



Consultoría

Realizar el estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechables.

Contrato No. 443 DE 2017

Resumen ejecutivo

CONSORCIO NCU- UAESP

Marzo de 2018



Índice

I. Presentación.....	3
II. Resultados de la caracterización de residuos en la ciudad	3
III. Equipamiento, opciones y tecnologías de aprovechamiento	5
A. Equipamiento	5
B. Opciones de aprovechamiento existentes y análisis de cadenas de valor	7
IV. Situación actual VTH	9
V. Diseño conceptual propuesto para la operación de la recolección y el transporte de MPA	10
VI. Principales recomendaciones.....	11
A. Cultura ciudadana	11
B. Industria	12
C. Recicladores de oficio.....	12
D. Aprovechamiento.....	12
E. Infraestructura	12
F. Recolección y transporte de MPA.....	13

I. Presentación

El Distrito Capital en cabeza de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, decidió realizar el estudio técnico de caracterización en la fuente de residuos sólidos que se generan en la ciudad de Bogotá y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para los materiales aprovechables. En el presente documento se presentan los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio.

II. Resultados de la caracterización de residuos en la ciudad

La caracterización se realizó durante los meses de septiembre a diciembre de 2017 con información de las muestras de residuos tomadas en las diecinueve (19) localidades de Bogotá, para los seis (6) estratos socio económicos y usuarios comerciales, con base en un muestreo que garantizó la cobertura del 100% de la ciudad. En dicha caracterización se obtuvieron entre otros resultados, el cálculo de la cantidad de material aprovechable generado en la ciudad, sus características fisicoquímicas y la producción per cápita PPC de residuos sólidos aprovechables y no aprovechables por estrato y por localidad.

Para la caracterización se utilizó la metodología internacional SWA TOOL la cual es una herramienta creada en Europa para la clasificación y análisis de residuos sólidos generados en núcleos urbanos, siendo la ciudad de Bogotá la primera en aplicarla en Latinoamérica.

Se calcula que para el año 2017, el sector residencial y comercial de la ciudad de Bogotá generan aproximadamente 7.000 toneladas de residuos al día, los cuales son llevados para su disposición final al relleno sanitario Doña Juana. Es importante aclarar que las muestras caracterizadas se tomaron en el punto de generación, es decir los resultados aquí consignados dan cuenta del potencial total de residuos generados por la ciudad, sin tener en cuenta el porcentaje de recuperación efectuado por la cadena actual de reciclaje, que según datos históricos y estimados por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos UAESP es cercano al 30%.

En la Tabla 1 se presenta la composición de los residuos caracterizados, los cuales con un adecuado manejo desde la fuente pueden ingresar a la cadena productiva de reciclaje de la ciudad.

Tabla 1. Composición macroscópica de residuos Bogotá 2017.

Material	Porcentaje de generación
Orgánicos	51,32%
Plásticos	16,88%
Celulosas	13,67%
Textiles	4,54%

Material	Porcentaje de generación
Vidrios	3,67%
Otros	3,36%
Madera	1,60%
Finos	1,43%
Metales	1,13%
Complejos	0,96%
Inertes	0,84%
Peligrosos domiciliarios	0,61%

Fuente: Elaboración propia Consorcio NCU – UAESP, 2017.

La producción per cápita de residuos (PPC) para la ciudad en el año 2017 es de 0,855 Kg/hab-día, manteniendo la tendencia reportada en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2016, cuya PPC era de 0,8 Kg/Hab-día. Sin embargo, en cuanto a las características de los materiales, se observaron cambios significativos respecto al potencial de aprovechamiento, debido al grado de compactación y mezcla con otros residuos y/o sustancias en el sitio de disposición final, lo cual disminuye su posibilidad para incorporarlos en cadenas de aprovechamiento y reciclaje. Los materiales más afectados por esta variable son las celulosas y los más resistentes a este efecto son las resinas plásticas rígidas. Vale la pena mencionar que en el presente estudio las muestras fueron tomadas en la fuente generadora y en los cálculos de PGIRS 2016 se tomó información en la entrada del relleno sanitario Doña Juana.

De acuerdo con los resultados de la composición macroscópica de residuos sólidos en Bogotá, se encontró que, con una participación del 16,88% los residuos plásticos son los MPA que más se generan, siendo el estrato 2 el más representativo. En segundo lugar, se encuentran los residuos de celulosa con una participación del 13,67%, con mayor generación en el estrato 3.

En el marco del estudio, se llevó a cabo el análisis físico – químico de los residuos generados por cada uno de los estratos socioeconómicos de la ciudad. Para esto, se tomaron muestras de 15 Kg de residuos homogenizados que fueron llevadas al laboratorio, siguiendo los requisitos de cadena de custodia y transporte para garantizar la calidad de los resultados. Estos fueron comparados con la caracterización de los residuos sólidos residenciales y de establecimientos comerciales y pequeños productores generados en la ciudad de Bogotá D.C realizado por Héctor Collazos Peñaloza en el año 2011.

Los resultados obtenidos en el laboratorio permitieron evaluar la biodegradabilidad, el contenido de humedad, el pH, los metales pesados, el poder calorífico, el carbón orgánico, entre otros.

Para los sectores industrial, plazas de mercado y residuos hospitalarios, se tomó información secundaria proveniente de los generadores, la encuesta anual ambiental manufacturera – Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, Análisis del sistema de

información de residuos hospitalarios (SIRHO) - Secretaría Distrital de Salud; análisis de información del Plan de Saneamiento Básico, implementación y seguimiento de planes de manejo integral de residuos sólidos y acompañamiento al programa de control de vectores y limpieza y desinfección para plazas de mercado distritales - UNC – UAESP.

En cuanto a la generación de residuos en las plazas de mercado se encontró que la mayor participación la tienen los ordinarios con 66,48%, que no son posibles de aprovechar y posteriormente se encuentran los residuos orgánicos con un 33,11 % que corresponden a frutas y verduras que han sido separados previamente en la fuente por algunos comercializadores y son recolectados mediante ruta de recolección selectiva.

Durante el periodo 2014 – 2016, se reportó la generación de 135.788 toneladas de residuos hospitalarios peligrosos dentro de la clasificación biosanitarios, que son los más comunes dentro de los residuos hospitalarios, con una participación del 82,88%. Dentro de estos desechos se pueden encontrar todos aquellos elementos e instrumentos que se encuentran contaminados con materia orgánica, sangre, fluidos corporales de pacientes humanos o animales, instrumentos de laboratorio y/o elementos desechables que las tecnologías médicas ameriten

Los residuos anatomopatológicos (infecciosos) se encuentran en la segunda posición de generación con 13,4%. Los residuos cortopunzantes presentan una baja generación, 922.386 toneladas en el periodo 2014 – 2016, representando en promedio el 2,60%.

III. Equipamiento, opciones y tecnologías de aprovechamiento

A. Equipamiento

En la ciudad de Bogotá funcionan seis (6) Bodegas Distritales de Clasificación y Aprovechamiento (UAESP, Datos recolectados hasta Septiembre 2017), las cuales cuentan con equipamiento limitado y no cumplen con la totalidad de los requisitos mínimos establecidos en el Decreto 596 de 2016 para ser catalogadas como ECAs. Algunas de ellas no implementan las medidas de seguridad industrial necesarias ni los sistemas de control de olores y no tienen áreas destinadas al proceso de clasificación (Tabla 2). No obstante, las Bodegas Distritales logran ejecutar, con diversas falencias, numerosos procesos de clasificación, pretransformación y transformación de los materiales potencialmente aprovechables- MPA.

Tabla 2. Procesos que ejecutan las Bodegas distritales actualmente

Bodegas Distritales de Clasificación y Aprovechamiento						
Procesos	Usaquén	Kennedy	Engativá	Usme	Puente Aranda	Tunjuelito
Selección	X	X	X	X	X	X

Bodegas Distritales de Clasificación y Aprovechamiento						
Procesos	Usaquén	Kennedy	Engativá	Usme	Puente Aranda	Tunjuelito
Clasificación	X	X	X	X	X	X
Limpieza/ Lavado	X		X	X	X	X
Empacado	X		X	X	X	X
Embalaje		X	X			
Trituración	X	X	X	X		
Rasgado	X	X	X	X	X	
Compactación		X	X			X

Fuente: Consorcio NCU. (2017). Informe No.5 Estado del Arte. Bogotá.

En cuanto a la ejecución de estos procesos en muchos casos es incorrecta, ya que la falta de equipamientos hace que los operarios tengan que improvisar con técnicas artesanales in-situ. El proceso de trituración del vidrio es el ejemplo más claro, puesto que, pese a que la mayoría de las Bodegas Distritales lo llevan a cabo, no cuenta con trituradoras, a excepción de la de Engativá, por lo cual lo realizan con palas y/u otros materiales dentro de contenedores.

Durante el desarrollo de la consultoría se logró determinar que la industria considera que el proceso que mayor valor agregado genera a los MPA es su adecuada clasificación. En este sentido, sería recomendable que las Bodegas Distritales ejecuten por lo menos cuatro procesos básicos: registro, selección y clasificación, limpieza y empacado (en algunos casos realizado con máquinas compactadoras), de los cuales cinco Bodegas Distritales de Clasificación y Aprovechamiento los llevan a cabo. No obstante, para ejecutar de manera correcta estos procesos, es necesario que cuenten con equipos especializados, lo cual no sucede actualmente en las Bodegas Distritales, ya que de ocho de los equipos necesarios solamente se emplean dos de ellos (básculas de pesaje y compactadores), como se muestra en la Figura 1.

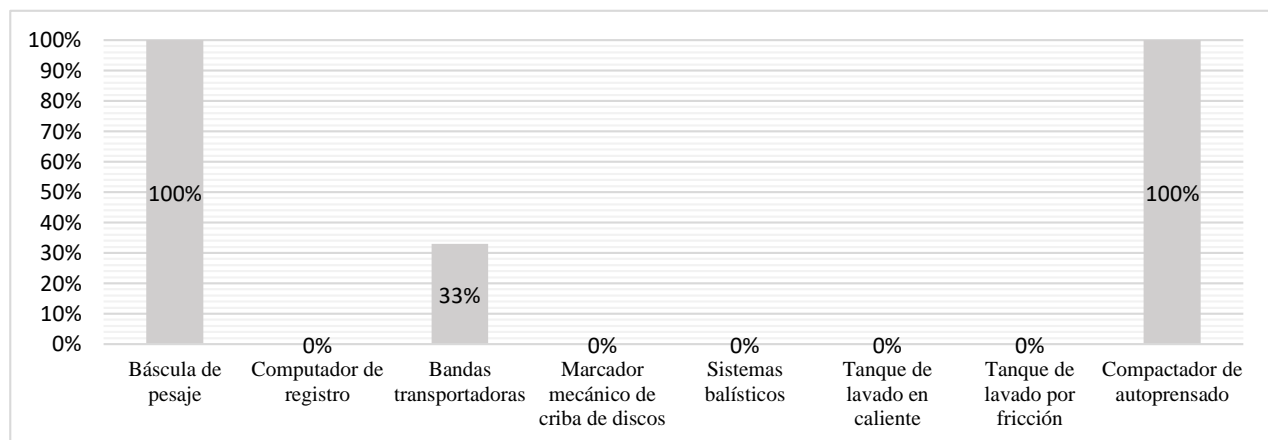


Figura 1. Equipamiento necesario en las Bodegas Distritales para una adecuada operación.

Fuente: Elaboración propia, Consorcio NCU – UAESP, 2017

Teniendo en cuenta el inventario de las bodegas existentes y las localidades que más MPA generan, la consultoría propone considerar nuevo equipamiento de almacenamiento, para lo cual se requiere tener en cuenta la ubicación, el área de influencia de las Bodegas y Puntos de Transferencia- PT¹, a partir de cinco variables: i) la PPC de la localidad, ii) el estrato socioeconómico que más genere MPA dentro de la localidad, iii) la densidad poblacional, iv) el área de la localidad y v) el estado de la malla vial.

Se recomienda ubicar Bodegas de Clasificación y Aprovechamiento en las localidades que tengan una producción más o menos igual a 100 toneladas diarias, ya que se tiene previsto que esta sea la capacidad de operación de una Bodega Distrital (Estrada, 2017). En cuanto a las localidades con generación menor a 50 toneladas diarias se recomienda ubicar Puntos de transferencia, ya que al ser estructuras de alimentación del sistema, pueden contar con una capacidad más o menos igual al 50% de la capacidad de una ECA. No obstante, en aquellas localidades que cuenten con una generación de MPA considerable, es necesario considerar la opción combinada de ubicar Estaciones de Aprovechamiento y Clasificación y Puntos de Transferencia según las necesidades de cada una.

B. Opciones de aprovechamiento existentes y análisis de cadenas de valor

Para el tratamiento de los residuos aprovechables, la Resolución 799 de 2002 define como materiales potencialmente reciclables y aprovechables (MPA) los siguientes: material orgánico, papel, cartón, plástico, vidrio, metal y textiles, los cuales, de acuerdo a la caracterización realizada en el presente estudio, son los que mayor participación tienen.

A continuación, se presentan las alternativas disponibles en el mercado para el aprovechamiento de los diferentes tipos de residuos con mayor potencial de aprovechamiento:

- Residuos orgánicos: presentan una PPC en la ciudad de 0,434 Kg/hab/día, siendo los residuos de cocina no cítricos los de mayor participación con 40,48%, donde el Estrato 1 de la localidad de Suba genera el mayor porcentaje de estos. La opción de aprovechamiento recomendada es el compostaje y/o lombricultivo, mediante compostadora de flujo horizontal que se ajusta al espacio urbano de la ciudad, y se puede adaptar a sitios reducidos. A partir de este tratamiento se obtiene el abono orgánico que es utilizado por las industrias del sector agroindustrial.
- Residuos plásticos: presentan una PPC de 0,146 Kg/hab/día, siendo el más representativo el Polietileno (PE) o bolsa común con 4,10%, el cual es generado principalmente por el estrato 5 de la localidad de Chapinero. Para el tratamiento de los residuos plásticos se recomienda el reciclaje mecánico, que permite el tratamiento y transformación de estas resinas para generar materia virgen, mediante diferentes procesos que requieren de distintas tecnologías para su desarrollo, como la

¹ PT: Punto de transferencia, es una estructura que tiene las mismas condiciones de operación a las de una ECA, con la excepción de que su capacidad es la mitad de la de una ECA. Este concepto es diferente al definido en el decreto 2981 de 2013 en su artículo 2, sobre estaciones de transferencia

separación, compactación, limpieza, molido y peletizado del plástico, las cuales acondicionan el residuo para la industria de Acoplásticos que se encarga de retornar este material a la cadena productiva.

- Celulosas: tienen una PPC de 0,116 Kg/hab/día, donde la categoría denominada “otros” presenta el mayor porcentaje de generación con 5,97%, siendo el estrato 4 de Engativá el sector donde más se produce. Se recomienda el reciclaje mecánico para el tratamiento de estos residuos ya que permite que la industria papelera los pueda utilizar nuevamente en su proceso, la cual genera nuevos materiales de celulosa.
- Vidrio: se encuentra con una PPC de 0,032 Kg/hab/día, donde la categoría con mayor participación corresponde a botellas color natural con 2,72%, siendo el estrato 3 de la localidad de Engativá el que presenta la mayor generación de este residuo. Se recomienda el reciclaje mecánico para el aprovechamiento de estos residuos, que consiste principalmente en la separación y trituración del material, lo cual facilita su comercialización, ya que es utilizado por la industria vidriera para la elaboración de nuevos productos.
- Textiles: presentan una PPC de 0,040 Kg/hab/día, donde la categoría con mayor participación es la ropa con 2,91%, siendo el estrato 2 de la localidad de Engativá, el que tiene la mayor generación de estos. Para el aprovechamiento de los textiles se recomiendan los procesos de reutilización, en el caso de que se encuentren en buen estado; y la valoración textil que consiste en el pre tratamiento de retazos de ropa que se usa en el proceso productivo de diferentes empresas manufactureras encargadas de elaborar nuevos productos a partir de las fibras recicladas.
- Aluminio: presentan una PPC de 0,010 Kg/hab. día, donde la mayor participación corresponde a metales no ferrosos – Aluminio con 0.70%, siendo el estrato 5 de la localidad de Suba el que genera la mayor cantidad de los mismos. Para su tratamiento se recomienda el reciclaje mecánico que consiste principalmente en su selección y limpieza, ya que los demás tratamientos son realizados directamente por la industria metalúrgica, los cuales se encargan de la producción de metales.

Desde la perspectiva económica el reciclaje es un proceso de transformación que genera materias primas y mercancías a partir de un material residual que se obtiene de actividades humanas. La cadena de reciclaje en Colombia se ha desarrollado al margen de procesos productivos formales, sin embargo, de forma gradual se han venido consolidando empresas dedicadas a la comercialización de materiales, recuperados en el marco de las cadenas productivas en cada material.

Los precios de comercialización y en general la rentabilidad de la actividad de reciclaje dependen de las actividades como la separación, recolección y transporte de los materiales aprovechables. En el país, los residuos que más se comercializan son los residuos de papel y cartón con un porcentaje de 53%, seguido de los metales con 25%, los plásticos 15% y vidrio con 13%.

El papel tiene un mercado consolidado con alta demanda en la cadena de reciclaje, no solo en la ciudad de Bogotá si no a nivel nacional. Las empresas papeleras en Colombia dependen en gran medida de la fibra reciclada como materia prima para la elaboración de sus productos.



Dentro de los papeles con mayor mercado en Bogotá se encuentran el cartón, el papel archivo, papel periódico, y la plegadiza.

Los metales con mayor demanda en el mercado son el aluminio, el cobre y la chatarra. El margen de rentabilidad de los metales es importante y pueden mejorar las utilidades de una unidad de negocio, ya que se mueven en un mercado más estable y pueden aportar a la sostenibilidad de comercializadores y/o bodegas de reciclaje.

En cuanto a los residuos de plástico, actualmente existe un mercado consolidado de estos materiales, principalmente de resinas plásticas flexibles y rígidas, dentro de las que se encuentran PET, Plástico bolsa, Plástico manguera (plástico sucio), el soplado, tapete de cocina, botas machita, Tubo PVC.

El vidrio es uno de los materiales con mayor porcentaje de reciclaje en el país, hoy en día se aprovecha hasta un 52% del total que se genera. Los vidrios con mayor nivel de comercialización son las botellas de color ámbar, verde y transparente.

Existen otros residuos como los textiles y los orgánicos, que si bien su comercialización no se ha consolidado en el país, presentan una alta generación en la ciudad y requieren de atención para puedan ser aprovechados.

IV. Situación actual VTH

Durante la consultoría se identificaron seis tipos de VTH principalmente usados por la población recicladora de la ciudad: zorros, carritos de mercado, carros esferado, bicicletas, costales y carretillas. Entre los vehículos más populares están los zorros o carretas con una presencia del 47% del total de VTH encuestados (a lo largo de la ciudad), seguidos por los costales con solo un 14% (Consortio NCU, 2017).

Las localidades de Engativá, Fontibón y Los Mártires, con un porcentaje del 66.7%, son las que cuentan con mayor presencia de zorros, mientras que San Cristóbal, con un porcentaje del 75% del total de recicladores encuestados, es la localidad donde más recicladores trabajan con costal.

Con base en las encuestas realizadas por la consultoría, se encontró que los recicladores prefieren transitar localidades con alta actividad comercial, como es el caso de Los Mártires y Barrios Unidos y Teusaquillo con una cobertura del 46.47%, 45.53% y 43.74% respectivamente. Esto, debido a la ubicación geográfica que tienen ya que conectan de occidente a oriente las localidades de: Engativá, Fontibón, Puente Aranda, Chapinero y Santa Fe y de sur a norte: Suba, Usaquén, Antonio Nariño y San Cristóbal.

V. Diseño conceptual propuesto para la operación de la recolección y el transporte de MPA

La operación para la recolección y transporte de los MPA se basa en dos premisas: la zonificación de la ciudad y un modelo combinado de diferentes vehículos de transporte. La zonificación depende de factores como: la generación de residuos por parte de los diferentes tipos de actores, el diseño de las macro y micro rutas óptimas, la geografía de la ciudad, el estado de la malla vial y la infraestructura de clasificación y aprovechamiento. Por su parte, el modelo combinado de diferentes vehículos de transporte tiene en cuenta la tipología vehicular, el rango de operación y la flota operativa. El diseño conceptual propuesto para la recolección de transporte de los MPA se presenta en la Figura 2.

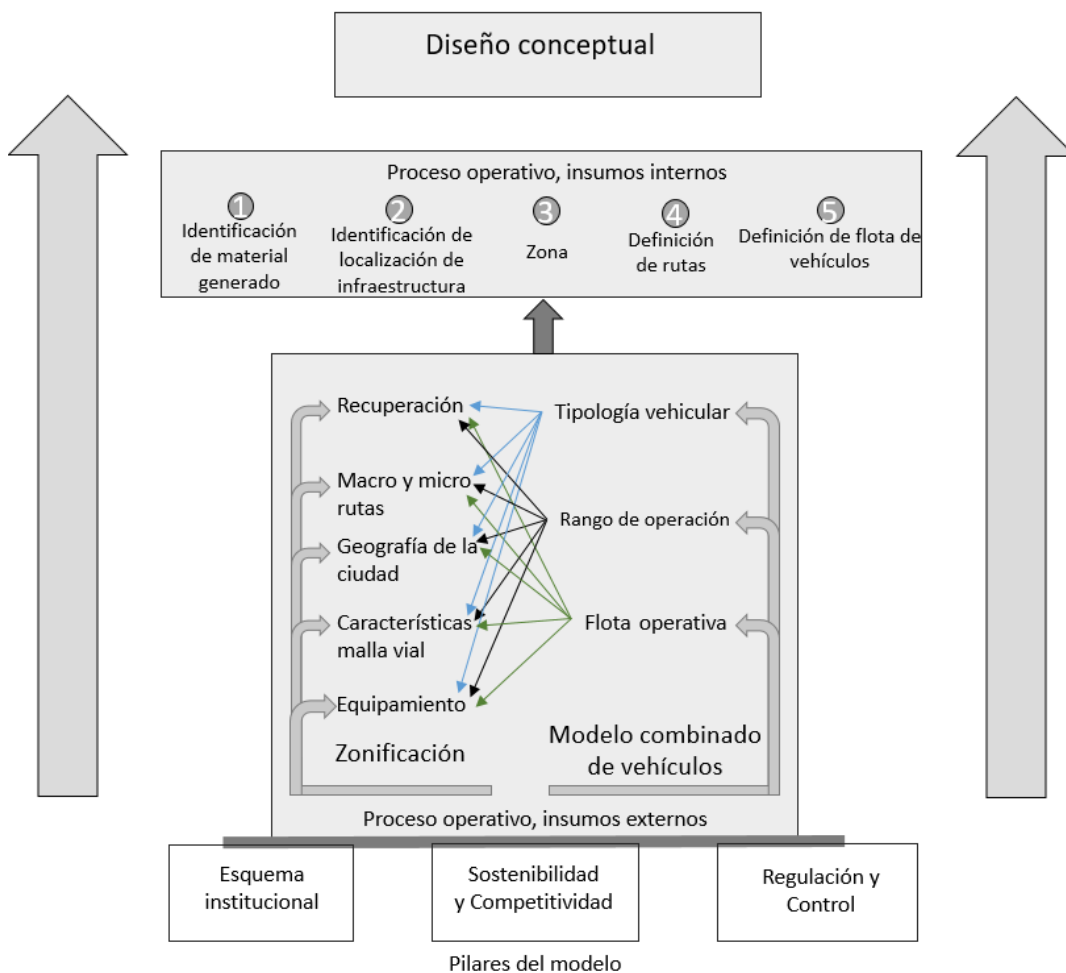


Figura 2. Diseño conceptual operativo

Fuente: Elaboración propia, consorcio NCU-UAESP, 2017

a) Zonificación

El objetivo de la zonificación es dividir la ciudad en unidades de negocio sostenibles que sean potencialmente operables por las organizaciones de recicladores, en las cuales se especialice el trabajo de estas para minimizar los costos asociados a la operación. Esta división se realiza teniendo en cuenta las siguientes variables: recuperación, macro y micro rutas, geografía de la ciudad, características de la malla vial y equipamiento.

b) Modelo combinado de vehículos de transporte

El modelo combinado consiste en realizar una combinación de varias alternativas que logren transportar en su totalidad la producción de cada uno de los generadores en cada recorrido efectuado, es decir, se debe desarrollar una tarea de ingeniería de detalle para identificar cuadra a cuadra las características del MPA en peso y volumen, con el fin de poder seleccionar el vehículo adecuado.

Para esto, se tendrán en cuenta las variables contempladas en la zonificación que integrarán un modelo paso a paso, combinado con la tipología vehicular, el rango de operación y la flota operativa.

El modelo paso a paso consiste en:

- Identificar los usuarios que más generan MPA.
- Ubicar la infraestructura según la generación de MPA identificada.
- Zonificar la ciudad de acuerdo con la generación de MPA, geografía, ubicación de bodegas, estado de la malla vial, entre otros, se recomienda que la zonificación sea igual a la de las ASEs otorgadas recientemente.
- Definir las macro y micro rutas de la operación de recolección y transporte de MPA
- Identificar los vehículos óptimos para el recorrido de las macro y micro rutas según: cantidad de MPA a recolectar, distancias a recorrer, geografía, estado de la malla vial, etc.

VI. Principales recomendaciones

A. Cultura ciudadana

- La separación de los residuos aprovechables en su punto de generación es la manera más eficaz y positiva para lograr el buen tratamiento de los materiales, sin embargo, para lograr una buena separación en la fuente es necesario aumentar la difusión de los programas de concientización y promoción de separación en la fuente en los hogares.
- Teniendo en cuenta que el cambio de hábitos es un proceso de largo plazo, es recomendable que se concientice a la comunidad sobre la problemática de los residuos en la ciudad, mediante el uso de campañas educativas, por medio de comerciales televisivos y pancartas informativas de mayor extensión que permitan una amplia difusión.
- Los programas de educación ambiental deben abarcar estrategias de sensibilización con énfasis en el reciclaje de plástico, especialmente en el plástico flexible, debido a que dentro de los hallazgos de la caracterización 2017, éste es el más generado por los



Bogotanos, y es un material potencialmente aprovechable que con una correcta separación puede ser transformado en nueva materia prima.

- Es recomendable proporcionar al consumidor mayor información sobre los métodos de fabricación de los productos que compra y su proceso de disposición final, con el fin de promover en los usuarios más responsabilidad social y disminuir la compra de productos que no tienen posibilidad de aprovechamiento.

B. Industria

- Desarrollar un modelo de economía circular que ayude a disminuir el uso de los recursos y la producción de residuos en el Distrito, donde las industrias desarrollen productos que permitan alimentar nuevamente otras cadenas de valor, mediante el uso de materia primas alternativas en sus procesos, lo cual les genere una exención tributaria.

C. Recicladores de oficio

- Desarrollo de proyectos técnica, económica y financieramente viables, con poblaciones de recicladores de oficio organizados para la tecnificación en su oficio, o el desarrollo de nuevos roles dentro de la cadena, con formación empresarial y técnica, apoyo financiero y seguimiento, en búsqueda de sostenibilidad e inserción efectiva en el mercado.
- Formular estrategias que incluyan incentivos económicos a los usuarios para aumentar el porcentaje de material recuperado en cada una de las localidades con una adecuada separación en la fuente.

D. Aprovechamiento

- Contemplar planta(s) de valorización energética o termo valorización, como alternativa de disposición final y la generación de electricidad a través de la incineración de residuos sólidos no aprovechables, aportando soluciones al uso de combustibles no renovables.
- Promover y desarrollar la investigación para nuevos productos y tecnologías para el aprovechamiento de los materiales con potencial de aprovechamiento y aquellos que aún no se consideran reciclables en la ciudad, con el fin de disminuir la disposición final en el relleno sanitario de Doña Juana.
- Considerar una combinación de tecnologías para el aprovechamiento de los residuos potencialmente aprovechables, que dependerá del tipo, características y volumen del material; así como de los requerimientos de espacio e infraestructura necesarios para lograr mayores eficiencias.

E. Infraestructura

- Las estaciones de clasificación y aprovechamiento actuales no cuentan con las condiciones de equipamiento ni procesos operativos adecuados para realizar la correcta clasificación, pre transformación y transformación de los MPS.
- Los equipos mínimos que deben tener las infraestructuras de clasificación y aprovechamiento son: básculas y computadores para realizar el registro de los materiales que ingresan; bandas transportadoras, marcadores mecánicos de criba de discos y sistemas balísticos que permitan una correcta selección y clasificación de los materiales; tanques de lavado en caliente y tanques de lavado por fricción para limpiar adecuadamente los materiales y finalmente compactadoras de autoprensado las cuales permitan compactar el material para ser enviado a los transformadores (Consortio NCU, 2017).
- Es necesario que en las infraestructuras de clasificación y aprovechamiento se realicen correctamente las actividades de pretransformación, debido a que, la incorrecta ejecución de los procesos puede generar pérdidas de MPA, inclusión de materiales sin valor comercial y/o daño de los mismos. Es por ello, que es necesario establecer diagramas de flujo y recomendaciones las cuales indiquen como debe de ser el correcto funcionamiento de los procesos dentro de las Bodegas Distritales.

F. Recolección y transporte de MPA

- Se recomienda mejorar la herramienta de trabajo del reciclador dada las condiciones de trabajo que se observaron en el presente estudio, donde se encuentra que este actor vial es tan vulnerable como un peatón, lo cual se agrava por el hecho de tener que llevar carga.
- El modelo operativo propuesto para la recolección y transporte de los MPA consiste en la zonificación de la ciudad y un modelo combinado de diferentes vehículos de transporte. La zonificación depende de factores como: la generación de residuos por parte de los diferentes tipos de actores, el diseño de las macro y micro rutas óptimas, la geografía de la ciudad, el estado de la malla vial y la infraestructura de clasificación y aprovechamiento. Por su parte, el modelo combinado de diferentes vehículos de transporte tiene en cuenta la tipología vehicular, el rango de operación y la flota operativa.