

Avances tecnológicos para la mejora del reciclaje

Verónica Vanessa Mora Blandón

Gloria Inés Echeverri

Carlos Julián Gallego Duque

Documento de Trabajo

Alianza EFI - Colombia Científica

Noviembre 2020

Número de serie: WP1-2020-011



ALIANZAEFI
economía formal e inclusiva

Avances tecnológicos para la mejora del reciclaje.¹

Verónica Vanessa Mora Blandón, Gloria Inés Echeverri

& Carlos Julián Gallego Duque

Resumen.

En este documento se da una mirada al reciclaje y los avances tecnológicos para la mejora de este, para ello, se describe su evolución a lo largo de los años, posteriormente se dan a conocer las cifras de reciclaje en la Unión Europea, Estados Unidos y América Latina, para después describir el desarrollo del reciclaje en Colombia. Seguido a esto, se da a conocer a grandes rasgos como se usa la tecnología para el aprovechamiento de residuos, para esto se presentan tablas de algunas aplicaciones y dispositivos tecnológicos para la separación, almacenamiento, y clasificación de material a nivel mundial y local. De igual manera, se evidencia la importancia del diseño de rutas eficientes en el proceso de reciclaje para la optimización de recursos, y finalmente se da conocer el caso de estudio de la Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín RECIMED.

Palabras clave: reciclaje, dispositivos tecnológicos, aplicaciones, eficiencia.

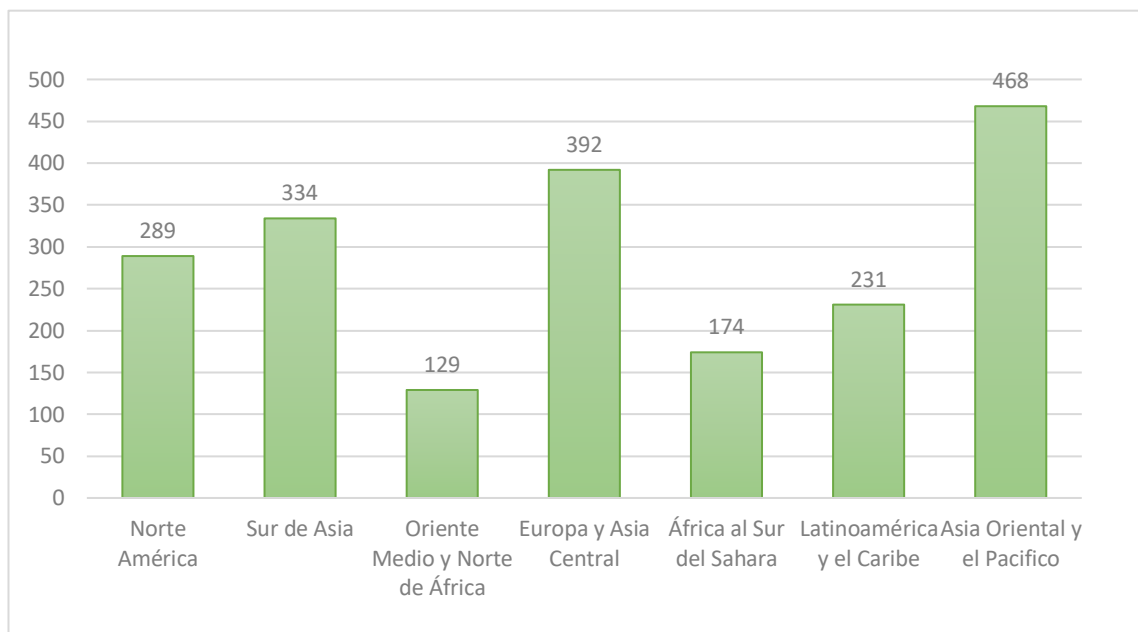
INTRODUCCIÓN

El desarrollo del mercado de los desechos se ha visto impactado por el crecimiento de la población y su efecto sobre el mayor consumo en las últimas décadas. Las variables importantes a evaluar en el mercado del reciclaje, son la oferta y demanda de estos materiales, que según datos del DANE para todo el país (Año 2011), los recicladores recuperaron 986.291.3 [t] equivalentes al 8.7 % y las empresas privadas un total de 893.726,7 [t] es decir el 7,9%, alcanzando una tasa nacional de recuperación del 16,5% en Colombia (Para el Reciclaje, C. E. 2011), cifra baja si se compara con la recuperación en países de Europa como Alemania.

De acuerdo con las cifras antes mencionadas, la cantidad de recupera en países como Colombia en baja. Es por esta razón que se ha venido desarrollando diferentes aplicaciones tecnológicas a nivel mundial, las cuales han permitido aprovechar de una mejor manera el material existente. Sin embargo, existen otras problemáticas de carácter social, económico y político asociadas a la recuperación y reciclaje de materiales aprovechables. Unas de estas problemáticas la viven los recicladores, ya que estos para su sostenimiento necesitan acceder a mayores volúmenes de material, diversificación de los materiales que hoy son recuperados, disminución en sus tiempos de trabajo y desplazamientos, entre otras. En las figuras 1 se pueden observar la cantidad de residuos generados anualmente por regiones y en la Figura 2 se puede observar las tasas de reciclaje en las mismas regiones según el Banco Mundial.

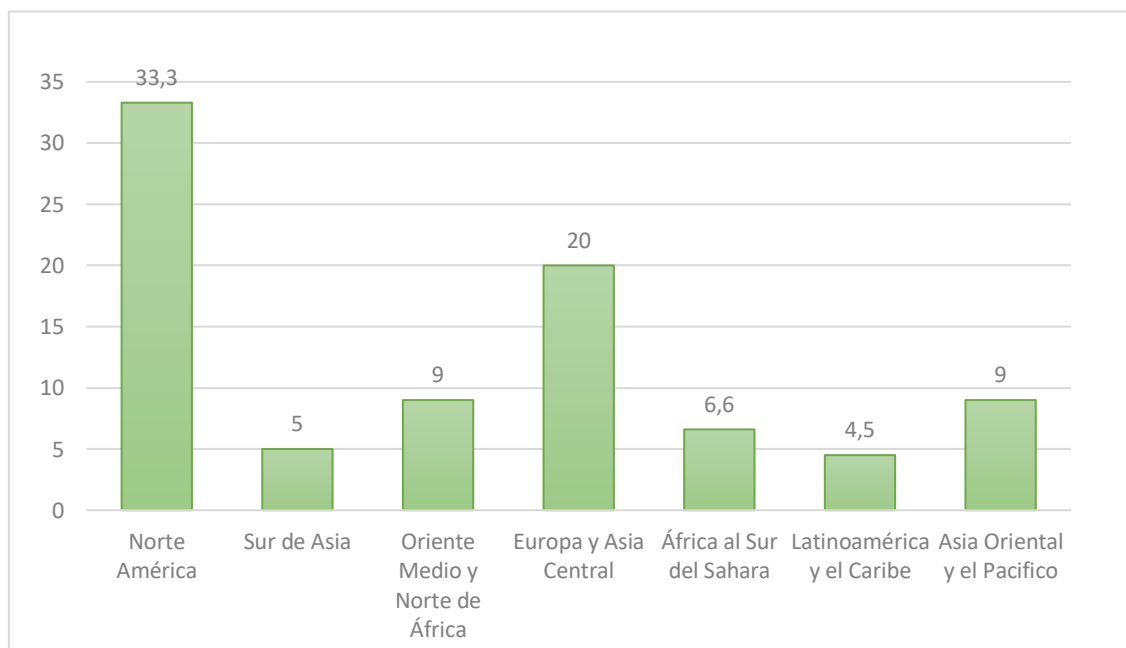
¹ Agradecemos el apoyo financiero brindado por el programa *“Inclusión productiva y social: programas y políticas para la promoción de una economía formal”*, código 60185, que conforma la Alianza EFI – Economía Formal Inclusiva, bajo el Contrato de Recuperación Contingente No.FP44842-220-2018.

Figura 1. Millones de toneladas de residuos generados anualmente



Fuente: elaboración propia con datos del banco mundial

Figura 2. Porcentaje de reciclaje por regiones



Fuente: elaboración propia con datos del banco mundial

1. RECICLAJE Y SU EVOLUCIÓN.

1.1 Descripción del reciclaje

El reciclaje, es una actividad económica que cada vez ha tenido mayor importancia, debido especialmente a su contribución en la solución de los problemas causados por la generación de residuos, los cuales son cada vez más complejos tanto por el volumen que estos representan, como por la variedad de materiales que se

derivan del excesivo número de productos, dispuestos en los mercados para satisfacer las crecientes necesidades de la población mundial.

La actividad del reciclaje es tan antigua como la misma naturaleza, lo que se evidencia en la forma como los desechos generados por plantas y animales han sido retomados en los ciclos biológicos, para renacer una y otra vez; sin embargo en los tiempos actuales, el reciclaje es una de las estrategias más empleadas por las sociedades para lograr sus objetivos de reducir los altos volúmenes de desechos o residuos y es en esta línea que el proceso de reciclaje, se entiende como una forma de aprovechar materiales que fueron empleados y aparentemente han cumplido su ciclo de uso. Dicho aprovechamiento de los materiales reciclados puede hacerse en la elaboración de nuevos productos y/o partes de ellos, o simplemente pueden ser empleados nuevamente y después de una modificación o mejora en la producción de los mismos bienes de los cuales provienen, como materiales de segundo uso.

El modelo de economía lineal, bajo el cual se ha desarrollado la de producción y consumo en el mundo, puede ser el punto de partida para entender el acelerado deterioro del medio ambiente que se da como consecuencia de la presión ejercida este modelo de producción sobre los recursos naturales y la desbordada generación de residuos, resultantes de un consumo desmedido por parte de una población mundial en crecimiento; frente a este panorama los países han encontrado en el reciclaje una posible solución a estas 2 problemáticas (André, F. J., & Cerdá, E. 2006), es decir un proceso de reciclaje adecuado, puede llegar a frenar el uso de recursos, si tiene la capacidad de aprovechar los diferentes materiales en nuevos procesos productivos por un lado y por el otro lado, un adecuado reciclaje permite el aprovechamiento de los residuos generados en el consumo, aportando a una disminución de la carga que ellos representan para los vertederos o rellenos sanitarios y por ende el medio ambiente. Pero cabe resaltar la importancia del reciclaje como una actividad económica que permite la creación de nuevos empleos, ingresos y materiales, de ahí el interés de los países en tener una legislación adecuada a través de la cual se posibilite el desarrollo permanente del mismo, pero también se debe resaltar la importancia del reciclaje como una variable de gran impacto en los modelos de producción; siendo así como la innovación aprovecha cada vez de forma más eficiente los residuos, y el papel de la ingeniería se hace más dinámico, cuando se enfoca en plantear nuevas formas de producción, en la que se disminuya la generación de residuos, aportando al mismo tiempo en una necesaria transición del modelo de economía lineal a un modelo de economía circular.

1.2 Historia del reciclaje

La actividad de reciclaje se asocia a la evolución misma de la civilización, en sus inicios (En tiempos A.C) la agrupación de individuos que se encontraba en estado nómada, fue pasando a una vida sedentaria en la cual se asentaron en unos espacios que dieron paso a poblados, en estos asentamientos se generaban residuos que debían ser eliminados para evitar la proliferación de plagas o factores adversos a su entorno; se incluyen además reseñas importantes que involucran otras especies, como lo plantea la revista digital de España ConcienciaEco, “hace 65 millones de años se extinguió el último dinosaurio del planeta, y la naturaleza los recicló para formar grandes bolsas de gas y petróleo”, es decir, el proceso de reciclaje data de tiempos remotos que fueron testigos de necesidades ajustadas a diversas sociedades. Se evidencia el desarrollo de diferentes prácticas, todas ellas de gran importancia para las sociedades en su objetivo de manejar o desaparecer la basura, con la aparición del fuego, se tuvo la posibilidad de incinerar cantidades importantes de basura, lo que resultó siendo de gran utilidad porque permitía una mejor acumulación de la misma; posteriormente se emplearon leyes para condicionar las acciones de las personas y obligarlas a hacerse cargo de los residuos que generaban (como es el caso de leyes sanitarias judaicas), por su parte los atenienses crearon leyes que exigían depositar la basura a 1,5 kilómetros de las ciudades, de allí surgió la idea de crear vertederos en los que se depositara toda la basura generada en un poblado; otra práctica empleada en la época de Platón, consistió en usar parte de los residuos generados para construir utensilios, cuando por alguna razón la materia prima escaseaba.

Para años más recientes, el invento del papel tuvo un importante efecto sobre el aumento en la generación de residuos sólidos, por ejemplo los chinos habían empleado la corteza de la morera para hacer papel, también (En el año 1.031 D.C) los japoneses empezaron a guardar el papel usado y posteriormente empezaron a darle otros usos, entre ellos la escritura de textos lo que indica que todos sus papiros están hechos en papel reciclado; también se conoce el caso de un empresario de Nueva Inglaterra que en el año 1.830 importaba, ante la escasez de la materia prima requerida en su producción, unas momias Egipcias, las cuales llegaban envueltas en linos que eran reciclados para ser utilizados en la producción de papel. Un ejemplo de reciclaje ancestral que también hay que resaltar, es el que tiene que ver con la generación de residuos de alimentos, los cuales fueron empleados en la producción de abonos (compostaje) utilizados para mejorar el rendimiento en los cultivos ya que los hacía

más fértiles, técnica que se fue perfeccionando al tiempo que mejoraba el almacenamiento y uso de los residuos en la producción de abonos a gran escala.

Para el periodo de la revolución industrial en el siglo XIX, el mundo moderno debió enfrentar grandes problemáticas por la aparición de mayores cantidades de desechos (ropa, metales, piedras entre otros) que se daban como consecuencia de las nuevas formas de producir, caracterizadas por menores tiempos, menores costos y mayores volúmenes de bienes diversos que al ser consumidos dejaban como resultados grandes cantidades de residuos, así la necesidad de eliminar estos residuos trajo consigo una respuesta inmediata, reciclar y reutilizar todos estos materiales desechos, para lograr así una disminución sobre los efectos causados al medio ambiente, situación que concentro en buena parte los esfuerzos de la sociedad en la búsqueda de mejores técnicas para reciclar y reutilizar materiales diversos salidos de las industria recién creadas.

Por su parte el siglo XX trajo consigo el modelo de consumo lineal, que consistía en comprar-usar-desechar, impulsando así la producción al ritmo del consumismo que imponían los mercados, a consecuencia de ello los llamados “vertederos” y/o actuales “rellenos sanitarios”, no pararon de recibir infinidad de desechos de todas las variedades y en toneladas alarmantes, pero también a raíz de estas problemáticas de contaminación y aparición de nuevos vertederos, las sociedades fueron haciendo más conciencia acerca de las problemáticas creadas en la generación de residuos, al tiempo que proponían el reciclaje organizado en todo el mundo como una forma de mitigar los efectos de las basuras al medio ambiente por una lado y de aprovechar residuos para bajar la presión a la naturaleza, por la desmedida explotación de materias primas por el otro. Para este siglo, un elemento importante a considerar, es el papel de los gobiernos, que fue determinante para impulsar el reciclaje en todo el mundo en el periodo entreguerras, campañas de concientización en relación con la importancia de disminuir la generación de residuos se empezaron a promover en todo el mundo, sin embargo en la segunda década del siglo la aparición de periodos de mayor auge económico le hicieron perder impulso al reciclaje como consecuencia de la capacidad de comprar que tenían las sociedades, así la obsolescencia programada se convirtió en un fuerte contrincante del reciclaje y la reutilización de materiales, también cabe resaltar como otro elemento de gran importancia la aparición de importantes movimientos ecologistas, que desde entonces actúan como grupos de presión para mejorar la protección del medio ambiente, llevando sus estrategias de protección a los consumidores y a los productores.

1.3 Reciclaje en Unión Europea, Estados Unidos y América Latina.

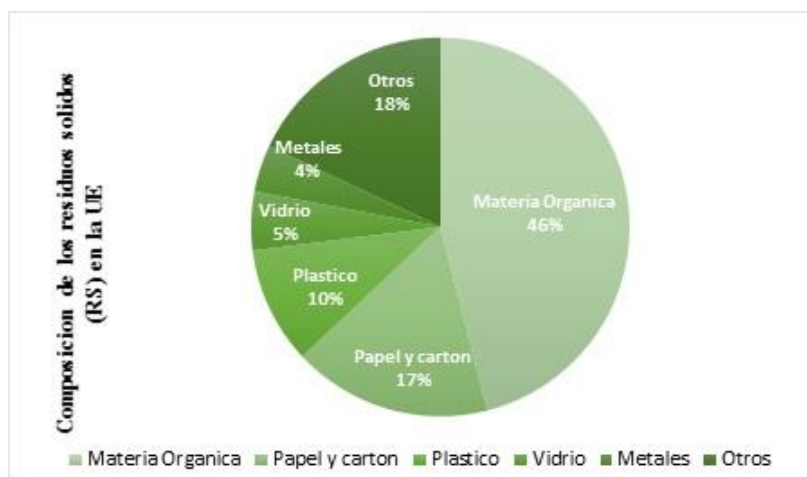
a. UNIÓN EUROPEA

La Unión Europea, se destaca como una de los grandes pioneros de reciclaje en el mundo, la revolución industrial, se convirtió en uno de los principales factores que explicaron este fenómeno, debido fundamentalmente a la producción a escala que se logró con la automatización de la producción y que trajo como consecuencia la generación de mayores volúmenes y nuevos residuos, adicionalmente es un referente en cuanto a legislación en el manejo del reciclaje, lo cual se evidencia en las decisiones tomadas por la mayoría de los países, que han adoptado medidas legales donde se obligan a los ciudadanos e industrias a cuidar el medio ambiente, una de estas medidas se dio en el año 1975, donde la Unión Europea presento la Directiva 75/442/EEC, en la cual se definía la obligación sobre gestión de residuos, también para el año 2018, Consejo de la Unión Europea planteo “**nuevas normas para la gestión de residuos y objetivos de reciclado jurídicamente vinculantes**”, en ellas se proponen metas de reciclaje y reutilización de residuos para el año 2025.

La amplia regulación que se ha desarrollado en la Unión Europea, ha dado origen a la importante industria del reciclaje, la cual se ha fortalecido en las últimas décadas, como consecuencia de las crecientes necesidades de protección al medio ambiente, las que exigen un cuidado permanente en el uso racional de los recursos naturales y frena por ende la carga que sobres estos pesaba como generadores de materias primas, adicionalmente la búsqueda de un modelo (Reid, A., & Miedzinski, M. Towards a circular economy. 2014) más amigable con el medio ambiente, ha permitido además del reciclaje, la reutilización, recuperación, rediseño, reparación, sean posibles y rentables, para los países de la Unión Europea que, en mayor o menor proporción, han aportado para la consolidación y crecimiento de esta industria del reciclaje.

Uno de los elementos de gran importancia sobre los que se ha trabajado en La Unión Europea, es en la identificación y/o composición de los residuos, en los que se han identificado 6 grupos de residuos que son metales, vidrio, plástico, papel cartón, material orgánico y otros desechos, los cuales corresponden a la totalidad del 100% y que aportan en los porcentajes que pueden verse en la figura 3.

Figura 3. Composición de los residuos en la UE



Fuente: Urban development series –Knowledge papers. WHAT A WASTE. Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata March 2012, No. 15

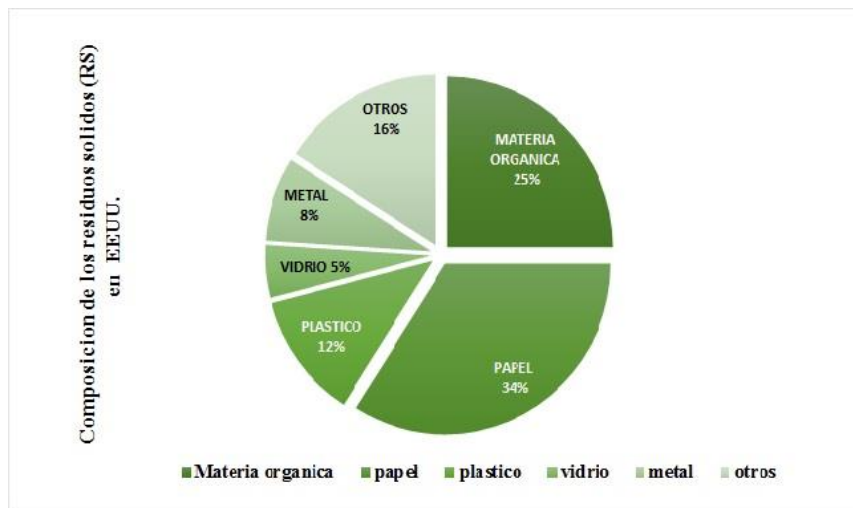
Un factor adicional de gran importancia que también debe ser considerado en el reciclaje que se desarrolla en la Unión Europea, es el que se refiere a las técnicas de reciclaje que se emplean, las cuales están directamente relacionadas con los tipos de residuos generados por países, lo que explica una especialización diferente en el manejo de residuos; de igual manera, estos residuos son usados en industrias que corresponden a zonas y/o países de acuerdo a sus particulares condiciones de consumo y dotación de factores productivos.

b. ESTADOS UNIDOS

El reciclaje de Estados Unidos se remonta también a siglos pasados, se calcula que desde finales del siglo XVII se dio inicio a la práctica del reciclaje, como una actividad familiar y continuo hasta finales del siglo XIX, donde las personas se hacían cargo de gestionar sus propios residuos, sin que se requiriera de legislación o medidas gubernamentales para lograrlo, este lapso de tiempo, ha sido denominado, como el primer periodo del reciclaje en Estados Unidos; los años comprendidos entre finales del siglo XIX y la década de los 60 y principio de los 70, fueron llamados el segundo periodo, y se caracterizó, por el establecimiento de normas y la implementación de las mismas (aparecen los gestores de residuos), se evidencia en este periodo la participación del estado en la recolección, transporte y procesamiento de los residuos, finalmente aparece un tercer periodo que se ubica desde los años 70 hasta los días actuales, este se ha caracterizado por ser una verdadera revolución en el manejo de los residuos donde individuos, empresas y gobiernos son los principales actores en la solución a la problemática de la generación de residuos que soporta el modelo de consumo capitalista, sin embargo es un periodo en el cual la basura o los residuos han cobrado una importancia determinante para la producción global, lo que puede verse en la disminución de efectos sobre el medio ambiente como consecuencia del uso de materias primas de segunda generación (residuos recuperados) y especialmente la necesidad de buscar nuevas formas de producción, donde la generación de residuos sea menor en la mayoría de los casos y/o permita el desarrollo de un nuevo paradigma “la economía circular” (De Kadt, M. 2000).

La regulación del reciclaje en Estados Unidos tiene como punto de partida una ley Federal que se presentó en 1.965 a través de la cual se regulo el manejo de residuos sólidos, sin embargo es relativamente flexible, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), ello se debe a 2 razones primordialmente, la primera es porque el reciclaje es un asunto de estados o regiones, por lo cual los presupuestos para desarrollar programas, depende de los ingresos de cada uno de estas localidades o regiones; la segunda razón se explica por el volumen de residuos y la calidad de los mismos en cada uno de los estados, que puede ser tan irrelevante que no despierta interés como una actividad económica viable, por estas razones la regulación, manejo y aprovechamiento de los residuos es variable en estados y localidades e incluso en diferentes comunidades en ese país. La composición de los residuos en Estados Unidos está dada, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Composición de los residuos en EEUU



Fuente: Urban development series –Knowledge papers. WHAT A WASTE. Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata March 2012, No. 15

Las estrategias que se siguen en estados Unidos para el manejo de los residuos, están basadas en la importancia que se ha dado a los mismos convirtiéndolos en una actividad económica de orden industrial, pero adicionalmente y a pesar de que la gestión de estos residuos está a cargo de los diferentes estados, se sigue una directriz del gobierno Federal a través de un enfoque denominado “Jerarquía”, el cual consiste en una herramienta que apoyada en la legislación federal está encaminada a lograr 4 objetivos primordiales, en un orden jerárquico así, el objetivo primordial es lograr la máxima reducción en la producción de residuos, el segundo objetivo en ese orden es promover el reciclaje a su máxima posibilidad, el tercero incinerar los residuos que hayan pasado por los objetivos anteriores sin lograr ser reducidos y reciclados, como cuarto y final objetivo se tiene la estrategia de llevar a los vertederos o rellenos sanitarios los residuos que no lograron ser reducidos, reciclados y/o incinerados (De Kadt, M. 2000).

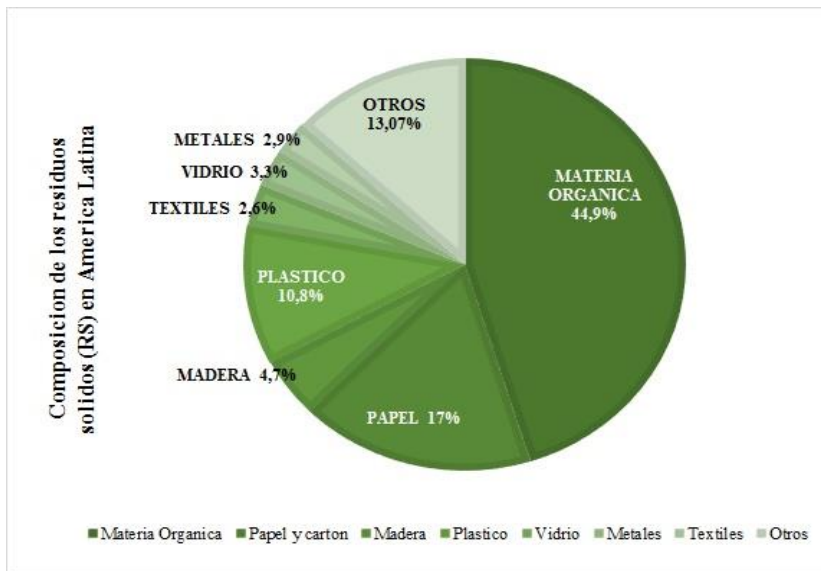
c. AMÉRICA LATINA

Según datos de la ONU a través de su programa de medio ambiente, aproximadamente un tercio de los residuos urbanos que son generados en América Latina, son llevados a rellenos sanitarios o son depositados en campos a cielo abierto, situación que genera una problemática por la contaminación al medio ambiente y los efectos nocivos sobre la salud pública de toda la población Latinoamericana, situación que no se ha logrado controlar, mientras aumento la generación de residuos de todas las características y la tasa o nivel de reciclaje es muy baja en la mayoría de los países del Sur de América; esta realidad podría explicarse por la ausencia de programas a través de los cuales se logre la disminución de residuos por parte de las empresas y personas; también podría explicarse por el bajo valor que durante décadas se ha dado a los residuos y que hace de la actividad del reciclaje, una actividad económica inviable, pero cabe también reflexionar si aun en América Latina la capacidad de reutilizar, recuperar y rediseñar, no han sido precisamente contempladas como una de las posibilidades que las industrias tienen, para obtener materias primas de segundo uso que puedan ser incorporadas a sus procesos de producción.

Cabe resaltar que desde antes de la década de los años 50, se ha desarrollado un importante auge de la urbanización de América Latina que se evidencia en el paso de 41% de habitantes en zonas urbanas en el año 1.941 al 77% en el año 2.000, cifras comparadas con Canadá, Estados Unidos y Europa, esta desplazamiento

de la población a las zonas urbanas, genero por un lado una gran presión sobre el medio ambiente que recibía cada vez mayores desechos y por el otro trajo como consecuencia un crecimiento importante en la industrialización que se encargó de crear una mayor demanda de materias primas, pero paradójicamente estas 2 situaciones explican como el reciclaje se convirtió en una actividad económica desde aquellos días, porque un grupo importante de la población urbana encontró que una buena parte de los residuos que generaban los habitantes, podían ser recuperadas y vendidas a las industria como materia prima (Medina, M. 1999). La composición de los residuos en América Latina está dada de la siguiente manera:

Figura 5. Composición de los residuos en América Latina



Fuente: Urban development series –Knowledge papers. WHAT A WASTE. Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata March 2012, No. 15.

Teniendo en cuenta que en América Latina, en la gran mayoría los países apenas se vienen desarrollando políticas públicas en torno al manejo de residuos, la estrategia que han seguido en relación con la gestión de los mismos, consiste en el desarrollo de programas que establecen las Municipalidades, a través de los cuales se hacen cargo de la recolección, transporte y disposición final, en la gran mayoría a vertederos y rellenos sanitarios dispuestos en puntos lo más lejanos posibles de las zonas urbanas, pero que de igual manera son focos de contaminación de difícil control y manejo. Adicionalmente la estrategia de recuperación informal de materiales reciclables se ha convertido en una opción de supervivencia para un 2% de la población, según datos del Banco Mundial (Bartone, C. 1988), sin embargo, esta práctica de recolección es desarrollada bajo condiciones precarias donde las poblaciones más vulnerables (ancianos, mujeres y niños) se exponen a contaminación y enfermedades, sin contar con la vinculación a sistemas de seguridad social alguno.

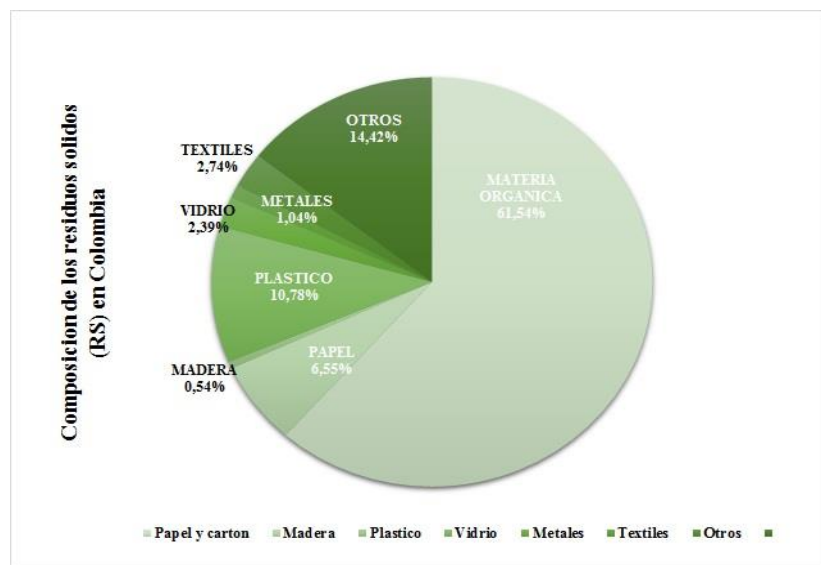
Finalmente, puede considerarse que también en América Latina, existe un sistema de gestión de residuos “jerarquizado”, en el cual se busca como acción primordial reducir la cantidad de residuos que se producen (lo que implica repensar la producción), seguidamente se enfoca en acciones de recuperación de materiales (en los casos que se hayan generado) para reutilizarlos y como última medida se encuentra, llevarlos a los rellenos sanitarios ubicados en los países y ciudades de América Latina.

2. DESARROLLO DEL RECICLAJE EN COLOMBIA

La actividad del reciclaje en Colombia, no se aleja de la realidad que vive el mundo, especialmente los países en vía de desarrollo, la urbanización del país en las últimas décadas ha contribuido de manera acelerada a la generación de residuos diversos por la concentración de una importante parte de la población desplazada desde el campo a las principales ciudades, con el aumento en la generación de más y nuevos residuos la problemática en el deterioro del medio ambiente ha crecido exponencialmente afectando tierra, aire y aguas, también la presión sobre los recursos naturales en las últimas décadas ha sido mayor, poniendo en peligro la sostenibilidad de las materias primas que soportan la actividad industrial, pero en medio de este panorama el reciclaje se ha presentado como una nueva actividad económica y tal vez la única para la supervivencia de un

importante número de Colombianos que derivan su sustento diario del aprovechamiento de los desechos; es importante resaltar que desde la constitución del 1.991 en Colombia se ha definido una política de gestión de los residuos que queda plasmada en las leyes 99 de 1.993 y 142 de 1.994 (Noguera, K., & Olivero, J. 2010), las cuales han tenido reglamentaciones posteriores con el fin de dar una pauta clara desde el gobierno nacional para el manejo de residuos en todo el país.

Los esfuerzos planteados en las últimas 2 décadas, desde las entidades gubernamentales y privadas, han estado enfocadas a lograr además de disminuir la generación de residuos, a hacer del reciclaje una actividad económica rentable, que permita dar un valor a los residuos al tiempo que los convierte en potenciales materias primas que soporten la producción del país mediante su aprovechamiento, actualmente la composición de residuos en Colombia está dada como se muestra en la figura 6.



Fuente: Urban development series –Knowledge papers. WHAT A WASTE. Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata March 2012, No. 15.

Entre las principales estrategias que ha seguido el país en su necesidad de crear una gestión de residuos eficiente, se encuentra al igual que en Estados Unidos y América Latina, una política de jerarquización que en una primera medida se ve reflejada en la implementación de las plantas de manejo de residuos sólidos (PMRS), las cuales tienen como objetivo fundamental lograr un mayor aprovechamiento y valoración de los residuos, esta estrategia permite que se logre un importante reconocimiento de los residuos que se producen en el país y los potenciales usos, además su ubicación crea unas especiales condiciones en el aprovechamiento de los residuos debido a que estos pueden variar entre localidades y/o municipios (Marmolejo, L. F., Torres, P., Oviedo, E. R., Bedoya, D. F., Amezquita, C. P., Klinger, R., ... & Diaz, L. F. 2009). Una segunda medida en la política jerarquizada en la gestión de residuos del país, se encuentra el reciclaje, en este el papel de los recicladores es, ha sido y será fundamental, de acuerdo a estudios sobre reciclaje en Colombia, se identifican 3 momentos, el primero el comprendido entre los años 70 y la constituyente del 91, el segundo desde el año 1.991 hasta el año 2.003 y el tercero desde 2.003 hasta momentos actuales (Oscar, J. 2014)

Finalmente en la política de jerarquización se encuentran los rellenos sanitarios, para este caso, se ha definido la implementación del plan de gestión integral de los residuos sólidos (PGIRS), el cual consiste en un plan que deben desarrollar los municipios, el cual está encaminado a dar el manejo más adecuado a los residuos sólidos producidos en cada uno de ellos, proponiendo el aprovechamiento al máximo de los residuos o la disminución de los mismos; se puede afirmar que el objetivo que se persigue, tiene como finalidad eliminar los botaderos de basura a cielo abierto y mejorar el uso de disposición el los rellenos sanitarios en todo el territorio nacional, sin desconocer las características propias de cada localidad. (Oscar, J. 2014).

3. USO DE LA TECNOLOGÍA EN EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS

3.1 Dispositivos tecnológicos en el proceso de reciclaje

A lo largo de los años el proceso del reciclaje ha evolucionado, y con él los dispositivos que se usan para facilitar dicha tarea, pues con la llegada de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, es mucho más fácil aprovechar los residuos. El proceso del reciclaje inicia desde la separación en la fuente o lugar donde están los residuos y llega hasta la disposición final de estos; así mismo los dispositivos tecnológicos en este proceso pueden ser usados desde la separación del material hasta la disposición final, dado que existen aplicaciones móviles, softwares, maquinaria con tecnología de punta, etc.

La tecnología en el proceso del reciclaje puede clasificarse de diferentes maneras:

- **Según la parte del proceso donde intervengan:** separación, clasificación, selección, transporte, pesaje y trituración.
- **Según el uso:** doméstico o industrial.
- **Según su naturaleza:** aplicación, dispositivo, modelo, etc.

3.2 Aplicaciones tecnológicas para recuperación de materiales

Algunas de las estructuras de medición acá mencionadas, se basan en sistemas robotizados que mediante sensores, actuadores y comunicación (software), ayudan en el almacenamiento, separación, clasificación, pesaje, entre otros, para aumentar el aprovechamiento del material recuperable. En la **Tabla 1** se muestra un resumen de algunos dispositivos tecnológicos en el mundo, la información está organizada por lugar de aplicación, objetivo, restricciones y link de referencia.

Tabla 1: Cuadro resumen de dispositivos y aplicaciones en el mundo.

Aplicación	Objetivo	Restricciones	Referencia
Canadá	Proporcionar un centro de reciclaje móvil que comprenda un remolque multipropósito remolcable.	Vehículo con semirremolque que posee un brazo articulado para almacenar los residuos después de pesarlos mediante elevación.	(Patent No. CA2886278, 2016)
Chile	Almacenar y transportar residuos.	Necesita vehículo y no pesa el material.	(Eurotek, 2012)
China	Proporcionar un contenedor de clasificación de basura controlado a distancia.	Se debe tener un dispositivo móvil para escanear el código QR y que el aparato funcione.	(Patent No. CN206218563, 2017)
China	Proporcionar un dispositivo de reciclaje con un sistema de control inteligente.	Solo se accede con la tarjeta de usuario, muestra publicidad en la pantalla de visualización y no es de gran tamaño.	(Patent No. CN103538831A, 2014)
China	Proporcionar un dispositivo de procesamiento de reciclaje de piezas plásticas de desecho informático.	No pesa el material, solo separa plástico de metal.	(Patent No. CN108116818 (A), 2018)
China	Mostrar un caso doméstico de reciclaje de plásticos.	No pesa el material.	(Patent No. CN205345914 (U), 2016)
Ecuador	Desarrollar una aplicación móvil para el proyecto ReciVeci de Quito.	No pesa el material, solo funciona en Quito, necesita conexión a internet.	(Cáceres Almeida & Lasso Viracocha, 2018)
España	Almacenar residuos.	Necesita vehículo y no pesa el material.	(Grau Maquinaria, 2019)

España	Almacenar y transmitir datos de capacidad (volumen) en tiempo real.	Solo almacenan un tipo de residuo a la vez, no hace separación.	(Navarro Macias, 2017)
España	Incrementar al menos un 15% la recogida selectiva.	Solo se puede almacenar un tipo de residuo en cada contenedor, es decir, no clasifica los residuos.	(Quelart, 2015)
España	Recepcionar, trocear, prensar y almacenar el material a reciclar, con la particularidad de que se otorga a la persona que deposita los residuos un ticket para un posterior uso con fines económicos o comerciales.	Un vehículo recoge solo un tipo de material.	(Patent No. ES1076183 U, 2011)
Estados Unidos	Ofrecer una gestión inteligente de residuos y una infraestructura de comunicaciones de host.	No paga por el material reciclado.	(Bigbelly, 2018)
Holanda	Acabar con los robos de contenedores y con las fechorías de los ciudadanos poco solidarios que tiraban la basura en el cubo del vecino para así evitar pagar el impuesto de limpieza correspondiente.	No paga por el material reciclado, sino que hay que pagar según el peso del material que no es reciclable.	(Arnaz, 2012)
Hong Kong	Inspirar a los usuarios a reciclar.	No pesa el material ni lo separa, requiere conexión a internet.	(Naskova, 2017)
Italia	Facilitar la recolección y el reciclaje de residuos tanto en el hogar como en público.	Es de poca capacidad.	(RecycleBot, 2015)
México	Lograr contribuir significativamente a nuestro medio ambiente dentro de nuestra institución y en la sociedad de una manera positiva.	No pesa el material.	(Valles Chávez, Alemán Cuellar, & Alcantar Olguin, 2014)
México	Automatizar el reciclaje de residuos sólidos urbanos.	Es muy costosa y es solo para la empresa, no le sirve al reciclador.	(Ciateq & Ingenia 4ti, 2017)
Perú	Conocer los lugares donde pueden dejar sus desechos reciclables.	No hay ningún tipo de incentivo y no se pesa el material.	(El popular, 2019)
Taiwán	Proporcionar un contenedor de basura con control remoto y memoria de ruta.	No pesa el material.	(Patent No. TW201102329 A, 2011)
Suiza	Proporcionar un contenedor de recogida de residuos para materiales reciclados, latas, botellas de plástico y vidrio.	No pesa el material.	(Patent No. CH694458 (A5), 2005)

En la **Tabla 2** se muestra un resumen de algunos dispositivos tecnológicos en el Colombia, la información está organizada por lugar de aplicación, objetivo, restricciones y link de referencia.

Tabla 2: Cuadro resumen de dispositivos y aplicaciones en Colombia.

Aplicación	Objetivo	Restricciones	Referencias
Colombia	Desarrollar un prototipo de una aplicación móvil enfocado en el proceso de recolección de materiales reciclables en la localidad de Teusaquillo.	No pesa el material, no genera incentivos, la notificación solo le llega al reciclador por mensaje de texto.	(Martínez Juyar & Córdoba Bermúdez, 2019)
Colombia	Desarrollar una aplicación de software móvil, que a través de las mejores prácticas y haciendo uso de tecnologías existentes, permita al usuario ubicar puntos de acopio, leer el código de barras de algunos de sus desechos, ubicar el punto de acopio por medio de waze y google maps, para de esta manera permitir la difusión de los planes de reciclaje de la ciudad de Bogotá.	No pesa el material, no lo clasifica y no brinda incentivos a los usuarios.	(Melo Murcia & Rojas Reyes, 2015)
Colombia	Mejorar la adecuada disposición y clasificación de residuos en espacios públicos como universidades, restaurantes y hospitales.	Almacena poca cantidad, no pesa el material, costo 400.000 pesos.	(Patarroyo & Bermúdez, 2018)
Colombia	Diseñar y construir un prototipo de caneca recicladora que identifique el material de la basura y almacene de manera automática esa basura en un contenedor indicado para dicha materia	No pesa el material, solo lo separa.	(Ballén Forero & Velosa Prieto, 2015)
Colombia	Desarrollar un sistema automático de reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico de recolección de basuras.	No pesa el material, tiene poca capacidad.	(Díaz Colorado & Caldas Vega, 2018)
Colombia	Contribuir a la adecuada clasificación de las basuras.	Solo clasifica 3 tipos de material, no lo pesa y el precio está entre 3 y 4 millones de pesos colombianos.	(Catorce6, 2016)
Colombia	Diseñar y construir un contenedor de desechos el cual monitorea constantemente el peso, llenado y tiempo de permanencia de los desechos.	No separa el material.	(Montaña, Gambo, & Novoa, 2016)
Colombia	Promover el reciclaje de cartón, vidrio y otros residuos.	Hay que ir hasta el punto y entregar el material al encargado.	(Jimenez, 2017)
Colombia	Apoyar el reciclaje inteligente.	Solo funciona con PET y latas.	(Effiteco SAS, 2017)

Colombia	Apoyar y generar una colaboración entre diferentes actores, privados y estatales, para modernizar la buena gestión de residuos en el país.	Los usuarios son quienes agregan los puntos de recolección y en ocasiones la dirección es incorrecta.	(RecyPuntos, 2013)
Colombia	Proporcionar un material absorbente biodegradable para la recolección, tratamiento y disposición de desechos orgánicos y proceso de obtención del mismo.	Solo desechos orgánicos.	(Patent No. WO2019116126 (A1), 2019)
Colombia	Proporcionar un método para producir materiales cementantes elaborados a partir del reciclaje de residuos industriales de los procesos de fabricación de cerámica y ladrillos.	Solo residuos industriales y de construcción.	(Patent No. WO2018055441 (A1), 2018)
Colombia	Proporcionar un método para la transformación total de los residuos sólidos urbanos y desechos electrónicos domésticos.	No pesa el material.	(Patent No. WO2014033502 (A1), 2014)
Colombia	Salvaguardar la salud de la sociedad evitando que los artículos desechados que han sido infectados con sustancias patógenas, biológicas y patológicas se vuelvan a colocar en el mercado o se lancen a cualquier parte exponiendo a la población a infecciones por personas sin escrúpulos que evaden fácilmente el uso de contenedores convencionales.	La aplicación es para desechos de uso hospitalario y otros lugares donde existan residuos patógenos, biológicos, etc., no pesa el material.	(Patent No. WO2012140481 (A2), 2012)

En todos los casos descritos anteriormente, se evidencia el uso de la tecnología para el aprovechamiento de material recuperable, pero estas aplicaciones por sí solas son insuficientes para la cantidad de residuos sólidos que generan. Es necesario integrar estos sistemas con estrategias de optimización logística, las cuales tendrían un impacto directo en el ámbito económico y social, pero también deben de estar acompañadas de políticas públicas integrales encaminadas a lograr un mayor bienestar en la población, disminución del impacto ambiental y aumento de los recursos económicos de los que participan del proceso.

3.3. Importancia del diseño de rutas eficientes

En la recolección de residuos, el diseño de rutas eficientes es de gran importancia, pues permite que el proceso de recolección del material se realice de manera eficiente, impactando directamente en la reducción de los tiempos de recolección, ahorrando de combustible mediante rutas selectivas, reducción de material contaminante generado por los vehículos y mejora en el desplazamiento en los cascos urbanos, ya que saldrían algunos vehículos de las vías. Por lo antes mencionado, es necesario disponer de tecnología que facilite obtener información (datos) en tiempo real como cantidad de material almacenado en los contenedores, aseguramiento del material, desplazamientos de vehículos (georreferenciación), entre otras variables. A su vez, con esos datos se podría implementar modelos de optimización para la toma de decisiones en cuanto a sus redes logísticas se refiere; algunas de estas aproximaciones se describen a continuación.

En los últimos años, se han venido planteando diferentes algoritmos que permitan la optimización de rutas y la eficiencia en el proceso del reciclaje. Sin embargo, dichos algoritmos difieren de la realidad de cada empresa, y por eso se hace necesario plantear rutas verdaderamente eficientes que optimicen el tiempo de trabajo de todos los actores involucrados en el proceso. En la **Tabla 3** se muestran algunos modelos de optimización logística en el ámbito mundial.

Tabla 3: Cuadro resumen de modelos de optimización logístico.

Publicación	Metodología	Objetivo	Restricciones	Referencias
Modelado para el diseño de rutas en un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos.	MVRPW (Múltiple vehicle routing problem with time Windows, Problema de diseño múltiples rutas con ventanas de tiempo).	Describir un modelo matemático para la resolución de la recolección de residuos urbanos sólidos mediante una flota de camiones con capacidad conocida y minimizando el tiempo y el número de recursos necesarios.	El camión no puede superar el tiempo asignado, se recogen máximo 3 contenedores por viaje.	(Racero Moreno, Eguía Salinas, García Sánchez, & Villa Caro, 2008)
Diseño de sistema logístico de transporte para la recolección de materiales reciclados en la localidad de Engativá con la empresa Compapeles Milenium	Cuantitativa con enfoque correlacional CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) básico con algunas características de PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem).	Diseñar un sistema logístico de transporte para la recolección de materiales reciclados en la localidad de Engativá con la empresa Compapeles Milenium, reduciendo los costos de movilidad, capacidad y tarifa entre los puntos del sistema.	Restricciones de continuidad y capacidad.	(Castillo Patarroyo & Cerquera Bravo, 2012)
Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte	Métodos heurísticos y VRP (Vehicle routing problem).	Minimizar tiempos y costos en el proceso de entrega y recogida y en general los costos totales de toda organización, agregando valor al producto a entregar	Capacidad del vehículo, velocidad, números de clientes a atender, horario de salida y regreso de los vehículos al depósito central.	(Bermeo Munoz & Calderón Sotero, 2009)
Nuevas cadenas de transporte de mercancías generadas por las infraestructuras logísticas de intercambio modal	Análisis y descripción de las plataformas logísticas y la integración a cadenas de transporte.	Desarrollar conceptualmente la relación entre el transporte y la logística, así como describir y enumerar las nuevas tipologías de plataformas logísticas.	Capacidad del vehículo y normatividad vigente.	(González Cancelas, 2016)

Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos	Método de las restricciones para obtener la frontera de Pareto.	Construir un modelo de programación no lineal entera mixto (MINLP) que conjugue objetivos económicos y ambientales con el fin de obtener un diseño de la cadena de suministros para la recuperación de múltiples productos que facilite una gestión sostenible del reciclaje.	Localización, capacidad de instalaciones, asignación de viajes, capacidad de los medios de transporte.	(Feitó Cespón, Cespón Castro, & Rubio Rodríguez, 2016)
Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística Inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos.	Conceptualización de un programa de logística inversa, basándose en análisis que pueden ser cualitativos y cuantitativos, solo dependiendo de la calidad de la información que se obtenga.	Dar una revisión a uno de los puntos de enfoque de la cadena suministro, conocido como logística inversa.	Normatividad vigente, capacidad, ubicación.	(García Olivares, 2004)
Caracterización del nuevo esquema "basura cero" transporte de reciclaje en la ciudad de Bogotá	Descripción de los aspectos más importantes de la implementación del esquema de reciclaje "basura cero".	Realizar una reflexión sobre el incipiente esquema de reciclaje que ha adoptado la ciudad de Bogotá, "programa basura cero" y la problemática presentada por el nuevo modelo de recolección de residuos sólidos.	Capacidad, localización y normatividad vigente.	(Romero Trigos, 2015)
Baños portátiles empresa de servicio: optimización de rutas de recolección mediante modelo matemático	VRP (Vehicle Routing Problem)	Diseñar un modelo matemático que permita optimizar el servicio de recolección de desechos de los baños portátiles en la ciudad de Guayaquil.	Capacidad, circulación, tiempo, normatividad.	(Bonilla Villalta & Trávez Zambrano, 2016)
Optimización de rutas de recogida de residuos en zonas mixtas urbano-rurales y orografía singular	CARP (Capacitated Arc Routing Problem) y metaheurística	Modelar y solucionar un problema de planificación óptima de rutas de recogida de residuos en municipios que combinan zonas rurales y urbanas.	Ubicación, capacidad, tiempo.	(Afonso Llorente, 2014)
Optimización de rutas de vehículos con entrega y recolección con múltiples objetivos	Métodos heurísticos y metaheurísticos para desarrollo de algoritmos	Desarrollar e implementar un algoritmo de BD que resuelva el PCTFR multiobjetivo de manera eficiente en cuanto a tiempo y calidad de la solución y obtener frentes de Pareto amplios para dichas soluciones.	Clientes, vehículos, demanda	(Fernández García, 2019)
Optimization of Municipal Waste Collection Routing: Impact of Industry 4.0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability	Algoritmo de murciélagos (BA), basado es un algoritmo heurístico.	Proponer un modelo matemático para el sistema de gestión de residuos	Efecto invernadero y problemas ambientales.	(Bányai, Tamás, Illés, Stankevičiūtė, & Bányai, 2019)

Applications of artificial intelligence in transport: An overview.	Inteligencia artificial y lógica Difusa	Superar los desafíos de una creciente demanda de viajes, emisiones de CO2, problemas de seguridad y degradación ambiental	Alto costo, falta de privacidad y complejidad.	(Abduljabbar, Dia, Liyanage, & Bagloee, 2019)
A comparison of the transport requirements of different curbside waste collection systems in Denmark	Diseño Experimental, Análisis comparativo de los cuatro sistemas de recolección de residuos.	Proporcionar nuevos conocimientos y apoyo para la toma de decisiones a las entidades municipales en Dinamarca mediante la comparación de sus diferentes aceras sistemas de recogida de basuras.	Poca información.	(Zbib & Wøhlk, 2019)
Mejora en el proceso de enturnamiento Botero Soto	Metodología cuantitativa	Proponer mecanismos que permitan mejorar el enturnamiento de los vehículos de carga.	Falta de software y deshonestidad.	(Galindo Mendez & Calderón Montenegro, 2017)

En este contexto, las ciudades se han visto abocadas a encontrar soluciones que permitan la optimización en la toma de decisiones en cuanto a sus redes logísticas en la recolección de material (basuras), trayendo como resultado el uso de métodos de optimización de redes logísticas para el transporte de personas, materiales, mercancías, entre otros. Sin embargo, se evidencia que, en el ámbito de las grandes urbes, el manejo de los residuos trae nuevos retos a resolver en el orden social, legal, económico y logístico.

3.4 Potenciales efectos de la tecnología sobre el manejo de los residuos

En medio de la cuarta revolución industrial, la tecnología juega un papel muy importante, pues con la implementación de conceptos como el internet de las cosas, las empresas deberán migrar al uso de maquinaria automatizada y dispositivos tecnológicos que las ayuden a ser más eficientes. En el caso de las empresas dedicadas al aprovechamiento de residuos, los efectos no serán tan buenos, pues mientras haya maquinas que le permitan a la gente cambiar residuos reciclables por bonos y otro tipo de beneficios, disminuirá notablemente el material que ellos puedan recolectar.

En este sentido, entender la dinámica de los nuevos consumos, así como la problemática de una mayor generación de desechos y encontrar soluciones a través de los cuales el reciclaje, el transporte del material, la recuperación y reutilización, permitirá encontrar alternativas para mejorar los impactos al medio ambiente, al tiempo que propicien verdaderas cadenas de valor que incluyan la mano de obra de los recicladores como un componente importante y que además lo refleje en el bienestar y mejor calidad de vida de una masa de trabajadores que se encargan de recuperar materiales.

4. CASO COOPERATIVA RECIMED

Después del censo de recicladores del año 2005, varios recicladores de Medellín deciden unirse y en el año 2006 crean una asociación. En el 2011 después de algunos años de trabajo esta asociación recibe la aprobación para ser cooperativa, pero los años siguientes fueron no fáciles y pasa por una reestructuración que solo hasta el 2014 le permite recuperarse. En el año 2016 con el decreto 596 del ministerio de vivienda, ciudad y territorio, la cooperativa inicia su camino hacia la formalización y posteriormente recibe la autorización para prestar el servicio de aprovechamiento. Desde entonces ha crecido considerablemente y en la actualidad cuenta con 3 Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECAs) y más de 600 asociados en toda el Área Metropolitana del Valle de Aburra.

Un estudio de caso. Marco de Colombia Científica- Alianza EFI

En el marco de los programas adelantados como parte de la política de investigación impulsados por el gobierno y su constante interés en dar respuesta a las necesidades de comunidades vulnerables, se da inicio a la alianza EFI entre la Universidad del Rosario, la Universidad de Antioquia, la Universidad Autónoma Latinoamericana, la Universidad de Quindío, la Universidad Minuto de Dios, la Universidad de Ibagué y la Universidad del Valle, como parte de un proyecto que tendrá una duración de 4 años, en los cuales se desarrollaran varios programas de manera simultánea, para comprender las características bajo las cuales se desarrollan actividades de tipo económico bajo altos niveles de informalidad y es precisamente la actividad de reciclaje y sus características de informalidad, las que dan origen a una iniciativa que vincula como aliado estratégico a la Cooperativa RECIMED. La alianza parte de las capacidades de gestión que la Cooperativa RECIMED y sus afiliados han desarrollado durante décadas en el manejo y aprovechamiento de residuos en Medellín y Colombia, gestión que le ha dado el posicionamiento como una de las Cooperativas más importantes de la ciudad; adicionalmente la alianza aporta importantes recursos financieros y capacidades humanas de las diferentes universidad para adelantar los estudios que permitan tener una mayor comprensión del fenómeno del reciclaje como una actividad económica de la que un importante de personas de bajos recursos, derivan el sustento para su supervivencia.

4.1 Reciclaje y calidad de vida.

a. Contextualización.

Actualmente Colombia cuenta con un marco legislativo para la gestión y tratamiento de residuos, ello puede verse a través de la “Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos”, en la cual se establecen parámetros mínimos que se deben implementar, con el fin de llevar a cabo un adecuado manejo y gestión de los residuos sólidos en el país. Es importante considerar la Resolución 541 de 1994 y la Ley 1259 de 2008 (Congreso de la República, 2008) donde se deja claridad en lo relacionado con las medidas que deben seguirse en esta materia, también es clave decir que a pesar de todo lo positivo de que exista la normativa legal, muchas de estas leyes se han formulado aprovechando la legislación de otras naciones, cuyas economías son mucho más desarrolladas, de tal modo que su aplicación en Colombia puede resultar infructuosa como consecuencia de las diferencias entre países, en las cuales se incluye por ejemplo, la cultura en los temas ambientales de sus habitantes como parte integral de su desarrollo (Hincapié, A., y Aguja, E. 2003).

Sin embargo pese a esta legislación y de acuerdo a los datos presentados en diferentes estudios desarrollados en las principales ciudades de Colombia, se puede observar que el trabajo de los recicladores es una actividad que se desarrolla en condiciones de alta precariedad e informalidad, donde las personas no cuentan con las mínimas condiciones de protección en lo que a salud y pensión se refiere (Rodríguez, M., & del Pilar, M. 2018), así mismo se evidencia un nivel educativo bajo en el grupo de recicladores que dedican largas horas a desarrollar su actividad económica recolectando materiales que serán empleados en diferentes procesos industriales en la ciudad, situación que pone en evidencia una oportunidad para revisar las condiciones bajo las cuales se desarrolla la actividad económica del reciclaje, las condiciones de los trabajadores de esta importante industria y las condiciones socioeconómicas que empiezan a convertirse en un factor de fundamental importancia para desarrollar políticas públicas tendientes a crear condiciones más justas y tendientes a mejorar los niveles de recolección y aprovechamiento de los residuos que cada vez son mayores y se proyecta tendrán un crecimiento exponenciales en los próximos años.

En Colombia y en el mundo, la actividad del reciclaje ha sido durante décadas una alternativa para la generación de recursos a una parte de la población que encuentra en esta actividad una posibilidad para la generación de ingresos, así cada eslabón en la cadena del reciclaje como son la recolección y en algunos casos la recuperación de los residuos, representan una fuente de ingresos para la supervivencia de familias enteras. En la ciudad de Medellín la actividad de reciclaje, es desarrollada por un número importante de hombres y mujeres (y en algunos casos niños) que tienen esta actividad económica como base de sus ingresos; en este contexto para la Cooperativa RECIMED, conocer las características socioeconómicas, las condiciones específicas sociales y la calidad de vida de sus asociados, es parte de la misión que en su desarrollo Empresarial vigilan, la industria del reciclaje al nivel global se encuentra diferenciada por los actores principales que participan en ella y se hace evidente que distan mucho de ser los mismos en los países desarrollados a aquellos que participan en países con economías emergentes: mientras que en los primeros, la cadena productiva del

reciclaje es dominada por grandes industrias, en los países en vía de desarrollo, los protagonistas se encuentran en el sector informal y generalmente, hacen parte de la base de la pirámide social (Rodríguez, M., & del Pilar, M. 2018).

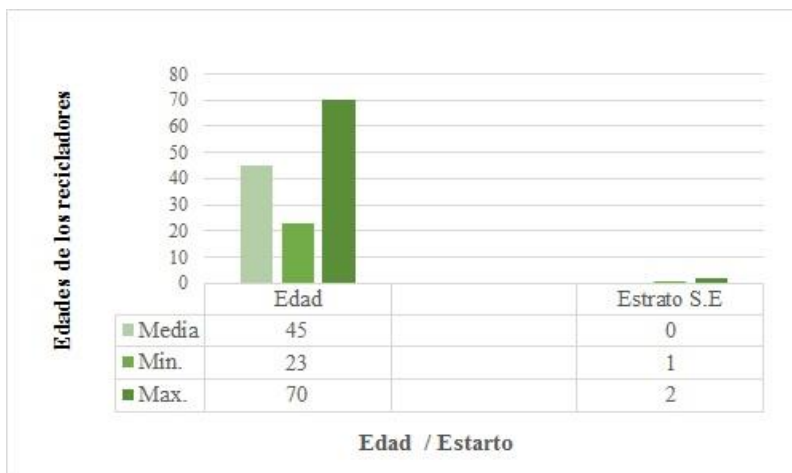
b. Análisis socioeconómico RECIMED

En el marco del proyecto de investigación de la alianza EFI y Colombia científica, se ha desarrollado un primer análisis sobre las condiciones socioeconómicas bajo las cuales desarrollan sus actividades de reciclaje, los hombres y mujeres asociados a RECIMED; a partir de la información obtenida se logra tener datos importantes para entender la realidad socioeconómica de los recicladores. A continuación, se presentan los datos más relevantes obtenidos en el análisis de la encuesta aplicada por la cooperativa RECIMED a un grupo de sus recicladores afiliados en cuanto a edad, estrato socioeconómico, género, estado civil, tipo de vivienda y responsabilidad en el sostenimiento, ingresos y personas a cargo.

✓ EDAD Y ESTRATO SOCIOECONOMICO

Según los datos obtenidos en la encuesta aplicada a los recicladores, se evidencia que la edad promedio de este grupo de personas es de 45 años, distribuidos en un rango amplio, ya que en los recicladores se encuentran en edades que van desde los 23 hasta los 70 años, sin embargo, el 75% de los recicladores tiene una edad igual o menor a 56 años. También se observa que la mayoría de los recicladores pertenecen al estrato socioeconómico 1, donde están ubicados el 26% de los recicladores y para el estrato 2 se tiene en total restante que es el 74%, como se ve en la figura 7.

Figura 7. Edad y estrato de los recicladores



Fuente. Encuesta aplicada por RECIMED.

✓ GÉNERO Y ESTADO CIVIL DE LOS RECICLADORES

El 68.8% de los recicladores asociados a la Cooperativa RECIMED, son hombres y el 31.2% son mujeres; igualmente al indagar por su estado civil se pudo tener un mapa así, solteros 26.3%, unión libre 38.2%,

divorciados 17.2%, casados 12.3% y el restante 11.4% manifestó ser viudo(a), esta información se puede evidenciar en la tabla 2. Que se muestra a continuación en la figura 8.

Figura 8. Género y estado civil de los recicladores

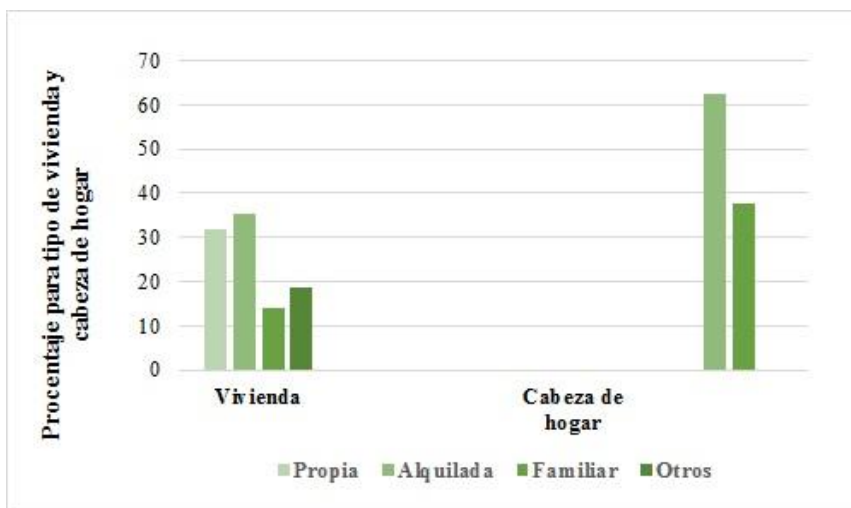


Fuente. Encuesta aplicada por RECIMED

✓ TIPO DE VIVIENDA Y RESPONSABILIDAD EN EL SOSTENIMIENTO

Se puede observar que el 62.3% de recicladores encuestados son cabeza de familia y el restante 32.7 tiene solo responsabilidad de aportar en algunos casos; adicionalmente el 32% vive en casa propia, el 35.3% paga arriendo, un 13.9% habita casa familiar y el 18.8% vive en una habitación, hostel y/o donde le permitan quedarse. Esta información puede verse en la figura 9

Figura 9. Tipo de vivienda y responsabilidad familiar



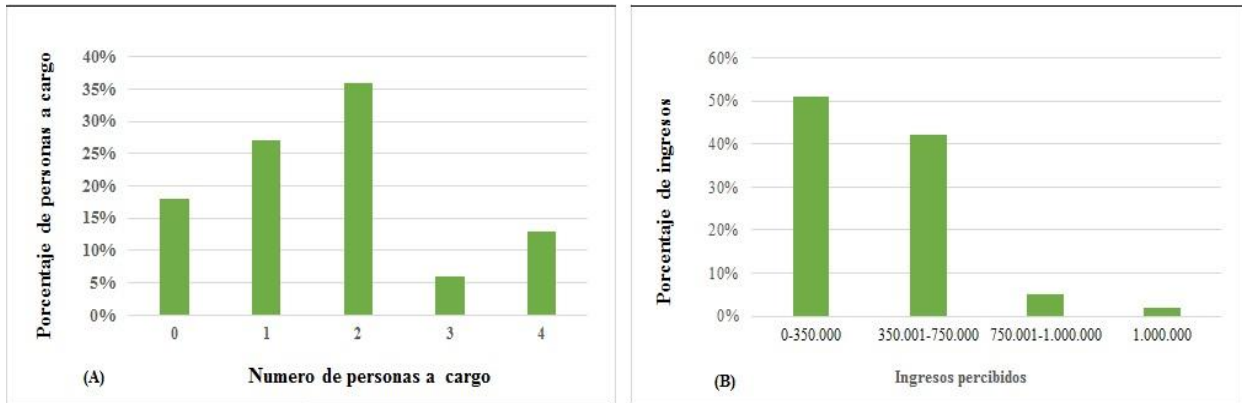
Fuente. Encuesta aplicada por RECIMED

✓ INGRESOS DE LOS RECICLADORES Y PERSONAS A CARGO

De acuerdo a la información recibida de los recicladores asociados a la Cooperativa RECIMED, se puede evidenciar que solo el 18% de ellos no tiene personas a cargo, el 27% tiene una persona, el 36% tiene a su cargo 2 personas, el 6% tiene 3 personas y el 13% restante tiene 4 o más personas a cargo, en la Figura 7. (A) se muestra esta información.

Según datos recibidos sobre los ingresos puede evidenciarse que el 51% de los recicladores tiene un ingreso menor a 350.000\$, un 42% tiene un ingreso superior a los 350.000\$ pero inferior a 750.000\$, un 5% gana desde este último valor hasta 1.000.000\$ y solo el 2% tiene ingresos superiores a 1.000.001\$, como puede verse en la Figura 9. (B).

Figura 10. Ingresos y personas a cargo de los recicladores



Fuente: Encuesta RECIMED

Teniendo en cuenta los datos anteriores, que dan cuenta de la difícil situación que enfrentan los recicladores asociados a la Cooperativa RECIMED, que no es muy lejana de la que enfrentan todos los recicladores del país, se ha definido como objetivo principal en la investigación, analizar fundamentalmente 2 frentes, el primero consiste en estudiar rutas eficientes que permitan disminuir el tiempo de trabajo de los recicladores al tiempo que puedan mejorar sus ingresos, impactando de manera positiva su calidad de vida. El segundo frente está enfocado en definir unas estaciones fijas que permitan aumentar los tiempos de recolección y separación de los recicladores, al tiempo que le genere una información permanente sobre la recolección de materiales, tanto a recicladores como a RECIMED.

Resultados

En los inicios del programa Colombia Científica y Alianza EFI, se ha podido encontrar mediante el análisis de diferentes rutas discutidas con la dirección de RECIMED, los posibles caminos a seguir, el proceso apenas inicia y se han definido las metas claras a donde se enfocarán los esfuerzos en la investigación, los cuales tienen como centro lograr una estrategia de formalización de los recicladores y contribuir a mejorar su calidad de vida.

Discusión

Una de las preguntas que guían actualmente el trabajo con RECIMED, es la relacionada con la necesidad de encontrar estrategias a través de las cuales la actividad del reciclaje pueda darse en unas condiciones favorables a los recicladores, aportando al crecimiento de la Cooperativa RECIMED, pero manteniendo siempre como centro, la calidad de vida de los actores.

Conclusiones

Implementar tecnología en el proceso de reciclaje ayuda a aumentar las tasas de aprovechamiento, lo cual se puede observar en la figura 1, ya que las regiones con mayores tasas son las que mayor desarrollo e implementación de tecnología tienen en todas las partes del proceso.

Si bien en Latinoamérica y el Caribe la tasa de aprovechamiento es menor al 5%, esta puede ser aumentada al tiempo que se mejora la calidad de vida del reciclador y se optimizan recursos. Cabe resaltar que la figura de reciclador se presenta en varias regiones, pero como un oficio solo se presenta en Latinoamérica y el Caribe.

Desarrollar metodologías para la optimización en la toma de decisiones, posibilitaría impactar de manera directa e inmediata la gestión en el movimiento de los materiales aprovechables, mejorando así la calidad de vida de los recicladores (tiempo, ingresos), disminuyendo el impacto ambiental (más material y de mejor calidad), aumentando las ganancias de las empresas y optimizando los recursos existentes (Smart Cities).

Bibliografía

- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/su11010189>
- Afonso Llorente, T. Y. (2014). *Optimización de rutas de recogida de residuos en zonas mixtas urbana-rurales y orografía singular*.
- Alois, Z. (2005). *Patent No. CH694458 (A5)*. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=CH&NR=694458&KC=A5
- André, F. J., & Cerdá, E. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. Cuadernos económicos de ICE, (71).
- Arnaz, R. (2012, September 14). Holanda estrena cubos de basura inteligentes: te piden el DNI y te cobran según los kilos de desperdicios generados. *Diario La Información*. Retrieved from https://www.lainformacion.com/mundo/holanda-estrena-cubos-de-basura-inteligentes-te-piden-el-dni-y-te-cobran-segun-los-kilos-de-desperdicios-generados_5m5scehes2rjrjgibywg04/
- Ballén Forero, J. M., & Velosa Prieto, Á. P. (2015). *Diseño de una caneca de reciclaje con identificación y almacenamiento automático de materiales reciclables* (Universidad de San Buenaventura). Retrieved from https://www.academia.edu/29602360/Diseño_de_una_caneca_de_reciclaje_con_identificación_y_almacenamiento_automático_de_materiales_reciclables%0A
- Bányai, T., Tamás, P., Illés, B., Stankevičiūtė, Ž., & Bányai, Á. (2019). Optimization of municipal waste collection routing: Impact of industry 4.0 technologies on environmental awareness and sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 634. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040634>
- Bartone, C. (1988). The value in wastes. *Decade Watch*, 3-4.
- Bermeo Munoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y La Máquina*, (32), 52-67.
- Bigbelly. (2018). Bigbelly - Smart Solutions for Cities. Retrieved from <https://bigbelly.com/>
- Bin, C. (2017). *Patent No. CN206218563*. Retrieved from <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CN198620082&tab=NATIONALBIBLIO>
- Bonilla Villalta, A., & Trávez Zambrano, K. (2016). *Baños portátiles empresa de servicio optimización de rutas de recolección mediante modelo matemático*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cáceres Almeida, M. R., & Lasso Viracocha, P. P. (2018). *Desarrollo de una aplicación móvil para el proyecto Reciveci de Quito* (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19852/1/CD-9259.pdf>
- Castillo Patarroyo, L. C., & Cerquera Bravo, N. (2012). *Diseño de sistema logístico de transporte para la recolección de materiales reciclados en la localidad de Engativá con la empresa Compapeles Milenium*. Universidad Libre.
- Catorce6. (2016). OEA destaca prototipo de canecas inteligentes en Colombia. Retrieved from <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12547-oea-destaca-prototipo-de-canecas-inteligentes-en-colombia>
- Ciateq, & Ingenia 4ti. (2017, June). Nueva planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos.

Retrieved from Iresiduo website: <https://iresiduo.com/noticias/mexico/conacyt/17/06/27/nueva-planta-automatizada-reciclaje-residuos-solidos-urbanos>

- Collins, J. L. (2016). *Patent No. CA2886278*. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=CA178053880&tab=NATIONALBIBLIO&_cid=P20-JXNQH4-51738-1
- De Kadt, M. (2000). La gestión de los residuos sólidos de Estados Unidos en la encrucijada. El reciclaje en la rueda de producción. *Ecología Política*, 75-93.
- Díaz Colorado, C. F., & Caldas Vega, J. A. (2018). *Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico* (Universidad Católica de Colombia). Retrieved from [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22412/1/Documento Final.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22412/1/Documento%20Final.pdf)
- Effiteco SAS. (2017). Kaptar nos mueve. Retrieved from <https://www.kaptarnosmueve.com/como-kaptar/>
- El popular. (2019, March). Lanza aplicación para ubicar puntos de acopio de reciclaje. Retrieved from El popular website: <https://www.elpopular.pe/actualidad-y-policiales/231472-lanzan-aplicacion-ubicar-puntos-acopio-reciclaje>
- Eurotek. (2012). Punto Limpio Móvil - EURO. Retrieved from [http://www.eurotek.cl/PL - movil.html](http://www.eurotek.cl/PL-movil.html)
- Feitó Cespón, M., Cespón Castro, R., & Rubio Rodríguez, M. A. (2016). Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 24(1), 135-148.
- Fernández Burgada, F. J. (2011). *Patent No. ES1076183 U*. España.
- Fernández García, M. del C. (2019). *Optimización de rutas de vehículos con entrega y recolección con múltiples objetivos*. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/16621>
- Galindo Mendez, C. P., & Calderón Montenegro, I. T. (2017). *Mejora en el proceso de enturnamiento Botero Soto*. Institucion Universitaria Politecnico Grancolombiano.
- García Olivares, A. A. (2004). *Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa: Estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos* (p. 167). p. 167. Retrieved from <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006a/aago/o.htm>
- Gomez Segura, J. (2014). *Patent No. WO2014033502 (A1)*. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=WO&NR=2014033502&KC=A1
- González Cancelas, N. (2016). Nuevas cadenas de transporte de mercancías generadas por las infraestructuras logísticas de intercambio modal. *Revista Transporte y Territorio*, (14), 81-108. <https://doi.org/10.34096/rtt.i14.2430>
- Grau Maquinaria. (2019). Semirremolque / Isla emergente cerrada urbaclie snic4+2. Retrieved from <http://www.grau-maquinaria.com/isla-cerrada-snic42.htm>
- Hincapié, A., y Aguja, E. (2003). Agregado reciclado para mortero. *Revista Universidad EAFIT*, 39(132), 76-89.
- Hong, Liu. (2014). *Patent No. CN103538831A*. Retrieved from <http://epub.sipo.gov.cn/tcdesc.action?strWhere=CN103538831A>
- Hong, Lui, & Shiqing, C. (2018). *Patent No. CN108116818 (A)*. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=CN&NR=108116818&KC=A
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. Urban development series; knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank.
- Jaramillo Echeverri, C. (2019). *Patent No. WO2019116126 (A1)*. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=WO&NR=2019116126&KC=A1
- Jianqiang, Z. (2016). *Patent No. CN205345914 (U)*. Retrieved from

https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=CN&NR=205345914U&KC=U

- Jimenez, C. (2017). Emvarias instala los Puntos Naranjas Móviles en Medellín. Retrieved from <https://telemedellin.tv/emvarias-puntos-naranjas-moviles/166782/>
- Kai, W. (2018). Plastics and metal scrap recycling method and recycling box. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=CN&NR=107640477&KC=A
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Retrieved from <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Martínez Juyar, A. F., & Córdoba Bermúdez, C. A. (2019). *Prototipo de aplicación móvil enfocado en el proceso de recolección de materiales reciclables en la localidad de Teusaquillo* (Universidad Piloto de Colombia). Retrieved from <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5880/00005200.pdf>
- Marmolejo, L. F., Torres, P., Oviedo, E. R., Bedoya, D. F., Amézquita, C. P., Klinger, R., ... & Diaz, L. F. (2009). Flujo de residuos: Elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y competitividad*, 11(2), 79-93.
- Medina, M. (1999). Reciclaje de desechos sólidos en América Latina. *Frontera Norte*, 11(21), 7-31.
- Melo Murcia, A., & Rojas Reyes, J. (2015). *Prototipo de aplicación móvil instructiva, para el manejo y disposición de desechos sólidos en la ciudad de Bogotá* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2425/1/MeloMurciaAndres2015.pdf>
- Montaña, H., Gambo, L. A., & Novoa, J. D. (2016). *Sistema de monitoreo de llenado y peso de contenedores de residuos urbanos*. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2840/1/GamboaTorresLuisAlejandro2016.pdf>
- Montoya Cifuentes, N. A. (2018). *Patent No. WO2018055441 (A1)*. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=WO&NR=2018055441&KC=A1
- Naskova, J. (2017). *RecycHongs: Mobile App Co-design*. <https://doi.org/10.1145/3064857.3079188>
- Navarro Macias, R. (2017). Cómo los sistemas de basura inteligentes reducen los costes de recogida. Retrieved from La vanguardia website: <https://www.lavanguardia.com/vivo/ciudad/20170220/42155611703/basura-smart-ciudad.html>
- Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356
- Oscar, J. (2014). Informe sobre la política pública de inclusión de Recicladores de oficio en la cadena de reciclaje
- Patarroyo, K., & Bermúdez, M. Á. (2018). Canecas inteligentes optimizarían reciclaje. *Agencia de Noticias UN*. Retrieved from <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/canecas-inteligentes-optimizarian-reciclaje.html%0A>
- Poch Figueroa, P. (2012). *Patent No. WO2012140481 (A2)*.
- Quelart, R. (2015). Llegan los contenedores inteligentes que te ayudan a reciclar. Retrieved from La vanguardia website: <https://www.lavanguardia.com/vida/20151117/30221107078/contenedores-inteligentes-reciclaje-scewc.html>
- Racero Moreno, J., Eguía Salinas, I., García Sánchez, J. M., & Villa Caro, G. (2008). Modelado para el diseño de rutas en un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos. *II International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, 1113–1120.
- RecycleBot. (2015). RecycleBot. Retrieved from <http://www.recyclebot.it/eng/>
- RecyPuntos. (2013). RecyPuntos. Retrieved from <http://recypuntos.org>
- Reid, A., & Miedzinski, M. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. European Commission, COM (2014) 398 final. Brussels, 2.7. 2014. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment-C, 2>

- Rodríguez, M., & del Pilar, M. (2018). La población recicladora y su participación económica en la cadena de valor del reciclaje en Bogotá. *Economía*.
- Romero Trigos, M. (2015). *Caracterización del nuevo esquema “basura cero” transporte de reciclaje en la ciudad de bogotá*. 11. Retrieved from <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10988/1/Caracterizacion>
- Suzhen, C., Qifeng, D., Gan, J., & Xu, Z. (2018). Environment-friendly plastic bottle resource recycling system. Retrieved from https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&locale=en_EP&FT=E&CC=CN&NR=107600793&KC=A
- Valles Chávez, A. D., Alemán Cuellar, J. R., & Alcántar Olguin, R. I. (2014). Innovación de un contenedor de basura inteligente. *Innovación & Sustentabilidad Tecnológica*, 1(1), 201–207. Retrieved from [http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes1/Innovación de un contenedor de basura inteligente.pdf](http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes1/Innovación%20de%20un%20contenedor%20de%20basura%20inteligente.pdf)
- Wen-Zhong, D., Yi-Ping, Z., & Jun-Cun, L. (2011). *Patent No. TW201102329 A*. Retrieved from <https://lens.org/046-142-419-446-451>
- Zbib, H., & Wøhlk, S. (2019). A comparison of the transport requirements of different curbside waste collection systems in Denmark. *Waste Management*, 87, 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.037>

Agradecimientos

Esta serie de documentos de trabajo es financiada por el programa “Inclusión productiva y social: programas y políticas para la promoción de una economía formal”, código 60185, que conforma Colombia Científica-Alianza EFI, bajo el Contrato de Recuperación Contingente No.FP44842-220-2018.

Acknowledgments

This working paper series is funded by the Colombia Científica-Alianza EFI Research Program, with code 60185 and contract number FP44842-220-2018, funded by The World Bank through the call Scientific Ecosystems, managed by the Colombian Ministry of Science, Technology and Innovation.