitantes y los controles que ejerce. Es por esto que ha implementado la Estrategia Nacional para la gestión integral de residuos sólidos, con el objetivo de entregar soluciones adecuadas en el manejo de dichos desechos (Rivera, 2015). Ecuador por su parte, ha iniciado con la creación de algunos Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) que se han especializado en la planeación de mecanismos innovadores con el objetivo fundamental de reducir el problema del mal manejo de la gestión integral de los residuos sólidos (Rivera, 2015).

De igual forma, es posible identificar que Colombia es el país más avanzado en materia de reciclaje en América Latina, gracias a fundaciones y organismos privados que apoyan esta causa. En primer lugar, el centro de reciclaje La Alquería, ubicado en la ciudad de Bogotá, planteó estrategias por medio de la implementación tecnológica para aumentar la tasa de recuperación de estos desechos, entre dichos proyectos se puede mencionar el Parque Tecnológico de Reciclaje (Martínez

& Uribe, 2013). En Medellín en noviembre del 2017 se desarrolló el plan piloto de la primera ruta de reciclaje del país; “Ruta Recicla”. Esta ruta, es liderada por la Empresa Varias (Emvarias), consiste en recorrer 23 barrios de la zona del Poblado de Medellín, en 4 carros blancos recolectores de desechos, recogiendo plásticos, cartón y latas (Posada,2017). Así mismo, se puede evidenciar que, en la actualidad, la gran mayoría de ciudades de Colombia cuentan con el PGIRS, el cual está conformado por una serie de objetivos, proyectos, actividades, responsabilidades y metas para la efectiva prestación del servicio. Para poder desarrollar el PGIRS, Colombia tiene una cadena de abastecimiento para reciclaje que se divide en las seis fases conocidas como: generación, recuperación, recolección y transporte, almacenamiento, pre-transformación y transformación (Corredor, 2010).

En la primera fase, se generan los residuos sólidos y líquidos, de origen doméstico, industrial y comercial. La segunda fase es la recuperación en la cual se busca separar los materiales aprovechables de los que ya no tienen vida útil y no pueden recuperarse y utilizarse de nuevo. La tercera fase es la recolección y transporte, en donde una vez seleccionados y separados todos los residuos, son recogidos con el fin de ser transportados para su comercialización hasta bodegas o puntos de acopio. En esta fase el medio de transporte varía dependiendo de quién realiza dicha tarea, es decir, si lo realiza el sector formal o el sector informal. Es por esto que el transporte utiliza diversos vehículos desde costales, carros de mercado, zorros, zorras² y hasta automotores. La cuarta fase es el de almacenamiento, en el cual en gran variedad de bodegas se almacenan los materiales recuperados. La quinta fase, la pre-transformación, está conformado por empresas o por bodegas que realizan este proceso de clasificación y alistamiento de materiales como se mencionó anteriormente. La sexta y última fase es la de transformación en el cual las diferentes industrias pasan la materia prima obtenida en el proceso de pre-transformación por procesos de manufactura para realizar una amplia variedad de productos nuevos.

Teniendo en cuenta las fases de la cadena de abastecimiento abordadas, en la fase de recuperación pueden existir diferentes actores que realizan esta actividad. Un ejemplo de estos son los actores formales e informales en Bogotá, en donde en el sector informal están todos los recicladores independientes y en el sector formal del reciclaje, están cinco operadores privados; a) Promoambiental, la cual se encarga de localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, La Candelaria, San Cristóbal, Usme y Sumapaz, b) Lime S. A. ESP, que se encarga de las localidades de Antonio Nariño, Bosa, Ciudad Bolívar, Los Mártires, Puente Aranda, Rafael Uribe, Teusaquillo y Tunjuelito, c) Ciudad Limpia, que tiene las Localidades de Kennedy y Fontibón, d) Bogotá Limpia, con las localidades de Barrios Unidos y Engativá y e) Área Limpia, con la localidad de Suba.

Con respecto a la inclusión de recicladores en América latina, las ciudades que predominan en este aspecto son Sao Paulo (Brasil), Buenos Aires (Argentina) y Bogotá (Colombia); es en estas ciudades donde se ha presentado los cambios más drásticos a favor de esta actividad gracias al reconocimiento legal del trabajo que realizan estos recicladores como prestadores de servicio, destinando presupuestos municipales para el pago de los servicios prestados por estos. También estos países están implementando medios de transporte que aumenten la calidad de trabajo de estos recicladores, otorgándoles motos y bicicletas. Igualmente cabe mencionar que la participación de las mujeres en el reciclaje informal también se ha fortalecido gracias a la inclusión, ya que se han venido creando políticas para que puedan acceder a una posición más alta dentro de la estructura de los recicladores (The Economist Intelligence Unit, 2017). Sin embargo, aún están muy limitadas al acceso de materiales reciclables con mayor valor.

En Colombia la Fundación Social (FS) es la organización encargada del reciclaje y de los recicladores informales, razón por la que ha implementado diferentes herramientas para mejorar el trabajo. Actualmente existe el plan de la formalización de recicladores para mejorar la calidad de vida e ingresos de estos en las ciudades de Medellín y Cali, con una duración para la fase de implementación gradual de cinco años. Esto para llevar un registro de la población de recicladores de forma organizada y mejorar las capacidades asociadas al manejo administrativo, técnico y financiero (El Universal, 2016). En Medellín con el proyecto aprobado por el consejo, se establecen lineamientos para aplicar acciones que garanticen la inclusión de los recicladores en el proceso de gestión y manejo de residuos sólidos y en Cali, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), realiza talleres de capacitación dirigidos a los recicladores a través del Área Gestión Aprovechamiento de Residuos (GAR) (Moreno, 2016).

Adicionalmente, en términos para mejorar la comodidad y calidad de trabajo de los recicladores de oficio son varios los proyectos que se han realizado en las principales ciudades del país, donde se están implementando carros innovadores los cuales cuentan con una bicicleta como medio de impulso y un amplio vagón en la zona frontal y trasera. Además, se tiene como propuesta un carro de impulso mecánico construido con materiales reciclados, el cual se encuentra en la fase de diseño e implementación. Cabe mencionar que, aunque existen estos prototipos, son muy pocos los recicladores que tienen

² Zorro: Vehículo de tracción humana con capacidad de 500 k.

Zorra: Vehículo de tracción animal con capacidad de 1 500 k.

acceso a estos, debido a limitaciones económicas del gobierno. Al mismo tiempo, En Bogotá, La fundación Pedro León Trabuchi (PLT) se dedica al acompañamiento de los recicladores en Bogotá, en el ámbito administrativo con el fin de guiarlos a mejorar sus condiciones de trabajo. Dentro de esta fundación se encuentra el proyecto “Escuela de Reciclaje”, que tiene como objetivo principal luchar por el derecho al trabajo de los recicladores informales. También en el año 2013, se implementó la política australiana “Basura cero”, como parte de los programas de la gestión pública basada en el aprovechamiento de los residuos sólidos, involucrando principalmente a la sociedad de recicladores. Esta política dio a conocer las nuevas rutas de selección a los recicladores de oficio para la recuperación y reincorporación de los desechos (Ortega 2017).

Igualmente, en el 2003 se creó una licitación en la que se buscó beneficiar a los recicladores formales e informales, brindándoles la posibilidad de tener una ruta específica para la recolección de materiales reciclables en toda la ciudad de Bogotá. Sin embargo, esta licitación implicaba mostrar un respaldo financiero de 11 millones de pesos por parte de cada empresa, excluyendo a todos los recicladores informales que no tenían la posibilidad económica de demostrar este respaldo. Debido a esto, las rutas creadas por esta licitación para la recolección de reciclaje fueron otorgadas principalmente al reciclaje formal, en donde muy pocas empresas se beneficiaron de esta acción (García, 2013).

Al no poder realizar un ruteo para todos los actores del reciclaje en la ciudad de Bogotá debido a la licitación, el gobierno nacional realizó una búsqueda para identificar diferentes opciones ya implementadas que pudieran fluctuar en la capital. Todo esto ya que al encontrar un método de localización en redes que se ajuste a todos los actores de la ciudad, generaría automáticamente un mejor funcionamiento de diferentes sistemas, como el del manejo de residuos sólidos y reciclaje. Con esta investigación el gobierno encontró un método desarrollado actualmente en España, para la localización de los contenedores, en el cual se utiliza la herramienta de *Location-Allocation* de la extensión de Network³, donde se crea una red al considerar todas las características como la conectividad, elevaciones y modelos de giros y todos los atributos como distancia, tiempo y sentido de las calles para buscar instalaciones y asignarles demanda. Igualmente, encontró en este mismo país un método para la optimización de las rutas con la herramienta *Vehicle Routing Problem* con la cual también se crean redes considerando los atributos como distancia, tiempo, cantidad a transportar y costos.

Es por esto que con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y junto con el gobierno de Holanda oficializaron el ‘Software’ MarColombia, que es una herramienta que facilita la organización de la información para el sector de servicios públicos. Esta herramienta permite visualizar la cantidad de toneladas que se recogen, su ubicación, las rutas y el nombre de los recicladores en las ciudades. Para esto se unificaron organizaciones como Aremarpo, Recimpayan, Coopreser, Bello Renacer, Coorrenacer, Arca, Dame tu mano, ARB, Emers y ABC, las cuales participaron en el proceso de perfeccionamiento (El Tiempo, 2016). A pesar de la implementación de este software, en la actualidad para determinar la ubicación y localización de los centros de acopio se evalúan posibles zonas mediante la aplicación de variables físicas, técnicas, climáticas, por medio de lista de chequeo, matriz de evaluación y superposición de escenarios.

Con base a lo mencionado anteriormente, se evidencia que en los distintos países de América latina y en Colombia se han realizado diferentes proyectos para mejorar los planes y estrategias de manejo de residuos sólidos y con esto beneficiar a los diferentes actores formales e informales. En cuanto a los proyectos realizados en Colombia y en la ciudad de Bogotá, todos tienen el propósito de buscar una política integral y coherente. Sin embargo, debido al alto costo no se ha logrado que muchos se realicen y por ende garanticen su sostenibilidad. Por lo tanto, las ideas planteadas en dichos proyectos presentan varias oportunidades de mejora, y valdría la pena no desecharlas sino adaptarlas a la situación del contexto actual para viabilizar su futura implementación.

³ El Network es un software de red destinado al diseño e implementación de redes modernas. Este admite la creación, calibración y operación de redes.

3. Objetivos

Objetivo General

Diseñar un método de mejoramiento al desempeño de la red de distribución en la cadena de abastecimiento del reciclaje teniendo en cuenta las principales variables cuantitativas y cualitativas que constituyen dicho proceso en una zona seleccionada de la ciudad de Bogotá.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la cadena de abastecimiento de reciclaje en Bogotá que se constituye en el modelo As-Is, a partir del análisis de las principales variables del proceso.
2. Desarrollar el modelo To-Be de la cadena de abastecimiento de reciclaje en Bogotá, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la definición de la red y los métodos de trabajo de los recicladores.
3. Definir la zona de estudio de la ciudad de Bogotá en donde se realizará la simulación del proyecto.
4. Realizar una simulación de eventos discretos de la fase impactada en el modelo To-Be de la cadena de abastecimiento del reciclaje aplicado a la zona seleccionada.
5. Medir el impacto del diseño propuesto a través de la simulación realizada.

4. Metodología

Para iniciar la caracterización de la cadena de abastecimiento del reciclaje en Bogotá se realizaron 30 encuestas a diferentes recicladores informales en diferentes puntos de la ciudad con el fin de comprender como se desarrolla este proceso, las herramientas utilizadas, las actividades realizadas, las zonas más frecuentes, las rutas y las posibles problemáticas que se pueden encontrar a lo largo de la recolección y clasificación de los materiales.

Una vez realizadas las encuestas, se desarrolló un análisis cualitativo y lexicométrico con el fin de identificar las palabras más frecuentes que los recicladores mencionaban para ir dando forma a las características principales de la cadena de abastecimiento. De la misma forma, se realizó la matriz de afinidad para encontrar las relaciones entre las respuestas obtenidas y con ello tener un panorama integral de las problemáticas y oportunidades de mejora del proceso.

Partiendo de las problemáticas y oportunidades de mejora obtenidas en el análisis cualitativo y la matriz de afinidad, fue posible desarrollar la matriz DOFA cruzada⁴. En la elaboración de dicha matriz, se tuvieron en cuenta factores externos e internos de toda la red de reciclaje relacionados con la información encontrada en las encuestas, visitas de campo e investigaciones.

Una vez desarrollada la matriz, se realizó un diagrama relacionando los principales actores que tiene la cadena de abastecimiento del reciclaje en la ciudad de Bogotá, desde el gobierno hasta los recicladores informales. Para realizar el mapa del estado As - Is, estructura y conexión de los actores que hacen parte de este proceso se investigaron las entidades gubernamentales, públicas y privadas. Primero, se jerarquizaron dependiendo de su importancia en términos de autoridad nacional y después, se clasificaron dependiendo de la influencia que ejercieran en cada actividad del proceso de reciclaje. Para esto, se hizo una investigación a nivel global del proceso y otra detallada para investigar la tarea de cada actor dentro del proceso.

Luego, se realizó una alineación entre los procesos definidos por el modelo SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) y aquellos que fueron identificados en las encuestas, con el fin de describir y representar todas las actividades y el flujo de materiales dentro de la cadena de reciclaje, divididas en 5 procesos de gestión: Planeación (*Plan*), Aprovechamiento (*Source*), Manufactura (*Make*), distribución (*Deliver*) y Devolución (*Return*). Por último, para desarrollar en su totalidad

⁴ DOFA cruzada: Es un instrumento de ajuste, complemento de la matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas) que ayuda a desarrollar cuatro tipos de estrategias.

la caracterización de la cadena de abastecimiento, se consolidó la información en diagramas de flujo elaborados bajo una notación BPM, a través del programa Bizagi; teniendo en cuenta los roles, las actividades y fases claves de este proceso, con la intención de poder llegar al objetivo dos del trabajo que permite desarrollar el modelo To - Be de la cadena.

Para el modelo To – Be de la cadena de abastecimiento fue necesario identificar y seleccionar las oportunidades de mejora relacionadas con el objetivo establecidas previamente en la matriz DOFA, para así proceder a generar estrategias y poder identificar los beneficios de estas dentro de la red de reciclaje.

Después de establecer las oportunidades de mejora y evidenciar que los recicladores no cuentan con un medio de transporte adecuado para la manipulación, que les puede generar diferentes lesiones ocupacionales, fue necesario obtener información sobre herramientas ergonómicas que permitieron llegar a la elaboración del prototipo del medio de transporte para los recicladores informales. Dentro de estas herramientas se utilizaron los métodos Owas y Rula, con las cuales se identificaron las características ergonómicas básicas de las dos formas principales de transporte encontradas (Zorros y Carretillas) y los factores determinantes para el diseño del prototipo del medio de transporte.

Respecto al método Owas, para iniciar se realizaron observaciones de 30 minutos para cada tipo de transporte. Dentro de este tiempo se evaluaron las diferentes posiciones de la espalda, los brazos y las piernas en las posturas principales, teniendo en cuenta la carga o el peso soportado en las mismas. Para evaluarlas se les asigna un código y con este se identifica el riesgo de acuerdo con la matriz de riesgo ya establecida, con la intención de identificar las posturas que se deben mejorar para reevaluar el método de transporte.

Para el método Rula se realizaron 15 observaciones a un reciclador determinado con el fin de determinar los ángulos que realizaba en cada posición seleccionada de la actividad. Se identificaron primero las posiciones más comunes de los recicladores teniendo en cuenta dos grupos principales A-B, los cuales están conformados por brazo, antebrazo y muñeca y, cuello, tronco y piernas. A partir de esto, se clasificó cada parte del cuerpo en un puntaje del 1 al 7 teniendo en cuenta los ángulos que se generan al realizar las posiciones y según las imágenes explicadas para este método. Es importante mencionar que este método se aplicó tanto para las posiciones realizadas por los recicladores que utilizan como medio de transporte el zorro como para los que utilizan carretilla (bicicleta).

Como complemento del método Rula y Owas se realizaron dos matrices ergonómicas ponderadas, teniendo en cuenta los dos tipos de transporte del reciclaje. La primera matriz hace referencia a los criterios para dos prototipos elegidos con la implementación de una bicicleta que el reciclador usaría para movilizarse y la segunda analiza criterios para dos posibles medios de transporte a pie. Estos criterios se evaluaron con un especialista de ergonomía determinando las posturas más importantes como la inclinación de la espalda, extensión de los brazos y la flexoextensión de las extremidades inferiores y cadera. Estas posiciones se evaluaron dentro de un rango de 1 a 5 para identificar el diseño del medio de transporte que más se adecue a las exigencias básicas ergonómicas de esta actividad.

Partiendo de los análisis ergonómicos, se evaluaron diferentes parámetros y criterios que permiten diseñar el prototipo adecuado que cumpla con las necesidades de los recicladores. Los parámetros seleccionados fueron; horas laborales, las cuales se identificaron con las respuestas obtenidas en las encuestas; el tipo de vehículo, para el cual se realizó una tabla comparativa entre un prototipo manual y motorizado; el estado y pendiente de las rutas, en donde se seleccionó el peor de los escenarios que vendría siendo rutas des pavimentadas con pendientes; la capacidad experimental y teórica del carro, en la cual se realizaron 60 medidas a diferentes recicladores de dos centros de acopio, donde se evaluó primero el volumen por medio de medición de largo, alto y ancho del material depositado y donde en segundo lugar se calculó el volumen conociendo el valor de la masa y de la densidad para tener el volumen mínimo total de cada compartimiento del carro para cada material y así mismo establecer el volumen total y por ultimo las dificultades y lesiones, las cuales se identificaron con las respuestas de las encuestas.

Al tener los parámetros, se procedió a diseñar cuatro bocetos y a establecer criterios de selección del prototipo. Para esto se tuvo en cuenta el material, el costo, la accesibilidad, el tamaño, la innovación, la facilidad de adquisición de insumos y la ponderación ergonómica de cada uno. Los materiales seleccionados fueron; madera, fibra de vidrio, acero, acrílico y hierro, y de estos se analizaron 4 criterios; durabilidad, seguridad, economía, resistencia y estética. Estas características o criterios se eligieron teniendo en cuenta que el material del medio de transporte a diseñar debe contar con una alta durabilidad y resistencia puesto que es un elemento que estará expuesto al aire libre y a condiciones específicas como el

clima, contaminación y posibles golpes que sucedan a lo largo de la recolección de materiales. Al mismo tiempo, es indispensable que el material tenga un precio razonable puesto que, según la información recolectada en las encuestas, los recicladores no pagarían por un medio de transporte que sea difícil de mantener o muy costoso.

Luego de definir estas características se realizó una matriz de ponderación de factores teniendo en cuenta las características de cada material para elegir cual debe ser el indicado para este prototipo. Cada material se calificó de 1 a 5 en cada criterio obteniendo un total ponderado que permitió elegir el material que cumple con todas las características necesarias. Para el costo se hizo una cotización de cada prototipo teniendo en cuenta los requerimientos de diseño, para la accesibilidad se tuvo en cuenta el costo y el ingreso estándar de un reciclador informal, para el tamaño se tuvieron en cuenta las dimensiones ya establecidas en los bocetos de los prototipos, para la innovación se evaluaron la cantidad de cambios propuestos con respecto a los modelos actuales, para la facilidad de adquisición de insumos se hizo una investigación en el mercado nacional para identificar la oferta de los mismos y para la ponderación ergonómica se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en la matriz de ponderación ergonómica realizada previamente. Es importante resaltar que para evaluar estos criterios se le dio un puntaje a cada uno de estos en cada prototipo con el fin de tener un resultado cuantificable que permitiera evidenciar la mejor propuesta.

Después de evaluar los criterios e identificar cuál es el boceto que cumple con estos, se seleccionó el prototipo final. Al seleccionarlo se procedió a diseñarlo por medio de la herramienta SolidWorks®, para poder visibilizar y así mismo evaluar su viabilidad. Para determinar el material adecuado que debe llevar cada pieza del prototipo se hicieron pruebas correspondientes en dicho software para obtener los pesos correspondientes, densidades y de más opciones. De igual manera, se evaluó donde se encuentra ubicado el centro de gravedad del carro dependiendo de los materiales. Este cálculo se realizó con dos alternativas: con el carro desocupado y lleno.

Luego de seleccionar el tipo de material con las pruebas correspondientes de SolidWorks®, fue necesario identificar cuánto costaría la elaboración de este medio de transporte puesto que es un factor importante para evaluar la viabilidad del proyecto y su posible implementación.

Después de diseñar el prototipo, se procedió a seleccionar la localidad de Bogotá en la cual se va a implementar el plan de mejoramiento de la red de reciclaje. Esto se realizó por medio del método TOPSIS. Para poder implementar este método en primer lugar se determinaron los criterios cuantitativos que se iban a tener en cuenta para poder estudiarlos y evaluarlos. Los criterios seleccionados fueron, la cantidad de habitantes, la cantidad de barrios, la cantidad de hogares, la cantidad de empresas y establecimientos comerciales, la cantidad de sedes escolares, la extensión territorial, la densidad poblacional, la malla vial, la cantidad de hectáreas disponibles para construir, tasa de muertes por cada 100 mil habitantes, cantidad de hurtos, el costo del m² por localidad y la generación de residuos sólidos por localidad.

Estos criterios se determinaron teniendo en cuenta que la localidad que quedara seleccionada debería tener un número significativo de habitantes y de diferentes establecimientos para garantizar una alta generación de residuos sólidos, considerando también que contara con diferentes vías de acceso y tránsito para garantizar rutas eficientes. Igualmente, se determinó como criterio la cantidad de hectáreas disponibles para construir y el costo por m² teniendo en cuenta que parte del plan de mejoramiento es la creación de un centro de clasificación y acopio. Por último, la seguridad fue otro factor a tener en cuenta en términos de cantidad de hurtos y muertes, con la intención de que la localización seleccionada permitirá un trabajo de campo seguro.

Después de determinar los criterios y encontrar la información por localidad se procedió a realizar el método TOPSIS. Para el dicho método se realizaron cinco matrices: La primera fue la matriz de decisión en la cual se pusieron los criterios, los atributos con sus respectivos valores y el peso en porcentaje. La segunda matriz es la de normalización en la cual se buscó definir todos los datos y elementos en el mismo dominio. La tercera es la matriz de decisión normalizada ponderada, en la cual teniendo el valor previamente normalizado se multiplica por su respectivo peso para darle su valor definitivo. En esta matriz se calcula la alternativa ideal positiva, con el número más alto o bajo del criterio y la alternativa anti-ideal negativa con el número más alto o bajo del criterio. Como aclaración es importante mencionar que, para seleccionar la alternativa ideal y anti-ideal, se ponen los valores alto o bajo dependiendo de lo establecido en el puntaje de cada criterio, es decir dependiendo si el mejor puntaje del criterio es el valor más alto o bajo.

La cuarta matriz es la de las distancias euclidianas hacia la alternativa positiva, en esta matriz se mira la diferencia entre el valor obtenido y el valor ideal de ese criterio en cada atributo. De la misma forma, se desarrolla la matriz anti-ideal en donde se evalúa las distancias entre el valor obtenido del valor anti-ideal de cada criterio. Después de tener esta matriz se procede a calcular la proximidad relativa a la alternativa ideal, en donde se estima “el ratio” que vincula las distancias tanto de la alternativa ideal como de la alternativa anti-ideal. Finalmente, se realiza el ranking, el cual se obtiene ordenando de mayor a menor los ratios de aproximación relativa calculados anteriormente.

Después de realizar el método TOPSIS para seleccionar la localidad, se desarrolló una tabla de ponderación para seleccionar la UPZ⁵ de la localidad que más se ajuste al objetivo del proyecto. Primero, se seleccionaron las 4 UPZ que más extensión de territorio tenían de las 12 que se encuentran en la localidad de Suba. Segundo, para realizar esta ponderación, se determinaron los criterios que se iban a estudiar y a evaluar. Los seleccionados fueron; la cantidad de habitantes, la extensión territorial, la malla vial principal y complementaria, la oportunidad de construcción o alquiler y la seguridad de cada UPZ.

Estos cinco criterios se determinaron teniendo en cuenta que para la selección de la UPZ, es importante obtener una en la cual se tenga; un número de habitantes significativos para la generación de residuos, una extensión territorial y oportunidad de construcción que permita un crecimiento poblacional a largo plazo y así mismo en caso de ser necesario permita la construcción de diferentes centros de clasificación, varias vías de acceso y tránsito para las rutas de los recicladores y para el acceso a los centros de acopio y un alto grado de seguridad para el trabajo de campo. Al tener los criterios determinados y los valores de cada uno para localidad, se procedió a dar un puntaje a cada uno en una escala de 1 a 5, siendo 1 el más bajo y 5 el mal alto, para poder realizar una suma de estos y así determinar el mayor puntaje.

Luego de seleccionar la UPZ se desarrolló el método de localización del centro de acopio. Para esto se realizó un análisis cuantitativo con el fin de comparar las mejores cuatro alternativas de bodegas a partir de los siguientes factores: accesos viales en donde se tenía en cuenta el sentido de las calles y la posibilidad para transitar por ellas, la seguridad teniendo en cuenta que debe ser un sitio en donde se eviten los robos de materiales y los recicladores puedan trabajar de manera tranquila, la capacidad de expansión que permitirá expandir el centro en dado caso que la cantidad de material recibido supere el volumen máximo de este, la cantidad de barrios cercanos debido a que el centro debe contar con varias conexiones con otros barrios para proporcionar mayores ingresos de residuos y comunicar algunos barrios que no tengan la capacidad de implementar un centro de acopio, los costos de servicios y costos del predio pues es importante encontrar un lugar en donde estos costos se minimicen, el estado de las vías de acceso debido a que es importante contar con calles que estén adecuadas para el tránsito de los recicladores y por último, la cercanía a los puntos de venta que permitiría minimizar el tiempo de la última fase de la cadena de abastecimiento del reciclaje.

Una vez seleccionados estos factores, se les asignó un peso relativo con el fin de mostrar su importancia respecto a la realización de la actividad por parte de los recicladores. De forma paralela, se le dio una puntuación a cada factor para obtener el valor de la matriz y así determinar la localización donde debe ser ubicado el centro de acopio.

Al seleccionar el lugar donde se va a localizar el centro de clasificación y acopio se determinaron las características básicas que debe tener este lugar para desarrollar las labores necesarias de la fase de clasificación de la cadena del reciclaje. En primer lugar, este espacio se diseñó teniendo en cuenta las fases de clasificación y de pesaje que se realizan hoy en día. Por esto, el centro contara con cuatro espacios divididos en sección de pesaje, prensado, lavado y almacenamiento de todo el material. En estos espacios se tendrán herramientas especializadas como una pesa industrial, una prensa para compactar los materiales, mangueras para lavar los materiales que requieran de una limpieza específica y compartimientos especializados para almacenar el material ya clasificado y disponible para la venta.

Estas herramientas permitirán estandarizar y mejorar esta parte del proceso y de esta manera darles diferentes beneficios a los recicladores informales en su trabajo del día a día. Al mismo tiempo, la zona principal de la bodega será el lugar donde los recicladores tendrán espacios diseñados exclusivamente para realizar la clasificación de todos los materiales de forma más cómoda. Este espacio contará con compartimientos divididos por tipo de material como archivo, cartón, vidrio, PET, plástico mixto, metales, material sucio y residuos peligrosos. Adicional a esto, el centro de acopio contará con un administrador que maneje toda la logística y parte administrativa del centro y 2 operarios que manejen los procesos de almacenamiento, lavado, prensado y pesaje; para esto fue necesario diseñar los formatos de los respectivos cargos mencionados.

⁵ UPZ: Unidad de Planeamiento Zonal

Estas características del centro están relacionadas con las fases del reciclaje en la medida que este centro permite cumplir con las funciones de clasificación y preparación de los materiales antes de la venta de estos por parte de los recicladores a las entidades ya existentes. Al mismo tiempo, este centro permite estandarizar esta fase del proceso de la cadena de todos los recicladores permitiendo minimizar desperdicios de materiales y facilitar la obtención de herramientas para la clasificación de tal forma que el trabajo de estas personas genere mayores beneficios individuales y comunales al reducir la cantidad de basura en las vías de la ciudad y al brindarles un lugar adecuado y cómodo para el desarrollo de sus actividades diarias. Por último, el centro de clasificación y acopio disminuiría el desgaste y los tiempos de transporte a los lugares de venta de material ya que es posible vender estos elementos una vez son clasificados y pesados, además de brindarles un conocimiento exacto de la cantidad de peso y materiales que poseen para su adecuada posventa evitando las injusticias en los procesos de pago.

Adicional a estas características contempladas anteriormente, fue posible realizar un análisis financiero para determinar la factibilidad con respecto a la implementación de un centro de acopio en la zona seleccionada en la ciudad de Bogotá. Para iniciar dicho estudio fue necesario determinar la cantidad de material por tipo que los recicladores recogen al día, esta cantidad se obtuvo mediante la realización de un trabajo de campo. Luego, se estimaron los costos de compra y venta de material por medio de una cotización realizada a la empresa “Rekoger”. Se decidió darle una ganancia del 60% respecto al precio de compra por material para poder venderlo a los otros centros de acopio al precio calculado.

Como complemento del precio de compra del material, se determinó que el servicio de lavado y prensado serán cobrados para garantizar una adecuada utilización del material antes de la venta y así poder venderse al precio establecido previamente. Luego de obtener todos los ingresos y gastos en los que incurre el centro de acopio fue posible realizar la construcción del estado de pérdidas y ganancias y con esto determinar el flujo de caja libre que deja para cada año y de igual forma calcular el valor presente neto (VPN) con su respectiva tasa de rentabilidad (TIR) relacionados a las proyecciones de ingresos y gastos hasta el décimo año.

Luego del análisis financiero y las especificaciones de las características del centro, se seleccionó el área donde se va a implementar el modelo de ruteo. Para la selección de esta, en primer lugar, se revisaron y evaluaron las posibles restricciones del proyecto y después de esto se revisaron los criterios para tener en cuenta. La principal restricción del trabajo es el tiempo de desarrollo de este pues para analizar toda la UPZ es necesario un trabajo de campo extensivo e intensivo. Con esta restricción se procede a seleccionar un área más pequeña para realizar el ruteo. Esta selección se basó en dos criterios; el primero fue la cercanía al centro de acopio, esto ya que se desea reducir el desgaste y esfuerzo de los recicladores y el segundo, el tiempo que un reciclador dura haciendo su tarea por barrio que, aunque depende del área, en promedio es de cuatro horas debido a la presencia de los camiones de recolección de basura.

Adicional a estas restricciones y teniendo en cuenta que es un barrio residencial en donde se encuentran varios talleres de carros, conjuntos de casas y edificio, lugares donde se generan diferentes residuos sólidos, se realizó una visita de campo en donde fue posible visitar todos los conjuntos residenciales y así mismo preguntar su respectiva localización, la cantidad de canecas que sacan, los días que pasa el camión de basura y cantidad de recicladores de la zona.

Al tener el conocimiento de la cantidad de canecas se determinó la cantidad de residuos que recoge el reciclador en cada nodo por medio de una visita de campo, en la cual aparte de identificar el número de canecas de residuos para conocer la cantidad total en kg de basura, se realizó un muestreo para determinar los porcentajes de residuo reciclable y no reciclable y de cada tipo de material. Igualmente se realizó una matriz con los tiempos de desplazamiento de nodo a nodo y se contó 25 veces el tiempo que se demora el reciclador en recoger el material y cargarlo, para poder establecer el tiempo total de ruta y así evitar que este sobrepase el tiempo de trabajo de 4 horas que es el tiempo que se tiene desde que los residuos están disponibles y pasa el camión de la basura. Por último, se determina la capacidad del centro de acopio teniendo en cuenta el volumen del espacio determinado para cada residuo y la densidad del material. Teniendo esta información se procedió a ubicar los nodos identificados para poder calcular la matriz de distancia y tiempo entre todos por medio de Google Maps y la herramienta “medir distancia” como se muestra en la siguiente ilustración:

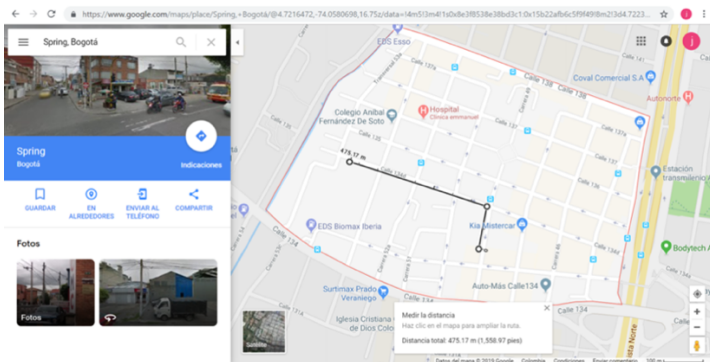


Ilustración 1. Método de medición de distancias entre nodos por medio de Google Maps.

A partir de estas distancias se desarrolló el método de ruteo Clarke & Wright con capacidad (teniendo en cuenta que la capacidad del carro de transporte diseñado es una de las principales restricciones) con el fin de determinar las posibles rutas que los recicladores deben seguir para obtener la máxima cobertura en el menor tiempo posible. Para realizar este método, fue necesario conocer la distancia entre todos los nodos para construir la matriz de ahorros y con esta, se procedió a determinar las restricciones. La primera restricción establecida, fue la de la capacidad del carro en Kg, para la cual se determinó un valor máximo de 350 Kg, la cual se obtiene de información documentada y por datos recolectados en el trabajo de campo. La segunda restricción, fue la capacidad en Kg de la bodega, la cual se determinó por el volumen del espacio de la zona de almacenamiento establecida para cada material y por la densidad de cada uno. La tercera, fue el tiempo total de recolección, ya que, este no puede ser mayor a cuatro horas debido a que se debe hacer la recolección antes de que lleguen los camiones de basura a los nodos.

Es importante mencionar que para evaluar esta restricción fue necesario realizar una matriz de tiempo entre todos los nodos, adicionándole el tiempo de cargue y descargue en cada nodo. Para este tiempo se midió el tiempo promedio en el que un reciclador realiza la recolección en un nodo; Se tomaron 25 muestras y se procedió a determinar la distribución a la que más se ajustaran estos datos, debido a que este tiempo es variable por distintos factores que pueden presentarse a la hora de la recolección en el nodo. A partir de todas las restricciones establecidas, se procedió a estructurar y desarrollar el modelo. Considerando que en la actualidad son muy pocos los recicladores que hacen caso omiso a la cantidad máxima de kg a transportar caben mencionar que el ruteo de Clarke & Wright, se hizo teniendo en cuenta ambas situaciones, con capacidad máxima y sin capacidad. Sin embargo, para este modelo se utiliza el ruteo con capacidad máxima para posteriores análisis.

Para realizar el método de ruteo se determinó que todos los recicladores deben salir del centro de clasificación y acopio y volver al mismo, ya que dentro del plan de funcionamiento está establecido que los carros deben almacenarse dentro de este para evitar pérdidas, robos, daños y malos usos. De esta forma, cada reciclador deberá firmar una planilla al recoger el carro en donde se compromete a hacer un buen uso del medio de transporte y a devolverlo todos los días al finalizar las respectivas rutas, de lo contrario, el reciclador incurrirá en una multa dependiendo de la acción que realice.

Del mismo modo, para tener un mayor control del funcionamiento del centro, por medio de un plan de carnetización se vinculará a los recicladores informales del barrio Spring para que sean los que puedan tener acceso a las herramientas, equipos y facilidades. Por esta razón, la cantidad de recicladores carnetizados es la cantidad de rutas obtenidas para el ruteo que permitirá un buen trabajo del reciclador y por ende un buen rendimiento del centro de acopio. Por último, el plan de carnetización buscará que todos los establecimientos del barrio permitan únicamente a las personas con este documento recoger los residuos sólidos generados.

En el ruteo también fue necesario determinar la cantidad de basura reciclable y su respectiva clasificación por tipo de material perteneciente a archivo, cartón, plástico, metal - chatarras y vidrio. Para esto, se realizó un trabajo de campo en el cual se visitó cada nodo para seleccionar diferentes unidades de residuo hasta encontrar 50 reciclables. Con esto, cada unidad se clasificaba con el número 1 o el número 2 teniendo en cuenta que el número 1 representa los residuos no reciclables y el 2 los reciclables. Luego se clasificaban las unidades número 2 según el tipo de material teniendo en cuenta que 3 es cartón, 4 es archivo, 5 es metal, 6 es plástico y 7 es vidrio. A partir de esto, fue posible encontrar el porcentaje de cada tipo de material con el fin de incluirlos en el programa FlexSim y determinar la distribución de probabilidad del tiempo de recolección de acuerdo con la visita de campo realizada al medir y este tiempo en cada nodo.

En esta simulación, se generaron las conexiones de cada nodo, cada reciclador y el centro de acopio respecto a las rutas establecidas. También, se tuvieron en cuenta las distancias entre los nodos con el centro al utilizar la herramienta Google maps con la cual se tomaron las medidas desde el centro de acopio hacia cada nodo de manera vertical y horizontal (Eje x

y Eje y) y la accesibilidad de las vías. De esta manera, se ubicaron de manera exacta con distancias reales cada nodo para obtener la información de manera precisa. Al tener toda la simulación de la red de reciclaje se procede a construir el *Object Flow Diagram* (OFD) para tener la representación gráfica del sistema y mostrar la interacción entre recursos móviles y fijos, ítems de flujo, decisiones y tiempos de proceso.

Luego de obtener la simulación con sus respectivas distribuciones y parámetros, se realizaron los *Dashboards* en las diferentes rutas en donde se calcularon los tiempos de cada ruta, los tiempos de procesamiento desde que el reciclador llega al nodo hasta que se lleva todos los residuos de este, las cantidades de producto no reciclado y reciclado por nodo y la cantidad final de cada tipo de material que llega al centro de acopio. Para poder determinar los tiempos de cada ruta se realizó una premuestra donde se seleccionó una ruta y se realizaron 10 réplicas para definir la varianza y así implementar la fórmula asociada al tamaño de muestra $n = \frac{Z^2 \cdot \sigma^2}{e^2}$ para calcular el número de réplicas finales para cada ruta, en donde se consideró una confianza del 95% y un error del 10%. Teniendo en número final de réplicas se procedió a utilizar la funcionalidad incluida en el software “*experimenter*” para simular cada indicador y así poder obtener información relevante de cada variable como; el intervalo de confianza, la dispersión y variabilidad obtenidas por medio diagrama de bigotes.

Teniendo todos los tableros de control (*Dashboards*) de los indicadores se procede a realizar la hoja de vida de cada uno, con la intención de tener un documento donde se pueda ir registrando el desempeño y el rendimiento. Para realizar las hojas de vida en primer lugar se dividieron estos indicadores en cinco grupos.

El primero grupo son los indicadores de proceso en el cual se seleccionaron; el tiempo de cada ruta y el tiempo de estadía del reciclador en cada nodo, que son los que permiten evaluar que tan eficiente es la ruta y cada reciclador en términos de distancia, trazabilidad y equipo; la cantidad de material reciclable que se obtiene en cada nodo y la cantidad de cartón, archivo, plástico, vidrio y chatarras y metales que llega al centro de acopio debido a que estos indicadores determinan si los nodos son significativos o si deben buscarse nuevos puntos con mayor para potencializar la cantidad total de residuos ingresados.

El segundo, indicadores financieros donde se seleccionó; El flujo de caja para identificar la liquidez del centro y la variabilidad de costos para determinar si se incurre en algún costo adicional innecesario. Adicional a estos dos indicadores, es importante mencionar que para el análisis financiero del proyecto se tuvieron en cuenta el VPN y la TIR que permitieron determinar que tan viable es el proyecto y su respectiva implementación.

El tercer grupo son los indicadores de productividad donde se seleccionó la productividad de cada operario y del administrador del centro de acopio según sus funciones puesto que estos indicadores pueden afectar directamente los resultados finales de la rentabilidad, productividad y eficiencia del negocio.

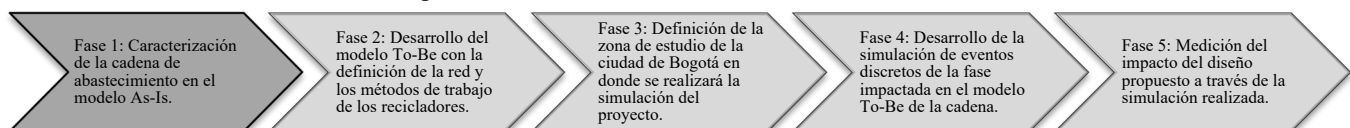
El cuarto grupo son los indicadores de cliente en el cual se seleccionaron; la satisfacción de las empresas compradoras del producto reciclado, la satisfacción de los conjuntos residenciales del barrio y la satisfacción de los recicladores vinculados al centro de acopio para identificar el impacto del proyecto en los principales actores de la cadena del reciclaje.

El quinto y último grupo son los indicadores de aprendizaje en el cual se encuentra el porcentaje de cumplimiento de competencias de los empleados del centro de acopio. Este indicador se diseñó debido a que es importante conocer el impacto del proyecto a largo plazo en los operarios y administrador del centro.

Una vez clasificados cada indicador en los respectivos grupos, se determinó el objetivo estratégico, la línea base, la meta, el método de cálculo, la interpretación, el tipo de indicador, la fuente de datos, la unidad de medida, la periodicidad, la escala, el responsable y las personas que deben conocer el resultado dentro de cada hoja de vida. Para finalizar, se organizaron todos los indicadores seleccionados en el mapa estratégico de Kaplan y Norton para identificar la importancia e impacto de cada uno en el centro de acopio.

5. Resultados

Al plantear la metodología realizada para todos los objetivos del trabajo de grado se evidencian a continuación los resultados del marco de referencia según cada fase.

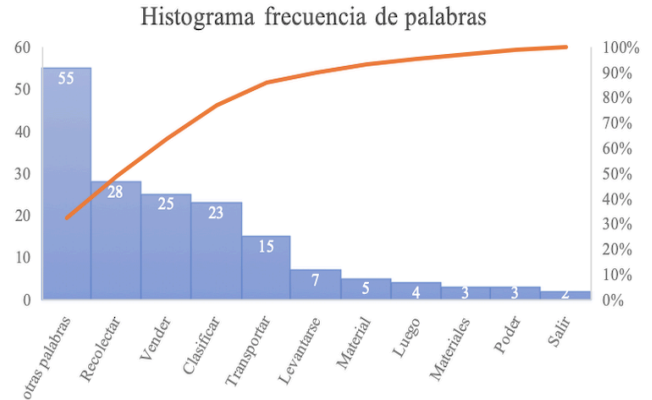


Para el análisis cualitativo y lexicométrico se utilizó el programa *Textanalyzer* para identificar las palabras más utilizadas por los recicladores en las encuestas y de esta manera extraer información relevante que permita caracterizar de manera

adecuada la cadena de abastecimiento. A continuación, se muestra el análisis más relevante de la pregunta No 1 ¿En qué consiste su trabajo?, y en los Anexos 1 y 2 el detalle de todas las encuestas y el análisis cualitativo respectivamente:

Tabla 3. Resultado de número de palabras y densidad léxica.

Total word count :	170
Number of different words :	56
Complexity factor (Lexical Density) :	32.9%
Readability (Gunning-Fog Index) : (6-easy 20-hard)	63.9
Total number of characters :	1952
Number of characters without spaces :	1574
Average Syllables per Word :	2.64
Sentence count :	2
Average sentence length (words) :	126.5
Max sentence length (words) :	156



Gráfica 2. Histograma frecuencia de palabras más repetidas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, luego de las entrevistas, se puede analizar que la densidad léxica que presenta dicha pregunta es baja, debido a que es una pregunta en la cual los recicladores se pudieron sesgar al responder nada más las actividades que realizaban, de hecho como se puede apreciar en la gráfica 2 las primeras 5 palabras con mayor frecuencia son las actividades que realizan; esto también se puede ver afectado debido a que los recicladores muchas veces se limitaban a responder lo que se les preguntaba de manera muy sencilla, ya que no tenían la confianza para poder entrar en un dialogo como se esperaba que fuera. Es por esto, que la densidad léxica se presenta en un rango bajo. De esta manera, se puede definir que el trabajo de los 30 recicladores encuestados consiste en levantarse, recolectar, transportar, clasificar y vender los materiales que encuentran útiles en las canecas de la ciudad.

Teniendo las 30 encuestas y su respectivo análisis se procedió a desarrollar la Matriz de afinidad. Para desarrollar esta matriz fue necesario agrupar la información de las entrevistas a los recicladores en grupos generales de la cadena de abastecimiento. Dentro de estos grupos se encuentran los actores, las actividades principales, las problemáticas del proceso, las herramientas y las zonas frecuentadas. Luego de estos grupos principales se crearon diferentes subgrupos para mostrar en detalle la información más importante brindada en las entrevistas; En el Anexo 3 se encuentra la matriz completa.

Tabla 4. Matriz de afinidad de las encuestas realizadas.

¿Cómo se caracteriza la cadena de abastecimiento del reciclaje en Bogotá?					
ACTIVIDADES DEL PROCESO			PROBLEMATICAS DEL PROCESO		
General	Recolección	Clasificación	Transporte	Ruta	Factores negativos de la ciudad
<ul style="list-style-type: none"> La recolección y clasificación del material reciclado se evidencian como las principales funciones en la mayoría de los recicladores encuestados al momento de realizar sus labores de reciclaje. Se encuentran actividades variables que no todos los recicladores realizan como almacenamiento y el pesaje de los materiales antes de venderlos en chatarrerías. 	<ul style="list-style-type: none"> Los recicladores llegan a las canecas de las ciudades y desamarran o rompen las bolsas de basura para identificar los materiales útiles y dejan los que no sirven de nuevo en los residuos sólidos. Es importante mencionar que los materiales que se recolectan son el cartón, vidrio, PET, archivos (papeles), latas y metales. 	<ul style="list-style-type: none"> Se separan todos los elementos recolectados por tipo de material en bolsas, lonas o costales diferentes para su posterior venta. En algunos casos a medida que clasifican los materiales se pesan al subirlos al medio de transporte. La mayoría de los recicladores recolectan y clasifican en el mismo lugar a medida que van recogiendo el material en las calles. 	<ul style="list-style-type: none"> Los medios de transporte más utilizados son carretilla y zorro en donde los problemas más comunes fueron: <ul style="list-style-type: none"> La dificultad de manipular el medio de transporte por el peso y el tamaño. La calidad de estos y la falta de equilibrio que presentan cuando se recolectan mucho material y la durabilidad que tienen estos dos tipos de transporte. Los medios de transporte también producen lesiones debido a que no están diseñados ergonómicamente para que una persona los manipule correctamente. Las lesiones más comunes son en la espalda, cadera y brazo. 	<ul style="list-style-type: none"> En las rutas por donde transitan los recicladores para desarrollar sus funciones se encuentran algunos problemas como los trancones, la cantidad de carros en las vías que impide la movilidad de ellos, el estado de las calles que afecta el medio de transporte, el poco espacio que puede generar choques con vehículos u otros recicladores. Por último, el exceso de recicladores en las vías que impide desarrollar adecuadamente el trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> Los principales problemas de la ciudad de Bogotá en torno a la actividad del reciclaje se encuentran en: <ul style="list-style-type: none"> Los ciudadanos no tienen conciencia y tolerancia para reciclar y muchas veces no tienen respeto con los recicladores. No existe un apoyo constante por parte del gobierno y autoridades generando inseguridad para estas personas. Las políticas implementadas (containers) y las empresas públicas afectan el desarrollo normal de estos recicladores. El clima y la contaminación de la ciudad afectan el bienestar de los recicladores. Falta de centros de acopio en la ciudad.

Al construir la matriz de afinidad y comprender las relaciones entre los datos obtenidos se construyó la matriz DOFA. Para construir esta matriz se identificaron las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades con la información obtenida en las encuestas realizadas a algunos recicladores de la ciudad. Al tenerlas identificadas se desarrollaron estrategias para potencializar las fortalezas y oportunidades y mitigar las debilidades y amenazas (Anexo 4).

Tabla 5. Matriz DOFA con estrategias.

Debilidades	Oportunidades	Estrategias FA	Estrategias DA
<ul style="list-style-type: none"> • Conciencia ciudadana: Las personas tienen poca cultura del reciclaje y poca tolerancia con los recicladores. • Mal estado de las vías y falta de espacio para transitar. • No existe capital de trabajo ni beneficios suficientes para los recicladores. • Desinterés por parte del gobierno y entidades relacionadas con la actividad. • Medios de transporte no diseñados ergonómicamente para los recicladores. • Falta de centros de acopio en la ciudad y espacios físicos para la clasificación de materiales. • Pocas herramientas para el proceso. • Falta de seguridad social. • No existen rutas establecidas para que los recicladores utilicen exclusivamente en el proceso de recolección. • Falta de control en el pesaje y estandarización en la de reciclaje. • Vulnerabilidad social y económica. • Carencia de conocimiento de los diferentes procesos requeridos para reciclar. • Déficit en el plan de inclusión de recicladores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la contaminación ambiental. • El reciclaje informal genera empleo para personas de cualquier estrato. • Crecimiento de la responsabilidad social y ecológica. • Generación de ingresos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar las relaciones con el gobierno y buscar soluciones a nivel político. • Planes de reducción de desechos entre empresas privadas y recicladores informales. • Coordinar a los recicladores informales de acuerdo al conocimiento que tienen en zonas específicas para evitar conflictos y rivalidad entre ellos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de acción con los ciudadanos que involucre a los recicladores informales en campañas y actividades relacionadas con el reciclaje en la ciudad. • Generar alianzas entre recicladores informales y empresas del sector privado para evitar la rivalidad y monopolización existente. • Generar espacios de participación del Ministerio de Ambiente con las distintas asociaciones de recicladores independientes para entender el funcionamiento y las necesidades del proceso y gestionar políticas que generen un impacto positivo en la ciudad.
Fortalezas	Amenazas	Estrategias FO	Estrategias DO
<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de los tipos de materiales por parte de los recicladores. • Eliminación y reutilización de materiales en las calles para nuevos procesos. • Contribución a la reducción de desechos que afectan el medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Otros recicladores: Existe mucha competencia que genera conflicto y rivalidad entre los recicladores por las zonas de recolección y el material encontrado en los residuos sólidos. • Clima y polución: Los recicladores deben soportar la lluvia y el sol intenso cuando realizan su trabajo y esto afecta el rendimiento de ellos. • Empresas del sector privado que monopolizan el negocio del reciclaje. • Inseguridad: Los recicladores tienen que soportar los robos de los materiales en algunas ocasiones. • Nuevas propuestas y proyectos de reciclaje. • Carencia de políticas institucionales que estimulen la actividad de recicladores informales. • Nuevas tecnologías emergentes en el mercado. • Decrecimiento en los espacios para la disposición de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campañas por parte de los recicladores, para instruir a los ciudadanos en temas de materiales, para promover la economía circular de los productos. • Plan de limpieza de la ciudad. • Estandarizar el proceso de reciclaje para todos los recicladores informales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar capacitaciones y planes de vinculación para los ciudadanos con el fin de mejorar las conciencias sobre el reciclaje. • Establecer incentivos y sanciones para que los ciudadanos se involucren en el proceso de clasificación de los materiales. • Desarrollo de un medio de transporte apropiado para la actividad del reciclaje informal. • Creación de nuevos centros de acopio y rutas especializadas para los recicladores. • Una parte del presupuesto del gobierno destinado a la compra de herramientas especializadas para la recolección y clasificación para los recicladores. • Definir los corredores viales en donde se realizará el proceso de reciclaje.

Identificadas las estrategias, se realizó el diagrama con los principales actores de la cadena del reciclaje (Anexo 5). A continuación, se muestra el diagrama con los principales actores del reciclaje de la ciudad.

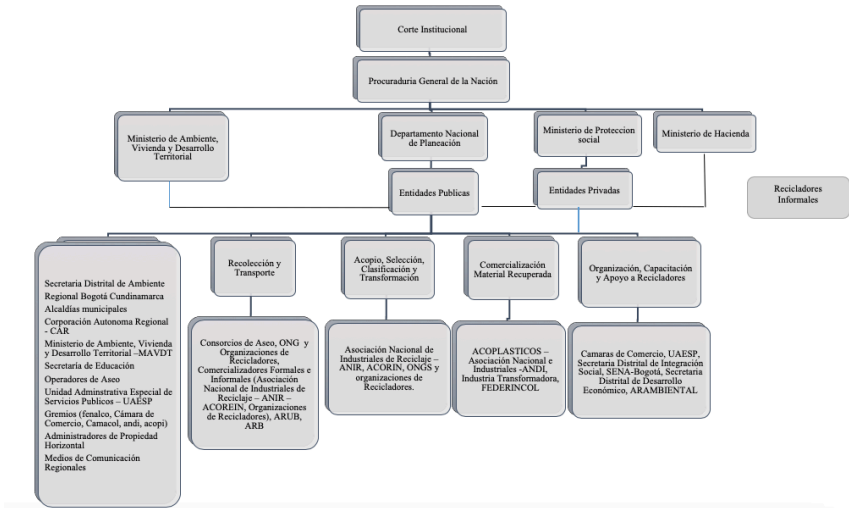


Diagrama 1. Organización actores principales de la cadena de abastecimiento del reciclaje en Bogotá.

Luego de entender esta organización de actores, se realizó el modelo SCOR para resaltar las actividades más importantes en la cadena de abastecimiento (Anexo 6). Se evidencia la diagramación de la red de valor teniendo en cuenta los diferentes niveles.

Tabla 6. Convenciones del modelo SCOR

Tabla de Convenciones	
	Planeación Supply Chain
	Proceso Source
	Proceso Make
	Proceso Deliver
	Planeación Source
	Planeación Make
	Planeación Deliver
	Planeación Return

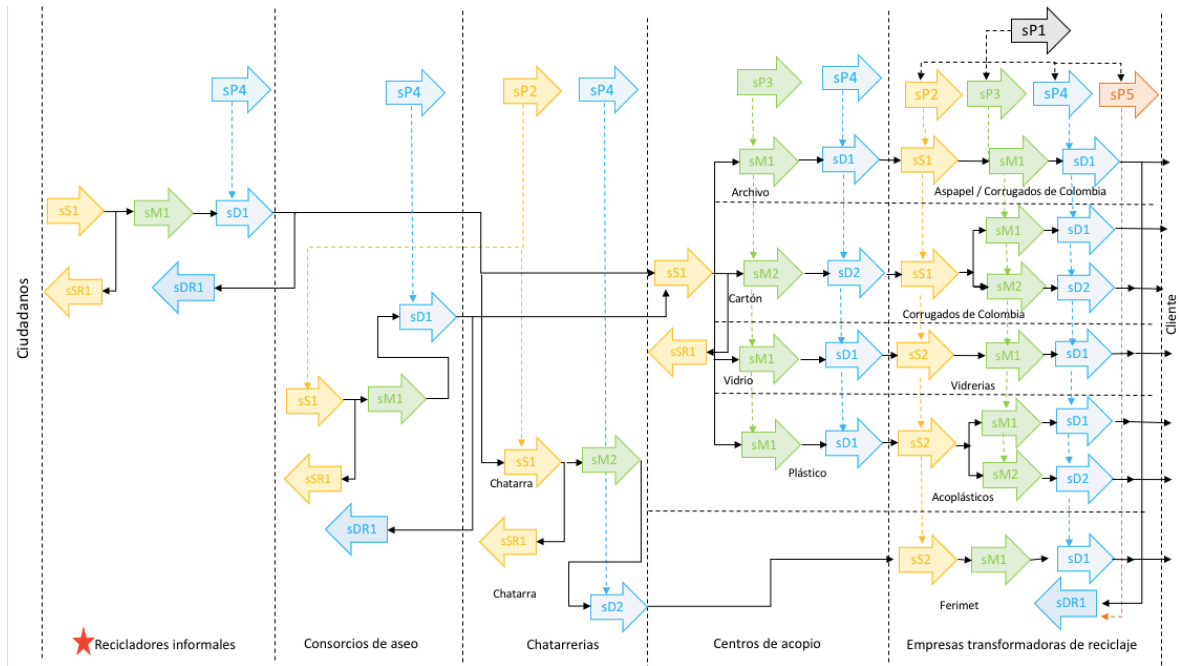


Diagrama 2. Diagrama de hilos modelo SCOR cadena de abastecimiento del reciclaje.

El diagrama de hilos de la cadena de abastecimiento del reciclaje parte desde que los proveedores, quienes en este caso los ciudadanos, consumen y luego depositan en la basura sus desechos, hasta que el reciclaje transformado por las empresas privadas de reciclaje llega a los clientes. Dentro de esta cadena interactúan varios agentes como se evidencia en el diagrama 2. Sin embargo, para estos resultados el foco fue solo la etapa correspondiente a los recicladores informales. Para este foco, se pudo evidenciar que hace falta tener un plan de la cadena de abastecimiento (sP1) estandarizado. Con el fin de que todo el ciclo del reciclaje desde que los ciudadanos disponen los residuos sólidos hasta que los recicladores llegan a los centros de acopios esté estandarizado y de este modo se logre encontrar una conexión con los procesos de planeación de los otros agentes (centros de acopio y empresas dedicadas a la transformación del reciclaje), para crear y definir un proceso integrado de planeación de la cadena de suministro sP1.

Mapeada y entendida toda la red de reciclaje se procedió a utilizar el programa Bizagi para diagramar la información recolectada en los resultados anteriores, para obtener un diagrama de flujo integro que permita dar una mayor claridad del proceso de reciclaje (Anexo 7).

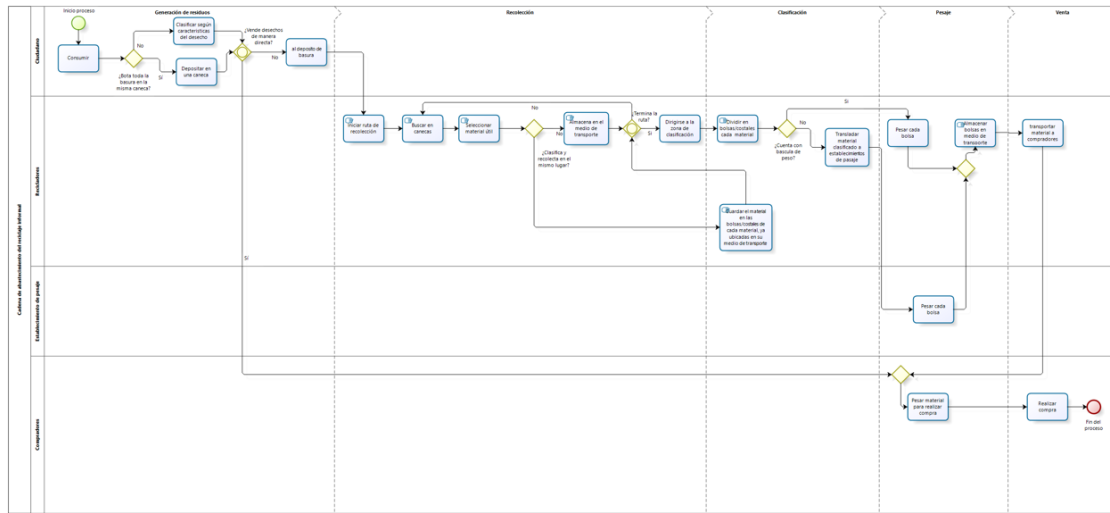
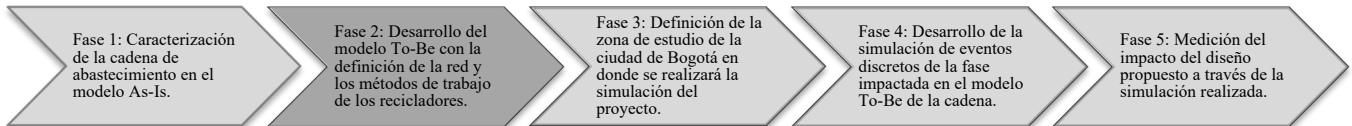


Diagrama 3. Proceso de la cadena de abastecimiento del reciclaje en Bizagi.



Una vez obtenidos estos resultados se sentó la línea base para desarrollar el modelo To – Be de la cadena de abastecimiento del reciclaje en Bogotá, involucrando aspectos relacionados con los métodos de trabajo de los recicladores y con la red de reciclaje.

Para el desarrollo de este objetivo, fue necesario determinar las estrategias de la matriz DOFA que permitieran desarrollar oportunidades de mejora con sus respectivos beneficios teniendo en cuenta el alcance de este trabajo de grado. Estas oportunidades y beneficios se determinaron enfocándose en todos los objetivos planteados en el marco de referencia (Anexo 8).

Tabla 7. Estrategias, oportunidades de mejora y beneficios seleccionados.

Oportunidad de mejora	Estrategia	Beneficio
La ciudad de Bogotá no cuenta con un espacio destinado para el tránsito de los recicladores y sus medios de transporte generando problemáticas como trancones y posibles choques con los vehículos debido a que deben compartir las vías de la ciudad.	Crear una vía específica destinada con horarios específicos para los recicladores que les permita abarcar la mayor cantidad de rutas en la ciudad en un menor tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> - Descongestión del tráfico vehicular generado por los recicladores en las vías. - Reducción del tiempo de recolección de materiales y menor desgaste físico. - Reducción de la tasa de accidentalidad.
Los recicladores no cuentan con un medio de transporte adecuado para la manipulación de los materiales por toda la ciudad. Esto les genera lesiones y desgastes físicos a largo plazo que perjudican su bienestar. Adicionalmente, estos tipos de transporte no son adecuados para el manejo de altos volúmenes de materiales y largas distancias.	Diseño de un prototipo ergonómico con características específicas que tengan en cuenta el peso promedio de materiales, los movimientos, el estado de las vías y distancias recorridas.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar las condiciones de trabajo de los recicladores reduciendo la cantidad de lesiones y desgastes físicos. - Reducir la tasa de accidentes por la falta de espacio en los medios de transporte. - Reducción de la cantidad de materiales desperdiciados por la falta de espacio. - Reducción de la inversión en mantenimiento de los medios de transporte actuales.

No se cuenta con los suficientes espacios para la clasificación de materiales haciendo que muchos recicladores deban realizar esta parte del proceso en las calles afectando el orden y la limpieza de la ciudad.	Identificar los puntos clave en donde se pueden ubicar estos centros de clasificación que permitan abordar la mayor cantidad de rutas realizadas por estos recicladores.	- Organización de las calles y mejora en la limpieza de estas. - Organización del proceso de reciclaje informal.
La red de reciclaje en Bogotá no cuenta con unas rutas específicas para los recicladores informales que les permitan recolectar de una forma más eficiente los materiales disminuyendo el tiempo de trabajo y las distancias recorridas.	Realizar un método el ruteo para encontrar la(s) ruta(s) que hagan más eficiente el proceso de recolección en términos de distancia, cantidad y tiempo.	- Reducir los tiempos de recolección del proceso. - Hacer más eficiente el proceso.

Al tener estas oportunidades de mejora determinadas con sus respectivos beneficios fue necesario realizar dos métodos ergonómicos, Rula y Owas, para ajustar el diseño del prototipo del medio de transporte a las necesidades de los recicladores independientes. En primera instancia, por medio del método Owas se pudo concluir que existe un alto riesgo con las posturas actualmente realizadas por los recicladores. Para los recicladores que utilizan zorro como medio de transporte se evidencio que de las 5 posturas que realizan en el recorrido, 3 son de alto riesgo, mientras que para el medio de transporte de carretilla halada por una bicicleta se encontró que de las 4 posturas evaluadas 1 está en alto riesgo (Anexo 9). Con estos resultados se evidencia que se deben tomar medidas correctivas inmediatas para evitar seguir generando efectos perjudiciales en el sistema musculo esquelético.

Tabla 8. Resultados Método Owas tipo de transporte carretilla.

CODIGO	POSTURA	FRECUENCIA	PORCENTAJE	RIESGO
1113	sentado recto- brazos y abajo	8	0,88%	1
2313	sentado inclinado-brazos rectos al frente	16	1,76%	4
2333	sentado inclinado - brazos al frente- rodilla elevada	178	19,56%	3
2343	sentado inclinado - brazos al frente- rodilla elevada- pedaleando	708	77,80%	3
	Total	910	100,00%	

Tabla 9. Resultados Método Owas tipo de transporte zorro.

CODIGO	POSTURA	FRECUENCIA	POCENTAJE	RIESGO
123	De pie, Tronco recto, Piernas rectas, Brazos rectos abajo	9	4%	1
2323	De pie, Tronco Inclinado, Piernas rectas, Brazos doblados agarre	6	2%	3
2343	De pie, Trono inclinado, Piernas con rodilla flexionada, Brazos doblados agarre	41	16%	4
3373	De pie, Tronco Inclinado, caminando, Brazos doblados agarre	103	41%	1
4373	De pie, Tronco Inclinado y torsionado, Caminando, Brazos doblados agarre	95	37%	4
		254		

En segunda instancia, para el método Rula se llegó a la conclusión de que se requieren cambios urgentes en la tarea realizada y en este caso, rediseñar el medio de transporte que se utiliza para recolectar los materiales reciclados en la ciudad (Anexo 10). A continuación, se muestra un ejemplo de una de las posiciones evaluadas y su puntuación total que, según la calificación, requiere de cambios urgentes en la tarea realizada:

Tabla 10. Resultados posición 4 Zorro método Rula.

Método RULA ZORRO POSICIÓN 4						
Grupo A				Grupo B		
Brazo con inclinación	Antebrazo inclinado	Muñeca recta	Girar muñeca	Cuello inclinado	Tronco con giro	Piernas dobladas
Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal
3	1	3	2	2	1	2
	Puntaje antes de actividad	Puntaje frecuencia actividad	Puntaje carga	Puntaje total	Puntaje frecuencia actividad	Puntaje carga
	4	1	3	3	1	3
Total	8			Total	7	
Puntaje total	7					

Tabla 11. Resultado posición 3 Carretilla método Rula.

Método RULA CARRETILLA POSICIÓN 3						
Grupo A				Grupo B		
Brazos en frente	Antebrazo inclinado	Muñeca recta	Girar muñeca	Cuello inclinado	Tronco inclinado	Pierna doblada pedaleando
Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal	Puntaje normal
3	1	2	1	2	3	1
	Puntaje antes de actividad	Puntaje frecuencia actividad	Puntaje carga	Puntaje total	Puntaje frecuencia actividad	Puntaje carga
	4	1	3	5	1	3
Total	8			Total	9	
Puntaje total	7					

Con estos resultados se evidencia que es de gran importancia encontrar mejores alternativas que ayuden a reducir las inclinaciones, torsiones, desgaste de brazos, piernas y rodillas. Así mismo, con los resultados obtenidos en la evaluación de las posiciones y de las posturas se puede decir que, aunque las posiciones de la espalda, brazos y piernas no son riesgosas, la mezcla de éstas si generan posturas inadecuadas y perjudiciales cuando son repetitivas en un lapso específico. Es por esto por lo que, el diseño de un prototipo nuevo para los recicladores es una medida necesaria para mejorar la calidad de trabajo de estas personas, teniendo en cuenta que el prototipo debe tener características ergonómicamente adecuadas para su manipulación.

Partiendo de los análisis ergonómicos, se desarrollaron los parámetros (Anexo 11) y criterios adecuados que cumplen con las necesidades de los recicladores. El primer parámetro a tener en cuenta es el número de horas que disponen los recicladores en su jornada laboral, esto hace referencia a que, a mayor cantidad de horas trabajadas, las lesiones presentadas son mayores, por lo cual se necesita diseñar un prototipo que minimice el número de lesiones y las fatigas musculares presentadas.

Tabla 12. Jornada laboral de los recicladores.

¿Cuántos días a la semana trabaja en el reciclaje?					De esos días que trabaja ¿Cuántas horas diarias dispone?				
Frecuencia alta	9	Días a la semana	3	30%	Frecuencia alta	7	Horas dispuestas	8	23%
Segunda frecuencia mayor	8	Días a la semana	5	27%	Frecuencia baja	6	Horas dispuestas	12	20%

El segundo parámetro es el tipo de vehículo que por medio de la encuesta realizada (Anexo 11, Pg 2) fue posible comparar las ventajas y desventajas de realizar un prototipo de tipo manual o con motor específico. En la siguiente tabla se muestran las principales comparaciones entre estos dos tipos de medio de transporte:

Tabla 13. Ventajas y desventajas prototipo manual y con motor.

	Manual	Motor
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> No contamina el medio ambiente. Permite detallar las calles y que no se pierda ningún material que pueda servir posteriormente. Bajos costos de mantenimiento y adquisición. 	<ul style="list-style-type: none"> Optimización del tiempo de recolección de materiales. Disminución de la fatiga en el cuerpo por exceso de ejercicio en la tarea realizada. Comodidad a la hora de transportarse.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Esfuerzos físicos constantes que pueden generar fatiga o lesiones musculares. Demora en el desarrollo de la actividad. Generación de trancones en las vías de la ciudad por la baja velocidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos costos de mantenimiento y adquisición. Contaminación ambiental. Debido a la velocidad, los recicladores pueden pasar por alto algunos materiales que puedan servir.

El tercer parámetro es el de la capacidad teórica del vehículo y de los compartimientos, para el cual se realizó visita de campo para observar, pesar y medir los residuos de 60 recicladores. Se evidencia el desarrollo de los cálculos en el (Anexo 11) y los resultados obtenidos fueron:

Tabla 14. Resultados capacidad teórica por tipo de material.

Materiales recuperados	PROMEDIO
Cartón	0,4257
Plástico	0,0001
Vidrio	0,0051
Papel	0,1653
Chatarra y latas	0,0007
	0,60

El cuarto parámetro es el de las dificultades y lesiones detectadas en las encuestas (Anexo 11) que presentan los recicladores durante su jornada laboral. Un quinto y último parámetro es el estado de las vías para el cual se tomó el peor escenario, que en Colombia vendrían siendo calles destapadas y con pendientes. Las principales dificultades y lesiones del cuarto parámetro presentadas por los recicladores fueron:

Tabla 125. Lesiones y dificultades que presentan los recicladores en su labor de recolección y clasificación.

¿Cuáles son las lesiones que ha padecido debido al medio de transporte utilizado?									
Frecuencia alta 1	23	77%	Frecuencia alta 2	15	50%	Frecuencia alta 3	13	43%	
Frecuencia baja	1	3%	Frecuencia baja	1	3%	Frecuencia baja	1	3%	
Mayor	Espalda		Mayor	Cadera		Mayor	Brazo		
menor	codo		menor	codo		menor	codo		

¿Cuáles son las dificultades que usted encuentra en la ruta que realiza?								
Frecuencia alta 1	10	33%	Frecuencia alta 2	7	23%	Frecuencia alta 3	6	20%
Frecuencia baja	1	3%	Frecuencia baja	1	3%	Frecuencia baja	1	3%
Mayor	Trancón		Mayor	poco espacio para transitar		Mayor	mucho carro	
Menor	Poco respeto		Menor	Poco respeto		Menor	Poco respeto	

Luego de evaluar los parámetros necesarios para el prototipo, se diseñaron cuatro bocetos (Anexo 12) y de acuerdo con 5 criterios establecidos fue posible seleccionar el prototipo adecuado para este medio de transporte. En primera instancia, la elección del material se desarrolló por medio de la siguiente matriz de ponderación y la investigación correspondiente de las principales características de cada material (Anexo 13), en donde los materiales más adecuados para el prototipo del medio de transporte fueron la fibra de vidrio y el acrílico, ya que obtuvieron el mayor puntaje teniendo en cuenta los criterios seleccionados para dicha elección.

Tabla 16. Matriz de ponderación de factores para la elección del material del prototipo.

Criterios	Peso %	Calificación							
		Fibra de vidrio	Puntuación Ponderada	Acrílico	Puntuación Ponderada	Acero	Puntuación Ponderada	Madera	Puntuación Ponderada
Durabilidad	30%	5	1,5	5	1,5	4	1,2	2	0,6
Peso	15%	2	0,3	4	0,6	3	0,45	4	0,6
Economía	20%	2	0,4	3	0,6	1	0,2	4	0,8
Resistencia	15%	5	0,75	4	0,6	5	0,75	4	0,6
Estética	20%	3	0,6	3	0,6	2	0,4	4	0,8
Total		3,55		3,9		3		3,4	

En segunda instancia, se realizó una tabla de ponderación para los cuatro bocetos analizando las dos posibles opciones de materiales de acuerdo con los criterios de tamaño, accesibilidad de los materiales, costo, innovación del prototipo y facilidad de obtención de los insumos (Anexo 14).

Tabla 137. Matriz de ponderación de factores ergonómicos y selección del prototipo.

Criterios/Modelo	Peso %	Zorro normal	Puntuación ponderada	Zorro con bicicleta	Puntuación ponderada	Zorro con cabina	Puntuación ponderada	Zorro Bicitaxi	Puntuación ponderada
Tamaño	10%	5	0,5	3	0,3	2	0,2	4	0,4
Accesibilidad	30%	2	0,6	1	0,3	2	0,6	3	0,9
Costo	40%	3	1,2	1	0,4	3	1,2	4	1,6
Innovador	10%	1	0,1	3	0,3	5	0,5	4	0,4
Facilidad de insumos	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Total	100%	15	2,8	11	1,6	15	2,8	18	3,6

En la tabla anterior se puede evidenciar el resultado del prototipo escogido debido a que fue el valor mayor en la puntuación ponderada de la matriz ergonómica y la matriz de prototipo. Con estos resultados el prototipo seleccionado, Zorro Bicitaxi, se muestra a continuación:

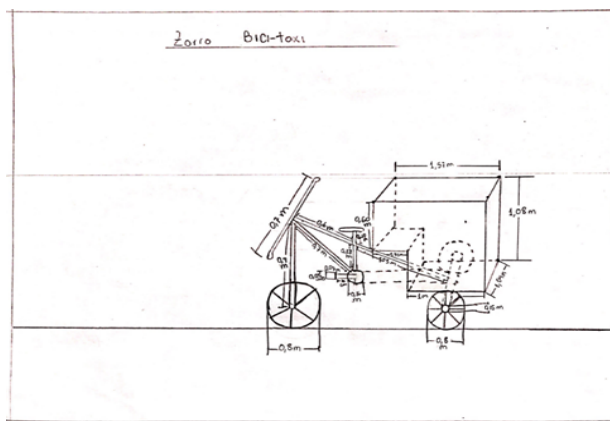


Ilustración 2. Prototipo escogido para el medio de transporte de los recicladores.

Luego de tener el prototipo seleccionado se desarrolló el boceto en el programa SolidWorks® y sus respectivas pruebas de esfuerzo, para determinar la resistencia de los dos posibles materiales (acrílico y fibra de vidrio) como se muestra a continuación (Anexo 15).

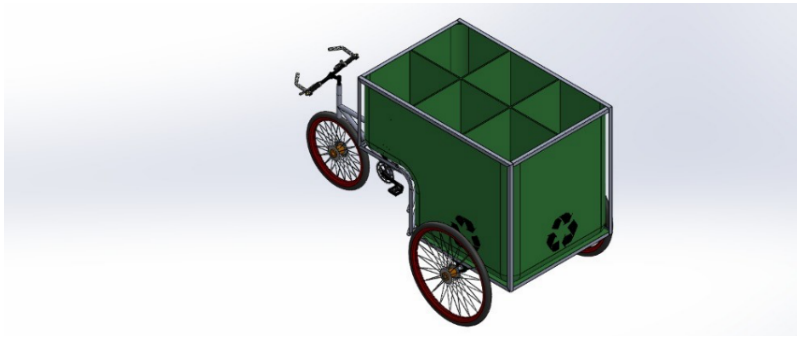
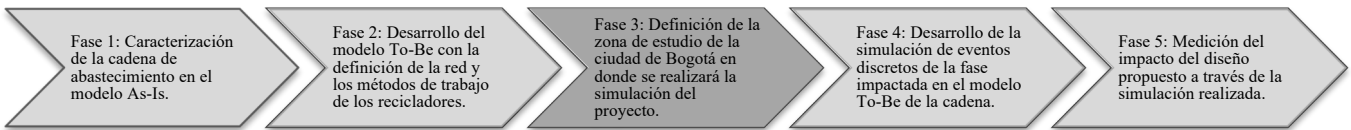


Ilustración 3. Prototipo medio de transporte en SolidWorks.

Al realizar el prototipo del medio de transporte adecuado para los recicladores y tener un entendimiento del funcionamiento detallado de la red de reciclaje en Bogotá, es posible tener las variables y parámetros básicos para definir la zona de estudio donde se evaluó la factibilidad de implementación del proyecto.



Después de seleccionar y diseñar el prototipo que se va a implementar, se procede a realizar todo el estudio, evaluación y ponderación para identificar la localidad que mejor se acomodará a los requerimientos necesarios para el establecimiento de una nueva red de reciclaje. Esto, se realizó por medio del método TOPSIS, donde por medio de unos criterios cuantitativos (Anexo 16) se llegó a la conclusión que la localidad que se debería seleccionar es Suba, pues esta localidad tiene el mayor número de habitantes, barrios, hogares y malla vial. A continuación, se muestra el resultado del ranking de la metodología aplicada y en el Anexo 16 el desarrollo completo de esta.

Tabla 148. Ranking método TOPSIS para la selección de la localidad en Bogotá.

Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal y ordenación		
Localidades	Ri	Ranking
Suba	0.719	1
Kennedy	0.624	2
Engativá	0.544	3
Bosa	0.486	4
Usaquén	0.443	5
Ciudad Bolívar	0.438	6
San Cristóbal	0.411	7
Sumapaz	0.410	8
Usme	0.380	9
Santa Fe	0.331	10
Fontibón	0.325	11
Rafael Uribe Uribe	0.297	12
Puente Aranda	0.293	13
Chapinero	0.288	14
Barrios Unidos	0.272	15
Teusaquillo	0.259	16
Tunjuelito	0.211	17
Los Mártires	0.210	18
Antonio Nariño	0.210	19
La Candelaria	0.166	20



Ilustración 4. Mapa de las localidades de Bogotá. (Tierra Colombiana, 2019).

Al seleccionar la localidad de Suba, se procedió a realizar la tabla de ponderación para las 4 UPZ más grandes de dicha localidad. Todo esto con la intención de seleccionar aquella que se ajustara más a los criterios establecidos. Teniendo en cuenta estos resultados la seleccionada fue la UPZ de Niza (Anexo 17):

Tabla 19. Matriz de ponderación de factores para la selección de la UPZ.

Criterios de selección	Peso %	El Rincón	Puntuación Ponderada	Niza	Puntuación Ponderada	Tibabuyes	Puntuación Ponderada	Suba	Puntuación Ponderada	Prado	Puntuación Ponderada
Densidad Poblacional	10%	5	0,5	1	0,1	4	0,4	3	0,3	2	0,2
Extensión	10%	5	0,5	4	0,4	3	0,3	2	0,2	1	0,1
Malla Vial	20%	2	0,4	4	0,8	2	0,4	3	0,6	5	1
Op. de Construcción	15%	2	0,3	4	0,6	1	0,15	5	0,75	3	0,45
Puntos de Reciclaje	30%	2	0,6	4	1,2	3	0,9	2	0,6	3	0,9
Seguridad	15%	1	0,15	5	0,75	3	0,45	1	0,15	3	0,45
TOTAL			2,45		3,85		2,6		2,6		3,1

Al seleccionar la UPZ de Niza se procedió a identificar y seleccionar 4 posibles bodegas para el centro de clasificación y acopio. Una vez definidas, se establecieron unos criterios a evaluar para así poder realizar la matriz de ponderación (Anexo 18) y seleccionar la mejor bodega (Anexo 19), ésta fue una ubicada en el barrio Spring. El detalle se muestra a continuación:

Tabla 20. Matriz de ponderación de factores para la ubicación del centro de acopio.

Factores	Peso	Puntaje				Puntaje ponderado			
		Niza Norte	Ciudad Jardín	Spring	Prado	Niza Norte	Ciudad Jardín	Spring	Prado
Accesos viales	25%	4	3	4	2	1	0,75	1	0,5
Seguridad	20%	5	5	2	4	1	1	0,4	0,8
Capacidad de expansión	7%	2	1	3	1	0,14	0,07	0,21	0,07
Cantidad de barrios cercanos	8%	2	3	4	4	0,16	0,24	0,32	0,32
Costos de servicios	5%	3	3	4	3	0,15	0,15	0,2	0,15
Estado de las vías de acceso	5%	1	2	2	2	0,05	0,1	0,1	0,1
Cercanía a los puntos de venta	15%	1	1	3	2	0,15	0,15	0,45	0,3
Costo predio	15%	1	3	2	4	0,15	0,45	0,3	0,6
Total	100,00%					2,8	2,91	2,98	2,84

Seleccionada la bodega para el centro de acopio se procede a hacer el diseño y distribución de esta, como se muestra en el siguiente plano (Anexo 20):

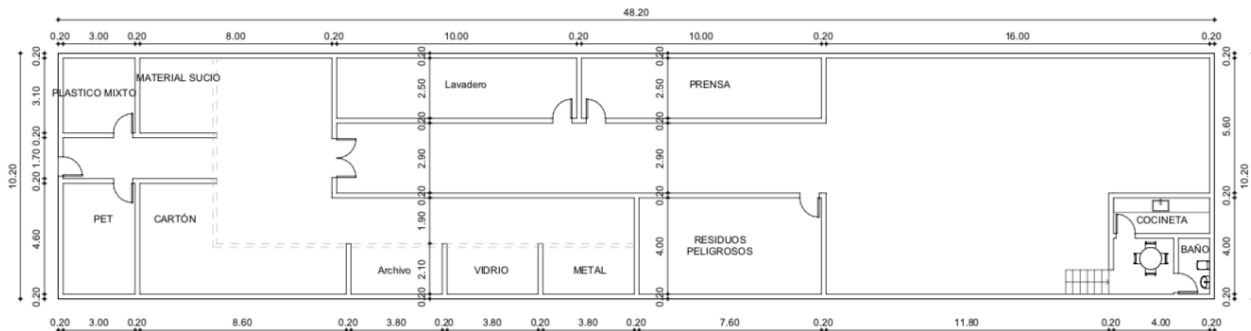


Ilustración 5. Plano centro de acopio. Elaboración propia

Adicional al plano de la bodega se crearon los perfiles de los cargos para el administrador y los 2 operarios que estarán en el centro de acopio (Anexo 21) con la intención de entender el perfil del cargo y así mismo los requerimientos y funciones.

Teniendo el plano de la bodega se realizó el análisis financiero respectivo considerando todos los ingresos y gastos relacionados con el centro de acopio (Anexo 22). Una vez hecha toda la definición se realizó la evaluación financiera, para la cual se tuvo en cuenta una tasa de oportunidad del 10%, dicha tasa es el porcentaje de riesgo que estaría dispuesto a asumir un inversionista en un proyecto, para este caso en el centro de acopio. También dentro de este análisis se realizó una evaluación financiera para un horizonte de 10 años, obteniendo un VPN positivo de \$877.063.877 y una TIR de 31%. Estos valores representan y muestran que el proyecto es viable ya que se tiene una rentabilidad mayor al riesgo a asumir y un valor presente neto mayor a cero.

Tabla 15. Resultados análisis financiero décimo año del centro de acopio.

ANÁLISIS FINANCIERO EN EL DÉCIMO AÑO	
Ingresos	\$ 1.496.824.479
Gastos	\$ 688.894.026
Utilidad Operacional	\$ 807.930.452
Impuesto operacional	\$ 266.617.049
Utilidad Operacional *(1-Tx)	\$ 541.313.403
Inversión	\$ 34.073.558
FC Libre	\$ 537.290.837
VPN	\$ 877.063.877
TIR	31%

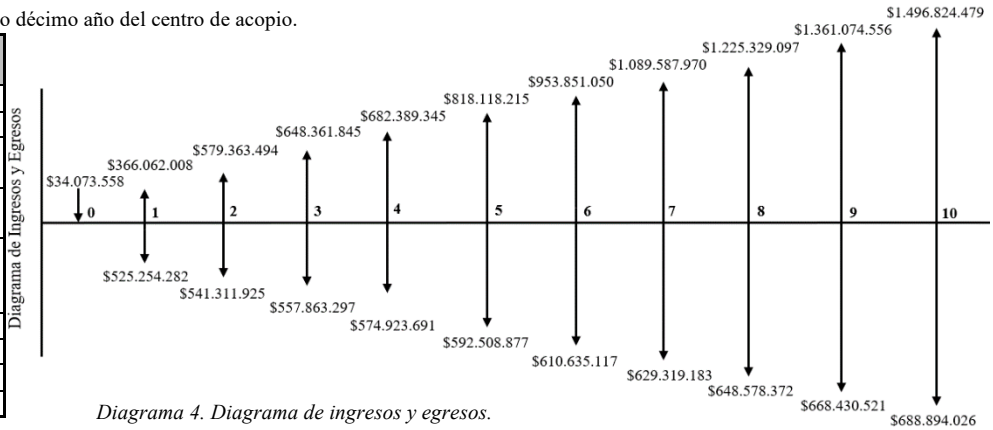


Diagrama 4. Diagrama de ingresos y egresos.

Identificada la ubicación de la bodega y teniendo en cuenta los criterios para decidir realizar el ruteo en el barrio Spring se realizó una visita de campo para determinar los nodos. En esta visita se seleccionaron 25 nodos teniendo en cuenta que estos son todos los conjuntos residenciales, que hacen parte importante del desarrollo urbano de este barrio y son los puntos donde se generan cantidades significativas de residuos sólidos (Anexo 23).

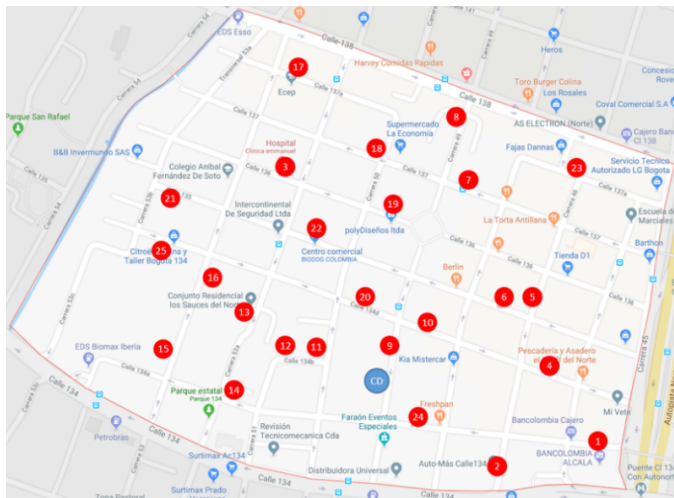


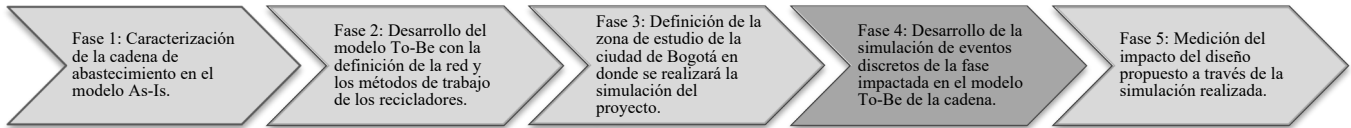
Ilustración 6. Ubicación 25 nodos en el mapa del barrio Spring.

Una vez establecidos los nodos (Ilustración 6), la capacidad del centro de acopio determinada según la densidad de cada material (Anexo 24) y realizada una visita de campo en cada nodo para determinar el porcentaje de residuo sólido de cada tipo de material (Anexo 23), se procedió a realizar la matriz de distancias y ahorros para poder iniciar el desarrollo del modelo de ruteo. Realizado el ruteo (Anexo 25) y con base al modelo con las restricciones se establecieron las siguientes rutas:

Tabla 16. Rutas obtenidas por medio del método Clark & Wright.

Ruta	Ruta	Kg recogidos	Tiempo ruta (horas)
Ruta 1	0-18-7-8-17-0	321	5,34
Ruta 2	0-19-16-21-25-0	309	5,15
Ruta 3	0-20-22-3-5-0	333	5,55
Ruta 4	0-12-13-14-0	249	4,16
Ruta 5	0-10-6-23-4-0	317	5,29
Ruta 6	0-24-1-2-0	302	5,04
Ruta 7	0-11-15-9-0	313	5,22

Luego de obtener las rutas necesarias para cubrir la mayor parte del barrio seleccionado es posible realizar las simulaciones pertinentes para el modelo To – Be de la cadena de abastecimiento propuesta para el reciclaje.



Teniendo la localización del centro de acopio, puntos de recolección y rutas, se calcula la probabilidad del tiempo de recolección por medio de la visita de campo al identificar este tiempo por nodo (Anexo 26). Por otro lado, se desarrolló el *Object Flow Diagram* (OFD) para comprender gráficamente el proceso del sistema, con la visualización de la interacción entre los recursos, flujos, tiempos, medidas y decisiones (Anexo 27).

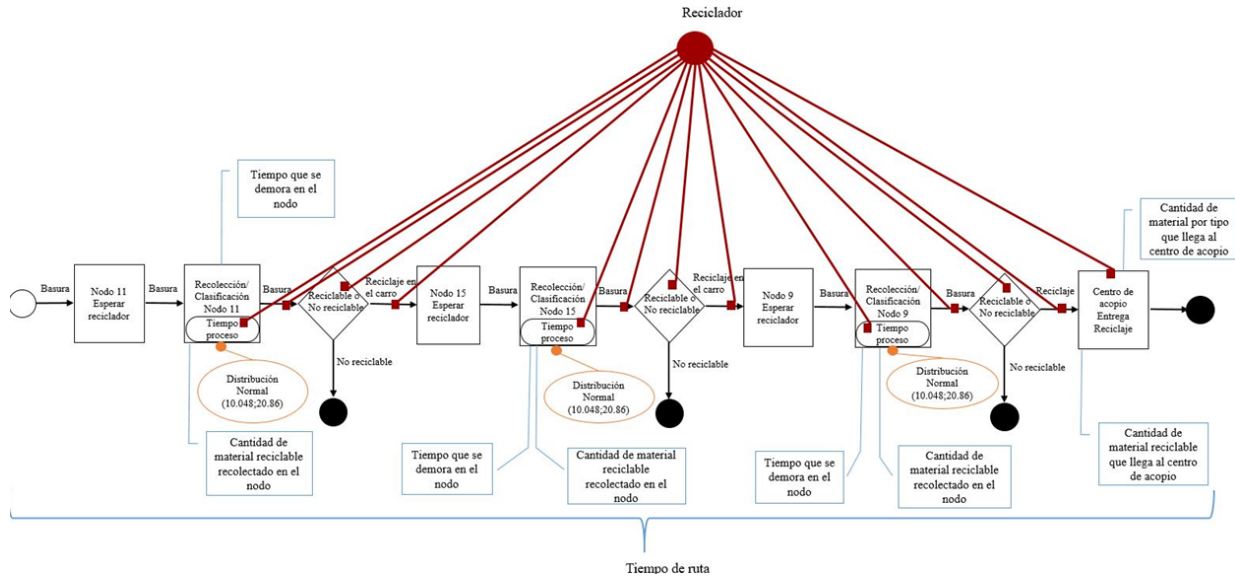


Diagrama 5. Object Flow Diagram OFD.

La parametrización del análisis de entrada se obtuvo con el conjunto de datos relacionados al tiempo de desplazamiento y la distancia entre cada par de nodos; el tiempo de recolección que requiere el reciclador por nodo está representado con una distribución normal (identificada a través de una prueba de bondad), el porcentaje de material reciclado y no reciclado por cada tipo de material representado con porcentajes (identificado a través de una prueba de rachas por ruta) (Anexo 26), la cantidad de kg de residuos sólidos por nodo obtenidos mediante un estudio de campo y la distancia entre nodos. A continuación, se muestra el análisis de las pruebas de rachas que se le hizo al porcentaje de reciclaje por cada tipo de ruta, la cual muestra la aleatoriedad de los datos de la ruta.

Tabla 23. Prueba de rachas.

		Prueba de rachas						
		Ruta1B	Ruta2B	Ruta3B	Ruta4B	Ruta5B	Ruta6B	Ruta7B
Valor de prueba ^a		5	6	5	5	6	6	6
Casos < Valor de prueba		23	24	25	21	22	25	23
Casos >= Valor de prueba		27	26	25	29	28	25	27
Casos totales		50	50	50	50	50	50	50
Número de rachas		28	31	19	24	20	21	19
Z		,621	1,443	-2,000	-,399	-1,636	-1,429	-1,968
Sig. asintótica (bilateral)		,534	,149	,045	,690	,102	,153	,049

a. Mediana

Con esta información se desarrolló la simulación de la red de reciclaje en el software FlexSim mostrada en el Anexo 28. A continuación, se explica cómo funciona la simulación teniendo en cuenta las rutas obtenidas anteriormente:

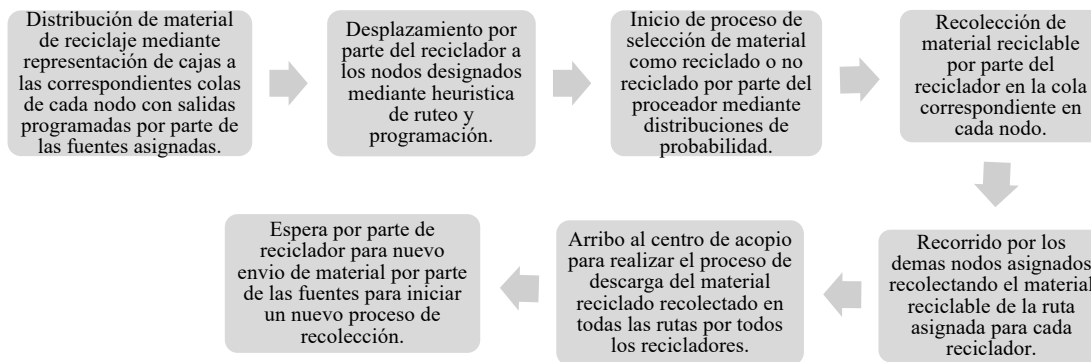


Diagrama 6. Explicación de la simulación en el programa FlexSim.

En el programa *FlexSim* se realizó la modelación virtual a partir de recursos físicos y móviles, tales como el stand de almacenamiento (*Rack*), los procesadores, fuentes (*Source*), colas (*Queue*), salida (*Sink*), personas y carros de carga. De igual manera, se realizaron las asociaciones con respecto al proceso de recolección de residuos sólidos en cada punto, almacenamiento y las rutas que cada reciclador deberá recorrer en el proceso.

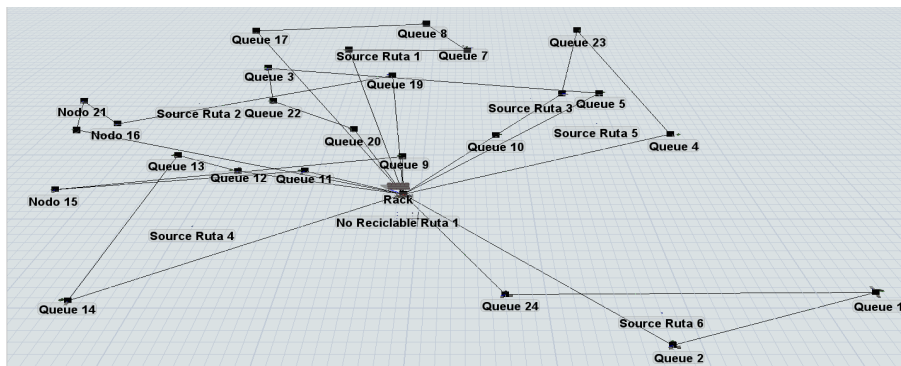


Ilustración 7. Simulación en programa FlexSim.

Como resultado del análisis de salida de la simulación, en el que se verificaron y validaron las variables indicadas anteriormente, se obtuvieron los siguientes gráficos por cada una de ellas como se muestra a continuación con la variable del tiempo promedio de la ruta 1:

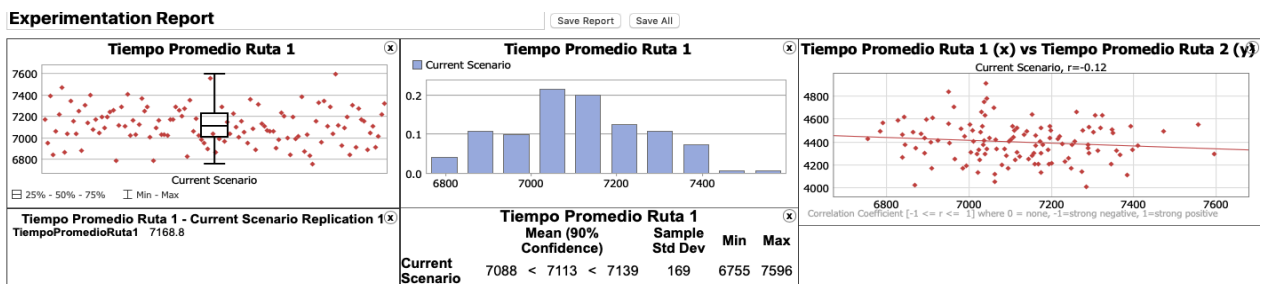
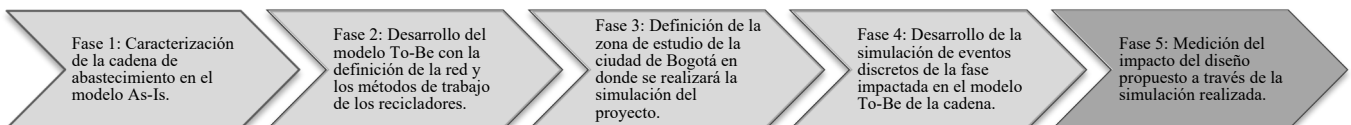


Ilustración 8. Resultados Dashboard indicador tiempo promedio de la ruta 1.



Con la información de cada indicador mostrada en los *Dashboards* fue necesario determinar el impacto de todo el diseño propuesto en la simulación realizada y de esta forma cumplir con la fase 5 del marco de referencia del proyecto. Para la cual, se hizo análisis de escenarios, donde a cada indicador se le realizó la simulación de 120 réplicas. Las cuales representan 10 meses del ruteo debido a que por cada mes se cuenta con 12 días de jornada de trabajo. De esta manera, se pudo obtener una cantidad considerable de datos los cuales se utilizaron para la realización de los indicadores de las hojas de vida del primer mes.

Para cumplir con el objetivo del Centro de Acopio se integraron cuatro perspectivas (Financiera, Clientes, Procesos y Aprendizaje/ Crecimiento) dentro de un mapa estratégico de Kaplan y Northon visualizado en el diagrama 7 (Anexo 29). Las cuales, sin importar su respectivo peso dentro del proceso, dependen directamente la una de la otra. Por ejemplo, al garantizar la perspectiva de aprendizaje y crecimiento, se está cumpliendo con las competencias y habilidades del personal necesarias para llegar a la productividad esperada dentro de la perspectiva de procesos. Cuyo cumplimiento, aumenta el nivel de satisfacción en los conjuntos residenciales, los recicladores, personal y clientes, garantizando así un buen rendimiento en la perspectiva financiera.

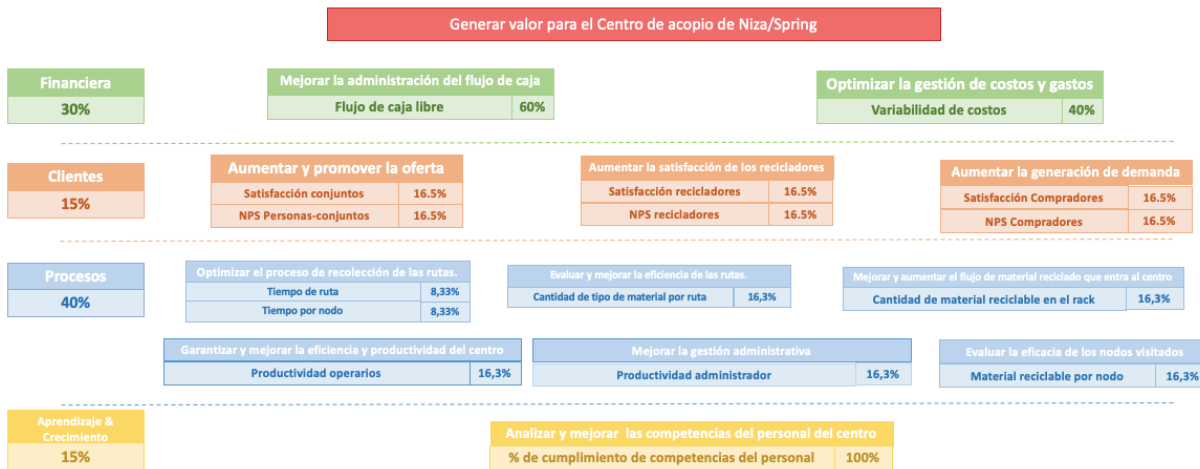


Diagrama 7. Mapa estratégico de indicadores Kaplan y Norton.

Una vez establecidas las perspectivas y sus estrategias para llegar al objetivo del centro de acopio se identificaron los respectivos indicadores a evaluar para asegurar el cumplimiento de estas. Y a estos indicadores se les diseñaron las correspondientes hojas de vida con el fin de medir y controlar su rendimiento. Cabe mencionar que cada indicador tiene un comportamiento de acuerdo con la meta, el método de cálculo y frecuencia de medición, propuestos en las hojas de vida que los califican en malo, regular, bueno y excelente (Anexo 30).

Al entender la importancia de cada indicador en los resultados finales del método propuesto y teniendo las hojas de vida de cada uno con su respectivo cumplimiento y rendimiento se obtuvieron 5 elementos relevantes para el proyecto asociados a las variables de medición que han sido modeladas en el proceso de simulación. En el Primero, se puede evidenciar que la cantidad de material recolectado en cada nodo en su gran mayoría oscila entre una media del 45-90%, lo que quiere decir que el resultado esperado es “regular” en pocas ocasiones, “bueno” en su gran mayoría y “excelente” en muy pocas. Estos resultados son positivos ya que este nivel se mide frente a un valor histórico ideal.

En el segundo, la cantidad de material recolectado por ruta que depende de la sumatoria de cada nodo oscila dentro de una media similar de 50-95%. En el Tercero, el porcentaje de cantidad de material reciclable que ingresa al rack varía dependiendo del tipo. En cuanto al cartón, éste se encuentra dentro del 88-90% lo que indica que es “bueno” llegando a niveles “excelentes”. El archivo está dentro de 84-92%, la chatarra y metales dentro de 82-95%, el plástico se encuentra dentro de 83-90% y el vidrio dentro de 80-88% lo que indica que la cantidad recolectada es “buena” lo que fortalece el rendimiento del proyecto.

En el Cuarto, con el tiempo del reciclador en cada nodo se puede observar que la media se encuentra entre 85-115%, lo que significa que en pocas ocasiones se demoran menos del tiempo estimado. Esto podría ser negativo ya que, se traduce a que no hay muchos residuos sólidos, que en la mayoría de las ocasiones se demoran el tiempo establecido según visitas de campo y que en pocas ocasiones se demoran más del tiempo establecido. Lo cual por un lado es positivo, ya que puede ocurrir por exceso de residuos y, por otro lado, es negativo ya que afecta el tiempo total de la ruta aumentando el riesgo de que inicie el proceso de recolección de residuos sólidos por entidades públicas. Lo que, a su vez, aumenta la probabilidad de no alcanzar a cubrir todos los nodos programados. En el quinto y último, el tiempo de ruta que se encuentra entre 88-105% el cual indica que los recicladores cumplen con el tiempo estimado, por lo cual podrán recolectar la cantidad de residuos estimados en todos los nodos programados.

6. Diseño en ingeniería

El diseño principal del proyecto fue una solución integral para la cadena de abastecimiento del reciclaje específicamente en la fase de recolección y recuperación de productos. Esta solución permitió mejorar el desempeño de la red de distribución, utilizando herramientas de ingeniería industrial y basándose en las principales variables cuantitativas y cualitativas involucradas en el proceso en el barrio Spring de la ciudad de Bogotá.

Requerimientos esperados de diseño

Por medio de los modelos As-Is y To-Be se buscó caracterizar toda la cadena de abastecimiento para identificar oportunidades de mejora, las cuales generaron un cambio significativo en toda la gestión y desarrollo del manejo de residuos sólidos.

Después de esta caracterización se esperaba que dentro del diseño existiera un esquema el cual permitiera encontrar la zona indicada para el ruteo con la cobertura de su respectiva demanda y de esta manera poder ubicar el centro de acopio. Por otra parte, se creó un prototipo que permitió involucrar la parte funcional y ergonómica de los recicladores. Del mismo modo, poder reducir el esfuerzo físico que realizan los trabajadores al tener otro sistema de transporte para el proceso de recolección del reciclaje contando con una ruta de abastecimiento específica en la ciudad. Se esperaba que el prototipo cumpliera con las dimensiones necesarias para recoger toda la demanda esperada de cada ruta.

Luego del desarrollo del prototipo, se diseñó una simulación de eventos discretos, capaz de interpretar y describir de forma detallada el modelo To – Be propuesto de manera práctica para compararlo con el modelo teórico del proceso de reciclaje en su fase de recolección. Con esta simulación se esperaba cumplir con las medidas de desempeño previamente establecidas, y por medio de indicadores de desempeño arrojados por la simulación evaluar la factibilidad del modelo.

Por otra parte, para verificar la factibilidad de implementar un centro de acopio dentro de la zona seleccionada se realizó un análisis financiero en el cual se buscaba obtener la rentabilidad y el valor presente neto del proyecto. Finalmente, para la recolección de la información se realizaron visitas de campo, *focus groups* y encuestas para definir los indicadores, clientes potenciales, demandas de cada material en cada nodo y seleccionar la zona de estudio de la ciudad de Bogotá en donde se realizará la simulación del proyecto.

7. Conclusiones y Recomendaciones

Para el desarrollo del método de mejoramiento de la cadena de reciclaje, la identificación del modelo As – Is de la cadena de abastecimiento en la ciudad de Bogotá sentó la línea base para el desarrollo de este trabajo. Ya que, por medio de ésta se encontró que dicha cadena específicamente en la fase de recolección y clasificación no cuenta con una estandarización que permita definir y mejorar su desempeño. Con esto fue posible encontrar una oportunidad de mejora que permita optimizar tiempo, recursos y así mismo maximizar resultados.

Al mismo tiempo, se evidencia que en Colombia por medio del plan nacional de desarrollo se trazan todos los propósitos, objetivos, proyectos, metas y estrategias del gobierno dentro del ámbito político, económico, social y ambiental. Es por esto que para que los planes sean aceptados y ejecutados deben ser evaluados y aprobados por el departamento nacional de planeación, quienes se encargan de coordinar la ejecución, el seguimiento, realizar evaluación de gestión y asegurar resultados del plan.

De igual forma, sabiendo que el objetivo de los planes/proyectos aceptados por esta entidad deben tener un foco en pro del desarrollo de la sociedad en términos de bienestar común y así mismo en términos de rentabilidad financiera se puede concluir que el proyecto realizado es factible y tiene cavidad para considerarse y ejecutarse en el gobierno. Esto se puede saber ya que el método de reciclaje propuesto aparte de favorecer a un grupo social específico como los recicladores informales en términos de calidad y desempeño laboral también favorece a toda la sociedad en diferentes ámbitos, pues mejora la organización, el orden, la limpieza, la movilidad, reduce accidentes, mejora la calidad y nivel de vida y estimula la economía verde aumentando el reciclaje y reduciendo residuos sólidos.

Con estos beneficios se llega a la conclusión de que es necesario complementar el método de mejora en la cadena de abastecimiento mediante un acompañamiento social el cual permita que los recicladores no sientan que con un problema o no se sientan rechazados por la sociedad, sino al contrario, se evidencie la gran importancia que tienen ellos en esta cadena del reciclaje y que su labor al igual que las entidades privadas es de suma importancia para poder obtener una ciudad más limpia y con un manejo adecuado de los residuos sólidos. De esta manera se puede garantizar que los recicladores dejen

de estar reacios a los cambios o a las nuevas propuestas y mas bien pueden llegar a considerar y aceptar esta nueva propuesta para implementarla y entender que hay personas que si los consideran parte fundamental de esta cadena y quieren un cambio social y ambiental.

Con la información recolectada de visitas de campo se concluyó que el problema de ruteo de vehículos se ajusta a un CVRP (*Capacited Vehicle Routing Problem*), porque los vehiculos de carga diseñados y empleados para la distribución tienen capacidad limitada y constante. Igualmente, se seleccionó este algoritmo, ya que, consiste en realizar una exploración limitada del espacio de búsqueda para dar una solución de 7 rutas adaptadas a la zona seleccionada.

A partir de una simulación en FlexSim y evaluando los indicadores establecidos, se evidenció que el nuevo método de reciclaje además de mejorar significativamente el tiempo dentro lo estipulado (4 horas) optimizando las rutas, también se acerca la cantidad recolectada real de material y aumenta la rentabilidad favoreciendo a los actores involucrados en cuanto a satisfacción y productividad. Además, con los indicadores se logra tener un control del rendimiento y desempeño para tomar las medidas necesarias en el momento indicado y evitar inconvenientes y daños a largo plazo.

Con el fin de garantizar los resultados esperados y al mismo tiempo el manejo eficiente de los residuos en el centro de acopio el personal debe estar capacitado y experimentado. Para esto se debe evaluar el perfil profesional del personal a contratar y al mismo tiempo se aseguran las condiciones óptimas laborales. Por otra parte, la realización del análisis financiero dentro del proyecto es de suma importancia, ya que, esta muestra que el proyecto si es viable debido a que se tiene una rentabilidad del 31% lo que refleja que es mayor al riesgo a asumir que se encuentra en un 10%, por otra parte, el valor presente neto es de \$877.063.877 siendo este mayor a cero, es por esta razón que se puede decir que hay riesgo de llevar a cabo la implementación del centro de acopio en la zona seleccionada.

Finalmente, al encontrar el método de mejoramiento de la cadena de abastecimiento se logró cubrir las 4 oportunidades de mejora encontradas a lo largo del trabajo de grado. Con el ruteo se logra establecer un espacio destinado para el transito de los reciclados en la ciudad de Bogotá y además se tiene una estandarización adecuada de la red del reciclaje. Con la propuesta y diseño del zorro bici-taxi los recicladores ya van a tener un medio de transporte adecuado para la manipulación de los materiales por toda la ciudad y por ultimo, con la creación del centro de acopio los recicladores tienen acceso a un espacio para hacer libremente su clasificación y así mismo la venta de los materiales recolectados, evitando que este proceso se realice en las calles de Bogotá.

Sin embargo, es necesario contar con una mayor cantidad de tiempo para la realización detallada de este método de mejoramiento con el fin de validar la simulación teórica realizada en una prueba piloto con los recicladores para confirmar las mejoras en la cadena de abastecimiento en terminos de tiempos, cantidad y bienestar de ellos, y así, comparar los resultados obtenidos en el modelo As – Is con los resultados del modelo To -Be implementado. Esto para tener certeza de comparar los dos modelos con los mismos parametros y variables no controladas del entorno que no se tienen en cuenta en la simulación del trabajo de grado.

Recomendaciones

- De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda buscar alianzas con el gobierno o entidades gubernamentales para la ejecución del trabajo de grado. Esto debido a que, de acuerdo con el análisis financiero, el proyecto es viable y factible.
- Al determinar la factibilidad del proyecto es posible utilizar las plantillas del ruteo encontradas en los anexos para adaptar el trabajo de grado a otras zonas de la ciudad. Por otro lado, se recomienda diligenciar las hojas de vida de los indicadores para determinar el impacto a largo plazo del proyecto.
- Para la extensión de este método de mejoramiento de la red de distribución en la cadena de abastecimiento en el reciclaje se recomienda tener una disponibilidad de tiempo adecuada para visitas de campo periódicas en donde se pueda consolidar la información y así obtener una mayor precisión en el modelo.

8. Glosario

Reciclaje: Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. La palabra "reciclado" es

un adjetivo, el estado final de un material que ha sufrido el proceso de reciclaje. En términos de absoluta propiedad se podría considerar el reciclaje puro sólo cuando el producto material se reincorpora a su ciclo natural y primitivo: materia orgánica que se incorpora al ciclo natural de la materia mediante el compostaje. Sin embargo y dado lo restrictivo de esta acepción pura, extendemos la definición del reciclaje a procesos más amplios. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos: directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

Residuos Sólidos: En función de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos.

Centro de Acopio: Lugar destinado a la recuperación y el almacenaje de materiales reciclables

Object Flow Diagram (OFD): Es un diagrama de flujo que representa gráficamente un proceso o sistema; Muestra la interacción entre los recursos móviles y fijos, ítems de flujo, medidas de desempeño, decisiones y tiempos.

Reducir: Evitar todo aquello que de una u otra forma genera un desperdicio innecesario.

Generación residuos sólidos: Producción y consumo de residuos sólidos que, en muchos casos, no vuelven a ser reutilizados o reciclados

Recuperación: Los materiales son recuperados mediante estrategias de recambio de equipos eléctricos y electrónicos en hipermercados especializados, lo que significa el establecimiento de alianzas previas con estas empresas.

Recolección y Transporte: Servicio especializado prestado por la unidad de alistamiento, la programación de la recolección y transporte debe hacerse teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento que se determina según el área de almacenamiento y el volumen de generación de materiales de la fuente.

Almacenamiento y Alistamiento: Recuperación, separación y clasificación de materiales, para su posterior comercialización al gestor autorizado, de acuerdo con los estándares de calidad que exige el sector

Aprovechamiento: Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente.

Reciclador: Empresas o individuos que por medio de procesos industriales o artesanales transforman los residuos sólidos ya reciclados agregándoles un nuevo valor de uso. En esta cartilla se emplean los términos reciclador y transformador para significar lo mismo.

Reciclador de oficio: Es la persona que recibe para él y su familia un ingreso económico prestando un servicio público de aseo, aprovechando los desechos de la población.

Zorro: Vehículo de tracción humana con capacidad en peso de 500 kg

Carretilla: término utilizado informalmente por los recicladores con el cual se hace referencia a método de transporte con tracción mecánica por medio de bicicleta.

9. Referencias

Ambiente, M. D. E., & Sostenible, Y. D. (2015). (15 Feb2018, 1–10).

Álvarez, C. (2013). *Reciclaje y su aporte a la educación ambiental*. Quetzaltenango: Universidad Rafael Landívar.

Bermeo, J., Rea, V., López, R., & Pico, M. (2018). *EL RECICLAJE LA INDUSTRIA DEL FUTURO EN ECUADOR*. Ecuador.

BRIAN, O. C. J. (2017). *Guía de inclusión tecnológica para el proceso de recuperación de residuos sólidos potencialmente reciclables basado en el análisis productivo del centro de reciclaje la alquería de la ciudad de Bogotá D.C.*

Castillo, A. (2013). DINÁMICA DE LA CONSTRUCCIÓN POR USOS LOCALIDAD SUBA. Recuperado 1 marzo, 2019, de <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/16.pdf>

- Consultores, A. (2011). *Estudio nacional de reciclaje aproximación al mercado de reciclables y las experiencias significativas*. [online] Cempre.org.co. Available at: http://cempre.org.co/wp-content/uploads/2017/05/3926-estudio_nacional_de_reciclaje_aproximacion_al_mercado_de_reciclables_y_las_experiencias_significativas_0-1.pdf [Accessed 15 Aug. 2018].
- Corredor, M. (2010). El sector reciclaje en Bogotá y su región. [online]. Asociaciónrecicladoresbogota.org. Available at: http://asociacionrecicladoresbogota.org/wp-content/uploads/2012/04/El_sector_reciclaje_en_Bogota_y.pdf [accessed 8 Aug. 2018]
- El Universal Cartagena. (2016). *La formalización de los recicladores: un desafío para Colombia*. [online] Available at: <http://www.eluniversal.com.co/colombia/la-formalizacion-de-los-recicladores-un-desafio-para-colombia-229710> [Accessed 11 Aug. 2018].
- Esteban, D., & Dávila, V. (2011). *Propuesta de emprendimiento social para los recicladores del barrio santa librada, Bogotá D.C.*
- García, C. M. (2013). Explorando experiencias de trabajo no capitalistas: el caso de una asociación de recicladores en Bogotá. *Trabajo y sociedad*.
- Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. (2009). Norma técnica Colombiana GTC 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos y guía para la separación en la fuente. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, (571), 1–18. Retrieved from http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC_24_DE_2009.pdf
- Jiménez, Mantilla, Castro. (2014). Informe sobre la política pública de inclusión de recicladores de oficio en la cadena de reciclaje. Obtenido de: <http://www.bogotacomovamos.org/documentos/informe-sobre-la-politica-publica-de-inclusion-de/>
- KienyKe. (2012). Lo que usted no sabe del negocio del reciclaje. Obtenido de: <https://www.kienyke.com/historias/lo-que-usted-no-sabe-del-negocio-del-reciclaje>
- Letras Verdes. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes*.
- Lozano. (2002). Estudio de los conocimientos, conductas, actitudes y recursos de los estudiantes de la ULPGC, ante la gestión de los residuos para la aplicación de una estrategia de educación ambiental basada en el modelo precede-procede.
- Luzón, M. A., Sánchez, A. M., & Martínez, G. J. (2005). *Influencia de las normas, los valores, las creencias proambientales y la conducta pasada sobre la intención de reciclar*. Granada: Resma.
- Martínez, A. G. (2001). *Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México*. Ciudad de México: Gaceta Ecológica.
- Martínez, J., & Uribe, A. (2013). *Evaluación de la implementación de un parque tecnológico de reciclaje en Bogotá. Evaluación de un modelo inclusivo para la participación de recicladores de base en la implementación de un parque tecnológico para el reciclaje, en el marco del plan maestro de residuos sólidos urbanos* (Vol. 1).
- Ministerio de Ambiente, & Sostenible, D. (2017). Resolución 1326 de 2017, Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de llantas usadas y se adoptan otras disposiciones.
- Moreno, L. (2016). *Capacitan a recicladores para su formalización*. [Online] Cali.gov.co. Available at: http://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/118502/capacitan_a_recicladores_para_su_formalizacion/ [Accessed 11 Aug. 2018].
- Pastor, J. (2013). *Optimización de la localización y recogida de residuos urbanos*. [online] Eprints.ucm.es. Available at: https://eprints.ucm.es/22981/2/TFM_jordimaripastor.pdf [Accessed 22 Aug. 2018].
- Posada. (2017). Primera ruta de reciclaje pasara por el Poblado. Obtenido de: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/primera-ruta-de-reciclaje-pasara-por-el-poblado-JA7750975>
- Radio, C. (2017) *Administración distrital entregó carros especiales a recicladores de Cartagena*. [Online] Caracol Radio. Available at: http://caracol.com.co/emisora/2017/01/31/cartagena/1485875617_746363.html [Accessed Aug.2018].
- Rivera, D. L. (2015). *Comunicación ambiental y manejo de residuos sólidos*. Quito.

Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Zulia

S.A.S., E. (2012). *Carros de material reciclado, una idea gestada en las aulas*. [online] Larepublica.co. Available at: <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/carros-de-material-reciclado-una-idea-gestada-en-las-aulas-2011644> [Accessed 22 Aug. 2018].

The Economist Intelligence Unit. (2017). *The Economist*. Nueva York: The Economist Intelligence Unit.

Tiempo, C. (2016). *Agremiarse, el reto de 30.000 recicladores que hay en el país*. [online] El Tiempo. Available at: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/gremios-de-recicladores-en-colombia-41135> [Accessed 11 Aug. 2018].

Tiempo, C. (2018). *Tras 11 días de emergencia, nuevos operadores asumieron el aseo*. [online] El Tiempo. Available at: <http://www.eltiempo.com/bogota/nuevos-operadores-asumieron-el-aseo-en-bogota-181536> [Accessed 9 Aug. 2018].

Venta de Bodegas, Barrio Spring. (2019). Recuperado 1 marzo, 2019, de <https://bogotacity.olx.com.co/venta-de-bodegas-en-colina-campestre-noroccidente-bogota-7307-iiid-1041876991>