



**Modelo de proceso para la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación
de residuos sólidos en centros urbanos**

Carlos J. Gallego Duque

Tesis doctoral presentada para optar al título de Doctor en Ingeniería

Director

Juan Sebastián Jaén Posada, Doctor (PhD) en Ingeniería de Sistemas e Informática

Codirectora

Olga Cecilia Úsuga Manco, Doctor (PhD) en Ciencias Estadísticas

Universidad de Antioquia

Facultad de IngenieríaFacultad de Ingeniería

Doctorado en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

 MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Cita (Gallego-Duque, 2023)

Referencia

Gallego-Duque, C. J. (2023). *Modelo de proceso para la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos* [Tesis doctoralTesis doctoral]. Universidad de Antioquia, Medellín, ColombiaMedellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Doctorado en Ingeniería.

Grupo de Investigación Analítica e Investigación para la Toma de Decisiones (ALIADO).



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Directora de Investigación y Posgrados: Natalia Gaviria Gómez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a DIOS por darme la vida, a mi esposa Alejandra que me ha apoyado incondicionalmente, a mis hijas Juliana y Antonella que a pesar de su temprana edad han sido la motivación para obtener este gran logro; a mis padres Piedad y Gabriel que, gracias a ellos, hoy puedo aportarle algo positivo a la sociedad.

En la misma medida hago extensiva esta dedicatoria a mis hermanos Gabriel Jaime y Jorge Mario por su apoyo incondicional, a mi primo Juan Miguel quien me brindo esta oportunidad. Por último y no menos importante, a mí amigo Juan Camilo quien me ha acompañado e impulsado en la consecución de este sueño.

Agradecimientos

A los profesores Juan Sebastián Jaén Posada director y Olga Cecilia Úsuga Manco, ya que hicieron posible la culminación del proceso doctoral por medio de su acompañamiento, explicación y recomendaciones. En la misma medida, agradezco a las profesoras Natalia Gaviria e Ingrid Gómez quienes me apoyaron en el inicio del proceso.

Agradezco 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 del Banco Mundial No. FP44842-220-2018.

En la misma medida, agradezco a la Universidad Autónoma Latinoamérica -UNAULA-, directivos, compañeros, estudiantes y amigos por creer en el proceso y permitirme hacer parte. Para terminar, quiero agradecer a mi familia, amigos y muy especialmente a mi esposa e hijas que sin su apoyo no hubiese sido posible culminar este proceso realizado con dedicación, paciencia y esmero.

Espero recompensar todos los malos ratos y solo me resta decir: ¡Gracias!

Tabla de contenido

Resumen	14
Abstract	15
Capitulo I. Introducción	16
Capitulo II. Planteamiento del problema.....	23
2.1 Descripción del problema.....	23
2.2 Formulación del problema	36
2.3 Objetivos	36
2.3.1 <i>Objetivo general</i>	36
2.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	36
Capitulo III. Marco teórico y estado del arte	38
3.1 Marco teórico	38
3.1.1 <i>Modelo de proceso: definición, objetivo, elementos, características y ventajas</i>	40
3.1.2 <i>Logística inversa como modelo de proceso para la mejora de la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos</i>	43
3.1.3 <i>Modelos de proceso en la gestión de la recolección de RSU en Colombia</i>	46
3.1.4 <i>Actores en la GRSU</i>	51
3.1.5 <i>Medición de desempeño de modelos de proceso de la GRSU</i>	53
3.2 Estado del arte	54
3.2.1 <i>Conclusión sobre el estado del arte</i>	63
Capitulo IV. Marco Metodológico	65
4.1 Tipo de investigación	67
4.2 Fase de identificación y análisis.....	69

4.2.1 Trabajo de campo	70
4.2.2 Metodología de la caracterización sociodemográfica de los recicladores	77
4.2.3 Vigilancia estratégica	81
4.3 Fase de formulación: Diseño del modelo de proceso	85
4.3.1 Prefactibilidad técnica.....	86
4.3.2 Prefactibilidad política y legal	88
4.3.3 Simulación y modelación	88
4.3.4 Stack tecnológico	90
4.4 Fase de ejecución: validación del modelo de proceso.....	91
4.5 Fase de resultados: Diseño de políticas de uso	92
Capítulo V. Resultados Fase I. Identificación y análisis	93
5.1 Caracterización de las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos	93
5.1.1 Identificación de necesidades	93
5.1.2 Variables, funciones y eventos.....	107
5.1.3 Modelo de proceso de gestión de residuos sólidos en el contexto colombiano.....	126
5.2 Relacionamiento entre las variables	132
5.2.1 Análisis de Correspondencia Múltiple- ACM.....	132
5.2.2 Análisis de Componentes Principales de datos mixtos- ACP	136
5.2.3 Análisis de Agrupamiento o cluster análisis- CA	139
5.3 Vigilancia estratégica	144
5.3.1 Tecnología.....	144
5.3.2 Marco regulatorio de recolección RSU.....	160
Capítulo VI. Resultados Fase II. Formulación de la idea de solución	169
6.1 Viabilidad	169

6.1.1 Prefactibilidad técnica.....	169
6.1.2 Prefactibilidad política y legal	175
6.1.3 Requisitos técnicos, legales y políticos mínimos viables	182
6.2 Diseño del Modelo	185
6.2.1 Modelamiento bajo redes de Petri.....	186
6.2.2 Simulación del Modelo	190
6.2.3 Stack tecnológico	197
Capítulo VII. Resultados Fase III. Implementación del modelo.....	219
7.1 Adquisición de bienes y servicios	219
7.1.1 Definición del personal de apoyo, perfiles y responsabilidades	219
7.2 Interoperabilidad del modelo	220
7.2.1 Modelo de datos.....	221
7.2.2 Gestión de datos.....	233
7.2.3 Validación del modelo del modelo de proceso	234
Capítulo VIII. Resultados Fase de formalización y difusión	243
8.1 Identificación de activos.....	243
8.1.1 Activos intangibles.....	243
8.1.2 Producción científica derivada de la Tesis.....	244
8.2 Políticas de uso del modelo de proceso de logística inversa propuesto	249
8.2.1 La política de optimización de rutas y recursos	250
8.2.2 Política de integración de tecnología y datos.....	253
8.2.3 Política de capacitación y desarrollo profesional.....	256
8.2.4 Política de incentivos y reconocimiento	258
8.2.5 Política de sostenibilidad y responsabilidad social.....	260

8.2.6 <i>Política de adaptación y mejora continua</i>	261
8.3 Modelo de proceso propuesto	263
Capítulo IX. Discusión y conclusiones	266
9.1 Discusión	266
9.2 Conclusiones	271
Referencias	276
Apéndices	308
Apéndice A	308
Anexo B. Instrumento de microanálisis, codificación y categorización	316
Anexo C. Matrices de ordenamientos conceptuales grupos focales	317

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz de resultados material documental	40
Tabla 2. Relación de Actores y Actividad en la GRSU	52
Tabla 3. Matriz descriptiva de las organizaciones participantes	73
Tabla 4. Matriz de criterios de selección expertos en materia de aprovechamiento de RSU	74
Tabla 5. Matriz de codificación de actores sociales.....	75
Tabla 6. Matriz descriptiva de las organizaciones participantes	90
Tabla 7. Grupos focales.....	94
Tabla 8. Variables para métodos estadísticos multivariados	108
Tabla 9. Nivel de educación vs. Migración.....	112
Tabla 10. Migración vs Genero.....	113
Tabla 11. Seguridad social vs asociación.....	116
Tabla 12. Variables, funciones y eventos.....	124
Tabla 13. Etapa, puntos críticos, eventos e impacto en la eficiencia del reciclador	129
Tabla 14. Medidas descriptivas para variables numéricas	135
Tabla 15. Cuadrados de las cargas factoriales de ACP	137
Tabla 16. Procedimiento de Kruskal-Wallis para variables y agrupaciones (clusters)	143
Tabla 17. Matriz de revisión tecnológica	145
Tabla 18. Matriz de marco regulatorio de GRSU	160
Tabla 19. Resumen requerimientos técnicos asociados a la gestión de RSU.	170
Tabla 20. Resumen requerimientos políticos y legales asociados a la gestión de RSU.....	175
Tabla 21. Cuadro resumen de eventualidades y variables para cada etapa del proceso de recuperación de RSU.....	189

Tabla 22. Variables simuladas en el escenario 1.	194
Tabla 23. Servicios AWS a utilizar en el stack tecnológico	200
Tabla 24. Secuencia de pasos primer caso de uso.....	209
Tabla 25. Secuencia de pasos segundo caso de uso	212
Tabla 26. Secuencia de pasos entrega del material	215
Tabla 27. Secuencia de pasos tercer caso de estudio	216
Tabla 28. Responsabilidades	219
Tabla 29. Entradas Registro de usuarios método POST	224
Tabla 30. Resultados de la Funcionalidad (salidas registro de usuarios).....	225
Tabla 31. Entradas Login- método POST	226
Tabla 32. Resultados de la Funcionalidad (Salidas Login).....	226
Tabla 33. Entradas crear solicitud- método POST	227
Tabla 34. Resultados de la Funcionalidad (Salidas crear solicitud).....	228
Tabla 35. Entradas obtener solicitudes activas y ruta absoluta-método Get.....	230
Tabla 36. Resultados de la Funcionalidad (Salidas obtener solicitudes activas y ruta absoluta).231	
Tabla 37. Productos de generación nuevo conocimiento	245
Tabla 38. Productos de desarrollo tecnológico e innovación.....	246
Tabla 39. Productos de apropiación social del conocimiento	248
Tabla 39. Productos para ña formación del talento humano	249

Lista de figuras

Figura 127

Figura 228

Figura 330

Figura 431

Figura 547

Figura 6.....49

Figura 766

Figura 8.68

Figura 969

Figura 1071

Figura 11117

Figura 12.....119

Figura 13122

Figura 14123

Figura 15.....128

Figura 16133

Figura 17140

Figura 18140

Figura 19187

Figura 20193

Figura 21197

Figura 22199

Figura 23205

Figura 24	210
Figura 25	211
Figura 26	214
Figura 27	216
Figura 28.	217
Figura 29	221
Figura 30	227
Figura 31	229
Figura 32	230
Figura 33	232
Figura 34	232
Figura 35	233
Figura 36	236
Figura 37	237
Figura 38	238
Figura 39	239
Figura 40	263

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AC	Análisis de Clúster
ACM	Análisis de Correspondencia Múltiple
ACP	Análisis de Componentes Principales
ENCV	Encuesta Nacional de Calidad de Vida
IA	Inteligencia Artificial
GRSU	Gestión de Residuos Sólidos Urbanos
KW	Kruskal-Wallis
MSc	Magister en Ciencia
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PNGIRS	Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos
RECIMED	Cooperativa de recicladores de Medellín
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RSA	Residuos Sólidos Aprovechables
SiGIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo principal proponer un modelo de proceso para aumentar la eficiencia del reciclador en la recuperación de Residuos Sólidos Urbanos- RSU en Colombia.

Este proceso se realizó en varias fases como fueron la identificación y análisis del proceso actual de recuperación de RSU, la caracterización sociodemográfica de los recicladores, y la formulación, diseño y validación del modelo propuesto. Se emplearon entrevistas y grupos focales como instrumento de recolección de información, técnicas estadísticas como el Análisis de Correspondencia Múltiple- ACM y el Análisis de Componentes Principales- ACP para analizar las variables asociadas al proceso de recuperación de residuos. Los resultados mostraron que la implementación del modelo de logística inversa propuesto mejoró la eficiencia del reciclador al optimizar las operaciones de recolección, alistamiento y comercialización de los materiales recuperables. Este modelo permitió una mejor gestión de los residuos, aumentando las tasas de reciclaje y disminuyendo el impacto ambiental negativo. Entre los principales hallazgos se destacó la importancia de integrar a los recicladores en un sistema formal de gestión de residuos, reconociendo su papel crucial en la economía circular. Además, se sugirió la implementación de políticas públicas que apoyen este modelo, promoviendo la sostenibilidad y la inclusión social de los recicladores.

Palabras clave: modelo de proceso, eficiencia del reciclador, residuos sólidos, centros urbanos.

Abstract

This study had as its main objective to propose a process model that would increase the efficiency of waste pickers in the recovery of urban solid waste (USW) in Colombia. The methodology employed was divided into several phases: identification and analysis of the current USW recovery process, the sociodemographic characterization of waste pickers, and the formulation, design, and validation of the proposed model. Statistical techniques such as Multiple Correspondence Analysis (ACM) and Principal Component Analysis (ACP) were used to analyze the variables associated with the waste recovery process. The results showed that the proposed reverse logistics model significantly improved the efficiency of waste pickers by optimizing the operations of collection, preparation, and commercialization of recoverable materials. This model allowed for better waste management, increasing recycling rates and reducing the negative environmental impact. Among the main findings, the importance of integrating waste pickers into a formal waste management system was highlighted, recognizing their crucial role in the circular economy. Furthermore, the implementation of public policies supporting this model is suggested, promoting sustainability and the social inclusion of waste pickers.

Keywords: process model, waste picker efficiency, solid waste, urban centers.

Capítulo I. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad se ha evidenciado como el hombre ha ido evolucionando por el acelerado ritmo en el crecimiento y desarrollo de la sociedad, que ha generado impactos negativos en el ambiente (Bastidas & Hernández, 2019). Estas afectaciones son producto de hábitos inadecuados por parte del ser humano, como por ejemplo, el uso inadecuado de los recursos naturales, alto consumo energético, deficiente práctica de reciclado, entre otros, que han generado daños irreparables al medio ambiente (Ruiz, 2020).

Frente a la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se tiene un panorama poco alentador en lo que se refiere al impacto ambiental. Los datos sobre la proyección de estos residuos indican que se tienen un comportamiento creciente a lo largo de los años (World Bank, 2018). En este sentido, es necesario la implementación de medidas que permitan mitigar las afectaciones que estos residuos generan en el ambiente, que incluyen la contaminación del agua, olores indeseados, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), enfermedades, entre otros (Osra et al., 2021).

En Colombia, se cuenta con la política de gestión de residuos sólidos donde se asumió que el saneamiento ambiental y la producción limpia eran los dos componentes fundamentales que requerían acción para llevar a cabo una gestión de los residuos sólidos (Montes, 2018). Esto implica considerar líneas de acción en procesos, a saber: generación, recuperación, almacenamiento, clasificación, tratamiento y disposición final (Ministerio de Ambiente, 1998). Reconociendo que el trabajo del reciclador debía mejorarse, en cuanto a sus condiciones laborales (Ministerio de Ambiente, 1998).

Al iniciar el siglo XXI Colombia fue pionero en el mundo en reconocer al reciclador como un actor importante en el aprovechamiento de residuos y otorgarle beneficios vía tarifa

pública por su necesaria labor en el proceso de valorización y aprovechamiento de los RSU (Decreto 596, 2016). Con esta declaración no solo se reconocía el rol del reciclador, sino que, la dignificación de este trabajador impactaba la gestión de los RSU, en cuanto a la mejora de uno de los procesos, específicamente la recuperación, y en cuanto al tránsito de una economía informal a una formal (Tovar, 2018).

Esta misma intencionalidad fue contemplada en el Programa Basura cero de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015). En este programa se declaró que, por la apropiación y cultura ciudadana para una nueva conceptualización de los residuos, se concientizaron un total de 4.270 personas en dignificación del reciclador (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2012). En el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS se siguió la intención, la atención a los recicladores a través del Programa aprovechamiento e inclusión a recicladores, como un factor medular para el alcance de los objetivos de la económica circular (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 2022).

En su conjunto, esta mirada puesta en el reciclador como un actor importante en el aprovechamiento indica que, en cuanto a la gestión, su rol puede impactar en la recuperación de residuos sólidos, más aún cuando ésta se lleva a cabo en centros urbanos (CEPAL, 2021). Se comprende que el reciclador debe tener la capacidad de determinar cuál es el destino más adecuado para el residuo y mitigar las afectaciones que se generan por un inadecuado manejo. Esta mirada se soporta a partir del hecho de que, en Colombia, al 2022, solo se recupera el 11,82% de los RSU (Departamento nacional de planeación, 2022).

De la información anterior, se evidencia que se requiere un incremento en el porcentaje de aprovechamiento de los RSU, por ello, podrían implementarse acciones que permitan mejorar la eficiencia del trabajo del reciclador en búsqueda de generar un mayor impacto en la recuperación

de los materiales aprovechables (Farreras y Huanca, 2019). En este contexto de mejoras de la eficiencia y formalización del rol del reciclador, es necesario resaltar que, la mayoría de las condiciones de trabajo de los recicladores no son favorables y recaen en la población extremadamente pobre, excluida, con afectaciones de salud y bajo nivel educativo (Crisanto, y otros., 2019).

La idea que se soporta en el párrafo anterior sobre las características comunes que se encuentran cuando se estudia el trabajo del reciclador, dan soporte a las medidas establecidas en las políticas que persiguen la dignificación del reciclador en su trabajo (CEPAL, 2021). Esto se observa en los documentos referidos anteriormente y también en las políticas de reciclaje inclusivo que se han adelantado. En estas, lo importante ha sido la inclusión de los recicladores en los sistemas de gestión de residuos desde una economía informal a la formal (World Bank, 2018).

Dentro de las acciones de apoyo a los recicladores, la inclusión a una economía formal es la tendencia (Malele, 2022; Valdivia y Schlupe, 2023). Pero también se hace necesario generar una dinámica de trabajo sustentable por parte de los recicladores que considere la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de RSU (Ayora, et, al., 2020; Chen, y otros., 2018; Gómez, y otros., 2023; Morais, y otros., 2022; Paes, y otros., 2024).

En este particular, es necesario indicar que la temática de la economía circular¹ es fundamental en cuanto a la elección del término de la eficiencia del reciclador², para contribuir a la sostenibilidad (Hernández y Corredor, 2016). Una mejora en el uso de los RSU requiere de un cambio hacia una economía circular, en el cual, los residuos pasen a ser considerados como un

¹ Mantener la utilidad de los productos, componentes y materiales y retener su valor (Ortiz Zamora et al., 2022).

² Capacidad de reducir el desplazamiento y la jornada laboral, optimizando las etapas de recolección, alistamiento y comercialización.

recurso que puede ser aprovechado como: materia prima, subproductos, nutrientes orgánicos e incluso energía (Mandpe y otros., 2023; Nodehi y Taghvaei, 2022; Okafor, y otros., 2022).

La eficiencia del reciclador se refiere a su capacidad para recuperar y tratar materiales aprovechables de manera técnica y económicamente viable y reintegrarlos al mercado, lo cual, requiere la valorización de los RSU y un proyecto que optimice la recuperación en todas las etapas del proceso (Pérez y Rodríguez, 2022; Raza y Acosta, 2022).

Por otro lado, Henao e Ibarra (2020) definen la eficiencia del rol del reciclador como la cantidad de material reciclado en un momento de tiempo determinado, es decir, la cuantificación de los materiales que se aprovechan para ser incorporados a un nuevo proceso productivo que alarga la vida útil del material. Frente a ello, es importante mencionar que, en la actualidad se puede considerar que los procesos de reciclado son ineficientes, ya que, el porcentaje de material recuperado no supera el 12% en países en vía de desarrollo (Fatimah, y otros., 2020; Iyamu, y otros., 2017; Lee, 2019; Morais, y otros., 2022; Nazari, y otros., 2018).

Particularmente en Colombia, los datos sobre las cantidades de material aprovechable indican que los procesos de aprovechamiento en el país pueden optimizarse para lograr un incremento en las cantidades de material aprovechado (Política Nacional Para La Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2016). Por ejemplo, “en 2018 se reportaron 974.039 toneladas, en el 2019 fueron 1.407.785 toneladas y en 2020 1.903.269 toneladas aprovechadas por 494 prestadores del servicio público de aseo” mostrando que en el país se ha incrementado el reciclaje separando desde la fuente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022, párr.4).

En este sentido, si el trabajo del reciclador es más eficiente en la recuperación de RSU se tendría una mejora en los procesos de gestión y con ello se facilitaría una mayor recuperación de materiales aprovechables, mayor agilidad de la cadena productiva, entre otras ventajas (Aleluia y

Ferrão, 2016; Rondón, y otros., 2016; Uddin, 2018). Desde esta perspectiva, la mejora de la eficiencia también incide en la mejora en la productividad y calidad, ya que, los recicladores desempeñan un papel fundamental al recuperar los RSU en lugares donde el sector formal de reciclaje está ausente o es ineficaz (Bertolucci, y otros., 2019; Iacovidou y otros., 2017; Urbay, 2022).

Además, la labor del reciclador en el proceso de aprovechamiento contribuye a transformar los desechos en un recurso, lo cual, incrementa la eficiencia de los recursos y cierra el círculo mediante procesos de reutilización, recuperación y reciclaje (Scarlat y Dallemand, 2019). También, su labor aporta a la reducción de los volúmenes de residuos en rellenos sanitarios, cursos de agua, vertederos ilegales y la quema de RSU en áreas abiertas es considerable (Aleluia y Ferrão, 2016; Lee, y otros., 2021; Marelló y Helwege, 2018).

En consecuencia, una mejora en la eficiencia del rol del reciclador significa un aporte sustancial a los tres pilares de la sostenibilidad: social, económico, y ambiental (Gall, y otros., 2020). Por todo lo anterior, la necesidad de la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en el aprovechamiento de RSU es significativamente notoria para Colombia y el mundo en desarrollo, ya que, la problemática en torno a la gestión de RSU se ha convertido en un desafío serio y persistente (Rodríguez y Baca, 2022).

Esto se soporta en cifras de estimación en las cantidades de RSU, que indican que se podrían alcanzar cifras de aumento de 16% para el 2030 y 36% para el 2050 (Abdallah, y otros., 2020; Gallego, y otros., 2023; Kaza, y otros., 2018), por ende una visión prospectiva de la gestión de RSU y una perspectiva de mejora de eficiencia del rol de reciclador son necesarias y urgentes (Morales, y otros., 2023; Ruiz, 2020).

El presente trabajo plantea un aporte a esta problemática, teniendo en cuenta la contribución de los recicladores a la gestión de RSU y con ello a la economía circular y la sostenibilidad ambiental. En consideración el diseño de un modelo de proceso para la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en el aprovechamiento de RSU es una alternativa de solución ante la grave problemática ambiental cuyas bases se consolidan en una mejora de la gestión de RSU. Para su planteamiento es necesario indagar sobre los múltiples factores que afectan la productividad y por ende, la eficiencia del reciclador.

El modelo de proceso se concibe como un aporte metodológico y práctico que puede utilizarse para mejorar las operaciones de reciclaje, aumentar la recuperación de materiales, reducir el impacto ambiental y, en última instancia, apoyar una economía más circular y sostenible (Feíto, y otros., 2016). La investigación se estructura y organiza de la siguiente manera:

El capítulo II presenta el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, la justificación de forma detallada y los objetivos formulados en la investigación.

En el capítulo III se presenta el soporte teórico de la investigación, donde se describen cada uno de los elementos teóricos del estudio.

El capítulo IV contiene la descripción de los elementos metodológicos implementados en el desarrollo del trabajo doctoral, contiene el esquema general del proceso investigativo y la ruta metodológica predeterminada para el desarrollo de cada uno de los objetivos formulados en la presente tesis.

En el capítulo V se centra en la identificación y análisis de las necesidades de mejora en el proceso de aprovechamiento de los RSU, así como también se presentan los resultados obtenidos para el relacionamiento de las variables involucradas en la gestión de residuos. El capítulo

finaliza con la presentación de los hallazgos obtenidos para la validación estratégica a partir de la literatura.

El capítulo VI contiene la formulación de la idea de solución, que contempla la validación técnica, política y legal del modelo de proceso y su correspondiente diseño, por tanto, se analiza el desempeño del modelo y se determinan su aplicabilidad y eficacia en el contexto colombiano, teniendo en consideración el stack tecnológico y todos los recursos requeridos para dar respuesta a la problemática identificada.

En el capítulo VII se realizó lo correspondiente a la fase de ejecución, donde se determinaron los equipos que se debían adquirir para la puesta en marcha del modelo, así como también el talento humano que debe aplicar dicho modelo con un perfil y funciones preestablecidas. Además, en este capítulo se presenta la implementación describiendo la interoperabilidad del modelo y su respectiva validación, contemplando elementos de tiempos, distancias y cantidad de material recolectado por los recicladores a partir de las rutas ya existentes y las optimizadas con el modelo.

El capítulo VIII contiene los activos intangibles y productos obtenidos a lo largo del proceso del diseño del modelo, así como también, en este capítulo se presentan las seis políticas de uso diseñadas para la implementación del modelo de proceso.

Finalmente, el capítulo IX presenta la discusión y conclusiones del proceso investigativo, resaltando el aporte del modelo propuesto. En esta sección, se sintetizarán los hallazgos clave de la investigación y se ofrecerá una visión de cómo se podría mejorar la eficiencia del rol reciclador en Colombia a través de la implementación del modelo propuesto.

Capítulo II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

La situación ambiental y su deterioro progresivo tiene que ver con las creencias, valores y actitudes del hombre frente al medio ambiente, evidenciando una visión ambiental antropocéntrica, que valora al hombre y sus intereses más que cualquier otra forma de vida (Tokay, 2023; Vargas, y otros., 2021). Por esta razón, es esencial establecer planes de gestión de residuos que, en consonancia con estos principios, ofrezcan una gestión eficiente, reutilicen materiales valiosos y dispongan adecuadamente de los residuos. Todo ello con el objetivo de garantizar el equilibrio en los ecosistemas (Bastidas y Hernández, 2019).

Las actividades antropogénicas³ suelen no tomar en cuenta la conservación del ambiente, y ejercen presión sobre el mismo al considerar los recursos naturales como inagotables para la producción de bienes de consumo, sin medir su impacto y sostenibilidad en el tiempo (Acuña, y otros., 2017). A mediados del siglo XX, la creciente conciencia ambiental surgió como respuesta a la contaminación del rápido desarrollo industrial, con críticas hacia el modelo de crecimiento económico por su impacto en la degradación ambiental y en la pérdida de recursos naturales (García, y otros., 2019).

El crecimiento poblacional, el avance tecnológico, falta de educación sobre hábitos de reciclaje, malas prácticas industriales, existencia de empresas ilegales que depositan sus desperdicios en fuentes hídricas, vertederos a cielo abierto, entre otros, son unas de las principales causas de la problemática ambiental en cuanto a producción y manejo de los residuos

³ Actividad antropogénica: “actividades o procesos que son originados o causados por la acción humana (Balakrishnan y otros., 2023).

sólidos (Fuss, y otros., 2021; Hernández y Corredor, 2016; Jagun, y otros., 2023; Shaikh, y otros., 2020; Söderholm y Kyriakidis, 2023; Valavanidis, 2023; Valderrama, y otros., 2020).

Con respecto a ello, para mitigar las afectaciones ambientales es necesario que se lleven a cabo acciones que realmente puedan reducir los impactos negativos en el ambiente (Acuña, y otros., 2017), lo que evidencia que ante esta problemática que perjudica a la población en general son necesarias medidas en donde todas las áreas, se involucren para diseñar acciones eficientes que permitan abordar el problema del deterioro ambiental (Balakrishnan, y otros., 2023).

En este contexto, es relevante destacar que, los RSU representan una seria problemática ambiental. Investigaciones como la desarrollada por Rautela, y otros. (2021) destacan los efectos tóxicos por la gestión inadecuada de los residuos electrónicos. Así mismo Wankhede y Wanjari (2021), resaltan cómo la mala gestión de los RSU aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas y afecta la salud pública. Por su parte, los investigadores Shegow y Funwie (2020), evidenciaron una prevalencia de enfermedades como el sarampión (32.8%), diarrea (31.3%), malaria (20.2%), fiebre tifoidea y cólera (14.2%) por prácticas inadecuadas de gestión de residuos.

En este sentido, estudios sobre residuos biomédicos revelan una considerable contribución al deterioro de la salud humana y animal, así como un impacto negativo ambiental, por causas de contaminación del agua, que favorecen al contagio de enfermedades resultado del contacto con microorganismos patógenos como coliformes fecales (Meshram y Mhatre, 2022). Además Adeniran y Shakantu (2022), examinan los efectos del manejo inapropiado de residuos plásticos en localidades sudafricanas encontrándose que es necesario implementar medidas de gestión más eficientes que mitiguen las afectaciones ambientales y de salud que se están generando por el inadecuado manejo de este tipo de residuos.

En términos de daños ambientales, Cajamarca, y otros. (2022), discuten los efectos negativos asociados con la gestión no sostenible del residuo electrónico, destacando riesgos para la salud humana. Además, la evaluación de la calidad del aire alrededor de plantas de gestión de residuos sólidos municipales enfatiza impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente (Premsudha, y otros., 2022).

Debido a los impactos ambientales que se generan cuando hay prácticas inadecuadas en la manipulación y disposición de los mismos, perturbando los diferentes componentes del ambiente y sus recursos naturales como agua, suelo y aire, es necesaria la implementación de soluciones para mitigar las diversas afectaciones que se generan por la inadecuada gestión de los residuos (Hernández y Corredor, 2016; Osim, y otros., 2023). El aumento en la generación de RSU para el año 2050 se estima en 3400 millones de toneladas, lo cual representa el 70 % de la generación mundial (Kaza, et, al., 2018) , magnitud tal que presiona al medioambiente e impone la necesidad de introducir tecnologías para manejarlos eficientemente (Gonzaga, 2018).

Desde una perspectiva global, se ha reconocido como problema actual, el manejo inadecuado de los RSU como uno de los problemas de alto impacto ambiental, que debe ser atendido en forma prioritaria, con el propósito de avanzar hacia el desarrollo sustentable (Moreno, 2022). El rápido incremento de la cantidad y diversidad de residuos sólidos como resultado de un crecimiento económico continuo, la urbanización y la industrialización, se ha venido convirtiendo en un problema creciente para quienes tienen la responsabilidad de garantizar una gestión eficaz y sostenible de estas descargas (Herrera, y otros., 2023).

La Organización para Cooperación y el Desarrollo Económicos (2018) describe que para enfrentar estos desafíos ambientales de manera eficaz y disminuir sus efectos dañinos, es necesario adoptar acciones específicas que integren diversas disciplinas, entre ellas la ingeniería,

con el fin de desarrollar estrategias efectivas que atenúen los impactos negativos sobre el ambiente. Anualmente, en todo el mundo se recogen aproximadamente 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos, y se estima que la descomposición de la fracción orgánica de estos residuos contribuye a aproximadamente el 5 % de las emisiones globales de GEI (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2022). Estos datos subrayan la realidad del crecimiento de los residuos sólidos a nivel mundial, lo que implica la necesidad de implementar acciones de gestión adecuada para contrarrestar los efectos perjudiciales derivados de su disposición inadecuada.

Por su parte, en Latinoamérica y el Caribe, se ha detectado que una de las falencias más notorias en el manejo de los RSU es la cobertura del servicio de recolección, y una adecuada disposición final, traducida en un gran número de vertederos a cielo abierto en muchos países (Gonzaga, 2018). De allí que la implementación de un sistema de gestión ambiental de los RSU sea vital para garantizar el desarrollo sostenible (Sumarriva, y otros., 2023).

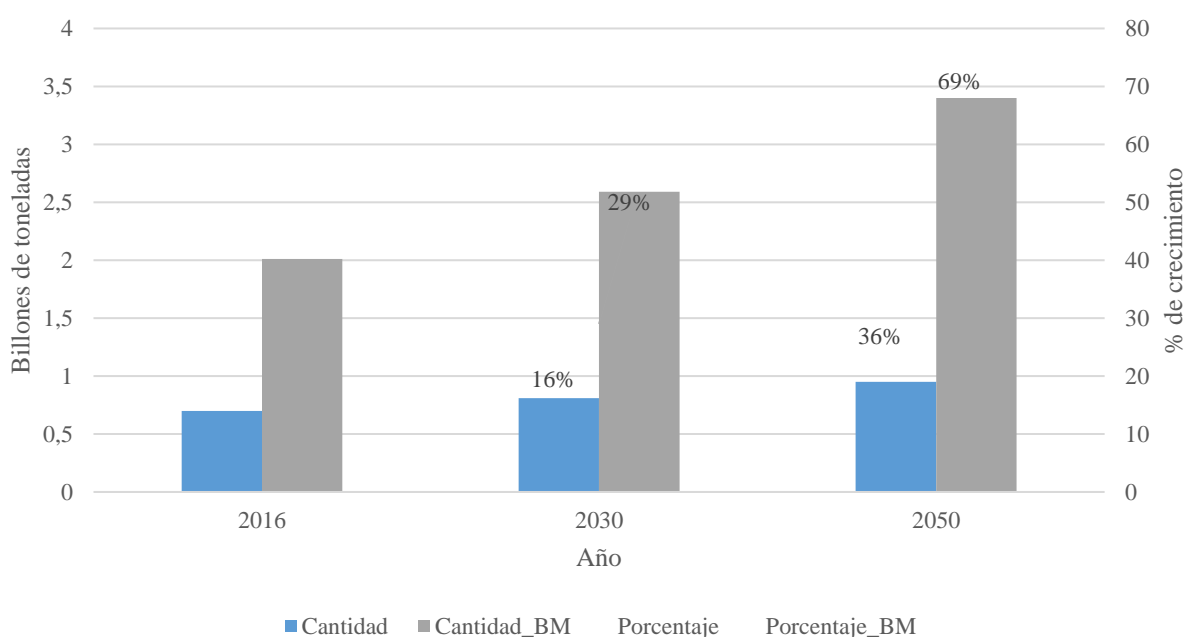
La producción y disposición de residuos sólidos requiere de intervenciones eficientes que den solución a dicha problemática, lo cual, se sustenta en los datos publicados por el Word Bank (2018) acerca de la proyección de los residuos sólidos, donde se indica un crecimiento a nivel global. Para el 2030, se anticipa un incremento del 29% en la generación de residuos, y para el 2050, un incremento del 69%, esto equivaldría a casi 3.5 mil millones de toneladas (World Bank, 2018). La figura 1 ilustra estas proyecciones en billones de toneladas hasta el 2050 (World Bank, 2018).

Los datos anteriormente suministrados evidencian que el incremento de los residuos sólidos son una realidad a lo largo del mundo que requiere de acciones de aprovechamiento (Montero y Blanco, 2021). Esta realidad no difiere en Colombia, y los datos expuestos en el

informe de la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (2022), explican que durante el año 2021 se produjeron en diariamente un total de “33.938,58 Ton/día de residuos sólidos presentados en el marco del servicio público de aseo en el territorio nacional, las cuales, presentan un comportamiento creciente del 4,16% respecto al año 2020” (p.21). Esto ha generado grandes problemas en los espacios establecidos para la disposición de este tipo de desechos, ejemplo de ello, es que los rellenos sanitarios en diversas localidades del país no tienen la capacidad necesaria para la disposición de estos residuos (Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2022).

Figura 1

Residuos sólidos urbanos proyectados a 2050 en el mundo.



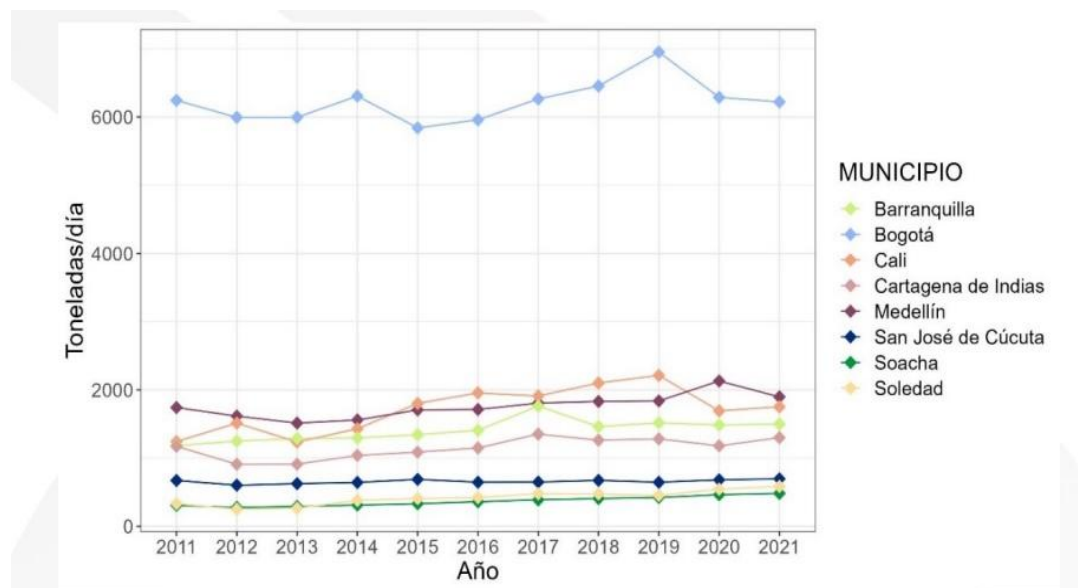
Fuente: Elaboración propia con información adaptada del World Bank (2018).

Es importante resaltar, como lo expresan Montero y Blanco (2021), que en Colombia se ha visto un aumento considerable en la producción de residuos sólidos, a lo largo de los últimos años, en la figura 2 se puede observar lo antes descrito.

La figura en mención contiene información sobre la problemática de la producción de residuos en los ocho municipios del país con mayor población, lo cual, es evidencia del comportamiento constante en la generación de estos residuos. Teniendo en cuenta lo anterior es necesaria la búsqueda de soluciones frente a la problemática ambiental, como, por ejemplo, el aprovechamiento de los componentes que aún tienen valor, es decir, la revalorización de los residuos mediante las prácticas del reúso y reciclado, así como por la necesidad de reducir el consumo irracional de bienes y servicios (Raza y Acosta, 2022).

Figura 2

Serie histórica de producción de residuos del 2011-2021



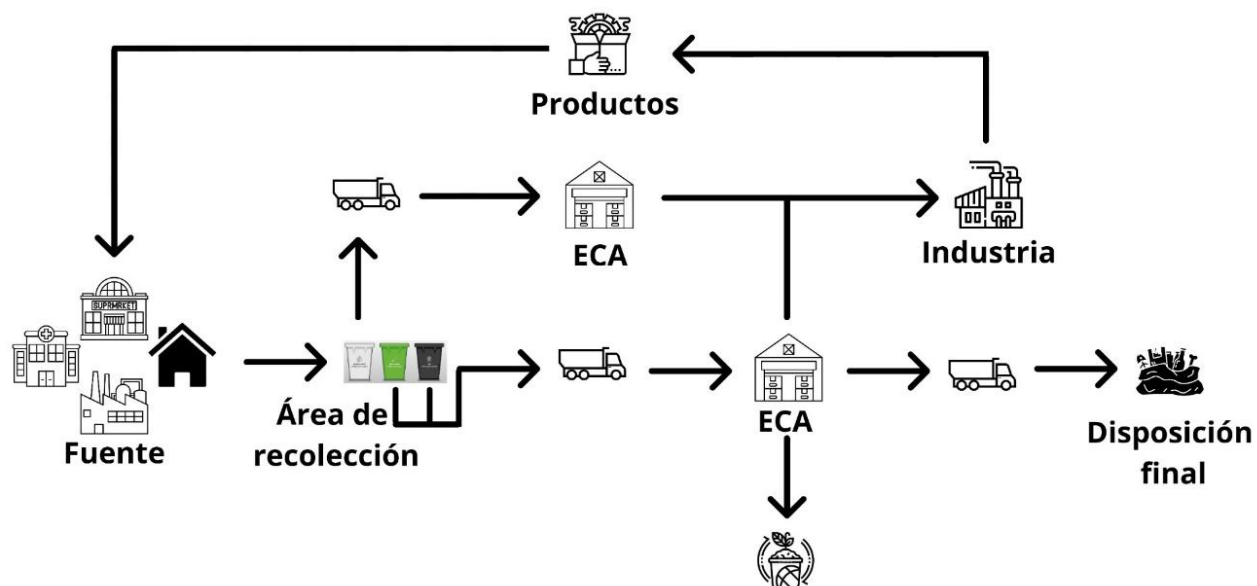
Fuente: Superintendencia de Servicios Domiciliarios (2022).

Sin embargo, la falta de modelos eficientes para aprovechar este tipo de residuos se convierte en un verdadero reto para que se puedan poner en práctica técnicas de revalorización que permitan reincorporar los residuos a nuevos procesos productivos (Ramírez, 2021). Ejemplo de ello son las diferencias existentes en cuanto a la gestión de los RSU entre los países desarrollados que reciclan alrededor del 19% y obtienen energía de un 11% de sus RSU, mientras que en los países en vía de desarrollo sólo el 1% se utiliza para generación de energía y el 12% se recicla (Iyamu, y otros., 2017), lo cual puede ser atribuible a las disparidades en los niveles de vida, las tecnologías disponibles, el desarrollo económico, y los recursos humanos y educativos (Parizi, y otros., 2022).

La figura 3 muestra cómo se gestionan los RSU en los países desarrollados (sistemas formales). En estos sistemas, los usuarios tienen la responsabilidad de separar correctamente los materiales generados y depositarlos en los lugares designados por la entidad gubernamental para su acopio. Posteriormente, estos residuos son recolectados a través de rutas selectivas de material y transportados a diferentes estaciones de clasificación y aprovechamiento, para su posterior reincorporación al ciclo productivo como materias primas, subproductos, energía, entre otros (Iyamu, y otros., 2017).

Figura 3

Sistema de gestión en países desarrollados.



Fuente: Iyamu, y otros. (2017)

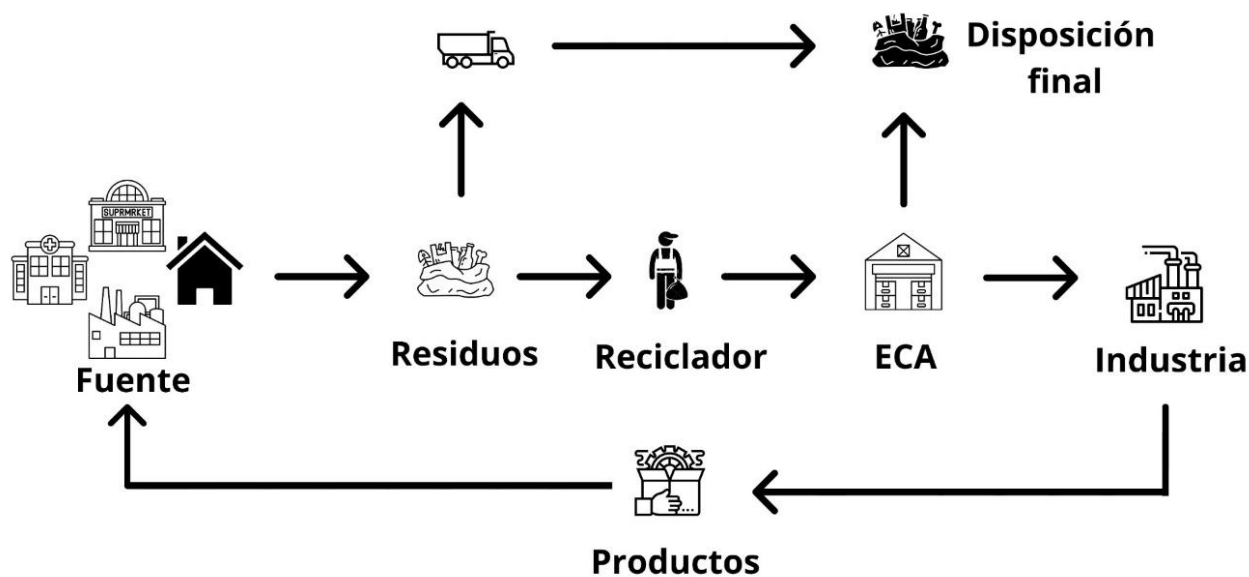
No obstante, a pesar de la existencia de sistemas formales de gestión de RSU en los países desarrollados, cerca del 70% de los residuos acaban en vertederos y rellenos sanitarios en dichos países, lo que demuestra que en temas de gestión de RSU aún queda mucho camino por recorrer (Morais, y otros., 2022). Frente a ello el estudio realizado por Cerna, y otros., (2022), destacó que una serie de factores, incluyendo cambios en las políticas de los gobiernos locales y condiciones económicas cambiantes en los países industrializados, han derivado en un incremento en la generación de RSU y la consiguiente reducción de espacio en los vertederos.

Este sistema difiere en los países en vía de desarrollo puesto que la gestión de los RSU se lleva a cabo mediante la informalidad, donde se estima que el 80% de los residuos acaban en disposición final (rellenos), un 7% se gestionan de forma inadecuada (vertederos), sólo el 1% se utiliza para generación de energía y el 12% se recicla (Morais, y otros., 2022).

La figura 4 describe el proceso de gestión de RSU en estos contextos. Los materiales generados en la fuente se acumulan en condiciones inciertas (debido a una mala separación por parte de los usuarios) y, antes de ser transportados para su disposición final por el servicio local de aseo, comienza el proceso de recuperación a través de los sistemas de gestión informales.

Figura 4

Sistema de gestión en países en vía de desarrollo



Fuente: Iyamu, y otros. (2017)

La información antes descrita muestra que los actuales sistemas de gestión de residuos en los países en vía de desarrollo requieren de mejoras para obtener procesos de aprovechamiento más eficientes. Esto se respalda por las cifras anteriormente citadas que demuestran que solo el 12% de los RSU se aprovechan, lo cual, contribuye a la problemática ambiental. Así, la gestión de

residuos es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo, haciendo imprescindible que la agenda mundial de desarrollo sostenible incluya la gestión adecuada de los RSU.

Dicha gestión, debe marcarse en un cambio paradigmático cuyo centro sea el reconocimiento del reciclador como actor principal en la transición de una economía lineal a otra circular. La sociedad a nivel mundial se expresó a través de sus líderes, y con el marco institucional de las Naciones Unidas se establecieron los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Agenda 2030 que motivan esta transición (Departamento Nacional de Planeación, 2022).

Es allí, donde el aprovechamiento de los RSU cobra importancia y su eficiencia es medular para el alcance de la sostenibilidad. En Colombia el aprovechamiento de RSU indudablemente requiere de mejoras, ya que, las grandes cantidades de residuos son dispuestas inadecuadamente y los porcentajes de aprovechamiento siguen siendo bajos (Kasinja y Tilley, 2018). Evidencia de ello es la información expuesta por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) acerca de la actividad de aprovechamiento en el territorio colombiano, donde se indica que la tasa de reciclaje y nuevo uso para los 22,65 millones de toneladas de RSU que se generaron durante el año 2020 fue de 11,46% (DANE, 2022).

Los datos expuestos en el párrafo anterior demuestran la ineficiencia de los modelos de gestión de para la revalorización de los RSU, lo cual, podría ser producto de la informalidad en la actividad del reciclaje y las inadecuadas prácticas de la sociedad colombiana para separar sus residuos. Lograr un manejo adecuado de los RSU, constituye un factor determinante, lo que le otorga carácter prioritario a la formulación de un modelo de procesos que regule la manera como se debe hacer el manejo, control y disposición final de los residuos (Carvajal, y otros., 2022).

Para que exista un manejo adecuado de los RSU son necesarias intervenciones eficaces que garanticen un desarrollo adecuado de todos los procesos, siendo medular la participación de las prácticas del reciclado de los RSU (Hernández y Corredor, 2016). Lo anterior demuestra la importancia del reciclaje, ya que, permite recuperar una cantidad sustancial de plásticos, hasta 20 kg al día, mientras que los recicladores de metales pueden recuperar alrededor de 30 kg de metales al día (Ferronato y Torretta, 2019).

De manera similar, en Nuevo Laredo, México, los recicladores recuperan cerca de 20 kg de latas de aluminio y cartón al día. En Zimbabue, recuperan entre el 6% y el 10% de los RSU depositados en el sitio de disposición final, lo que equivale a entre 27 y 50 toneladas al día (Jiménez, 2015). El papel de los recicladores en megaciudades como Yakarta es significativo: con 37 000 recicladores que recuperan aproximadamente el 25% de los RSU de la ciudad, lo que corresponde a 378 000 toneladas al año. En Brasil, los recicladores son responsables de casi el 90% del reciclaje de RSU (Moreno y Aliyah, 2019).

Por su parte, en Colombia en 2020, los recicladores recuperaron aproximadamente 1.903.269 toneladas, de las cuales el 53, 57% correspondía a papeles y cartones, 26% a plásticos, 12, 53% a metales y 7% a vidrio (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Entonces se evidencia que a nivel internacional y nacional se están llevando a cabo técnicas y herramientas para aprovechar los RSU, sin embargo, es notorio que existe la necesidad de implementar acciones innovadoras que permitan optimizar el proceso de aprovechamiento (Herrera, y otros., 2023).

Lo descrito en el párrafo anterior es evidencia de la importancia del rol de los recicladores, ya que, sus labores contribuyen a mejorar los índices de salud ambiental al reducir la contaminación causada por los RSU no recolectados y la propagación de vectores de

enfermedades (Vargas, y otros., 2021), fomentan la sostenibilidad al disponer de materias primas secundarias para la producción de nuevos productos (Sanmartín, y otros., 2017). No se puede dejar a un lado el hecho de la contribución del reciclaje a la economía circular al transformar los residuos en recursos, aumentando la eficiencia de los recursos naturales y cerrando el círculo mediante procesos de reutilización, recuperación y reciclaje (Imberνό y Souto, 2023). Por estas razones, la contribución de los recicladores ha sido reconocida como la de 'héroes anónimos' en la lucha contra el cambio climático (Jiménez, 2015).

Teniendo en cuenta la contribución fundamental de los recicladores a la economía circular y la sostenibilidad ambiental, así como su papel en la gestión de los RSU, es vital entender de manera más profunda y detallada las múltiples variables que afectan su eficiencia y productividad, por ello, la investigación busca abordar esta necesidad crucial. Los recicladores operan en diferentes etapas y escenarios dentro de la cadena de gestión de residuos, desde la recuperación en la fuente, pasando por la recolección y alistamiento, hasta la comercialización de los materiales, entonces son ellos quienes tienen la tarea de recuperar los RSU y definir su destino (Ruiz, 2020).

A partir de la recuperación de los RSU generados en las distintas fuentes como hogares, industria, clínicas, hospitales, centros comerciales, instituciones educativas, entre otros, se pueden establecer planes de gestión que determinen de forma adecuada el destino final del residuo (Cifuentes, y otros., 2018). De igual manera, en las etapas de recolección y alistamiento, se puede caracterizar el material tanto en términos cualitativos (tipos de residuos) como cuantitativos (cantidad en las que se producen) (CEPAL, 2016).

Contar con una caracterización adecuada de los residuos y desechos sólidos generados en una población servirá como un marco de referencia para el establecimiento del sistema de gestión

que se desee (Saldivar, y otros., 2021). Además, permite conocer la fracción de estos residuos susceptibles de recuperación (kg/día y porcentaje de fracción húmeda -alimentos y poda- y fracción seca -papel, vidrio, metales y plásticos). Considerar a los RSU como recursos e ingresarlos nuevamente al sistema productivo, permite generar un ahorro energético, de materias primas, además de reducir la cantidad de residuos que se disponen en basurales a cielo abierto o rellenos semicontrolados o sanitarios (Cifuentes, y otros., 2018).

Como se ha descrito a lo largo de este planeamiento del problema, la inadecuada gestión de los RSU es una problemática que requiere de acciones de mitigación efectivas que reduzcan las afectaciones que se generan por un manejo inadecuado de residuos aprovechables (Vargas, y otros., 2021). Entonces, contribuir a la identificación de soluciones se ha convertido en un reto que implica intervenciones que consideren todos los elementos y operaciones inmersas en los procesos de selección, clasificación y manejo de los residuos (Moreno, 2022).

Es allí, donde resulta indispensable considerar como se ejecutan las operaciones que se requieren para el proceso de reciclaje y su efectividad, ya que, a partir de un adecuado proceso de reciclado se logran obtener beneficios ambientales, económicos y sociales (Sanmartín, y otros., 2017). En este particular contexto es fundamental resaltar la relevancia del rol del reciclador frente a los procesos de selección, clasificación y disposición final de los RSU, ya que, son ellos, quienes evalúan y definen la calidad y cantidad de material recuperable (Cajamarca, y otros., 2019).

Lo anterior, permite comprender que los procesos de reciclaje están directamente relacionados con el desempeño de los recicladores, en este sentido, es necesario que se contemplen las variables que puedan incidir en la eficiencia del desarrollo de las actividades del

reciclador, con el fin de identificar las posibles causas de afectaciones en el aprovechamiento de los RSU como una prioridad, hacia la mejora en la eficiencia de las actividades del reciclador.

2.2 Formulación del problema

¿Qué modelo de proceso que adaptado al contexto colombiano permitiría mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Proponer un modelo de proceso que, considerando el entorno de los centros más poblados en Colombia, permita aumentar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos.

2.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos: *permite identificar las ineficiencias y desafíos específicos en cada etapa del proceso.*
- Determinar las relaciones entre las variables asociadas a las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos: *busca comprender cómo interactúan las distintas variables para mejorar la eficiencia del reciclador.*
- Diseñar un modelo de proceso de logística inversa que se adecue al contexto colombiano y que permita aumentar la eficiencia del rol del reciclador: *aborda directamente la*

necesidad de proponer soluciones innovadoras y tropicalizadas soportadas en tecnologías agnósticas.

- Validar el modelo de proceso de logística inversa propuesto para el contexto colombiano: *garantiza que las soluciones planteadas son viables y efectivas en condiciones reales, reduciendo la incertidumbre mencionada en el planteamiento del problema.*
- Diseñar políticas para el uso del modelo de proceso de logística inversa propuesto: *establece un marco operacional que facilite la implementación del modelo, asegurando su sostenibilidad y eficacia en el contexto colombiano.*

Capítulo III. Marco teórico y estado del arte

3.1 Marco teórico

El fundamento teórico del presente estudio ha presentado investigaciones que abordan factores como la expansión poblacional, el progreso tecnológico, la carencia de educación ambiental en la población, el déficit en la implementación de estrategias de reciclaje, la adopción de prácticas industriales perjudiciales, y la existencia de empresas que operan fuera de la legalidad descargando sus residuos en cuerpos de agua y vertederos abiertos. Estos son algunos de los principales factores que contribuyen a los desafíos ambientales significativos relacionados con la generación y gestión de RSU (Martín y Moreno, 2021).

Para la construcción del estado del arte de la presente investigación, se llevó a cabo una revisión bibliográfica, la cual, fue realizada teniendo en cuenta las metodologías planteadas por Beltrán (2005), Higgins y Green (2008) y Kitchenham (2004). Se identificaron diferentes documentos en las bases de datos Dialnet, Redalyc, Scielo, Sciece Direct, Scopus, repositorios universitarios, leyes, decretos o resoluciones sobre la temática abordada y documentos oficiales de entidades como el Ministerio de Ambiente, entre otras, que se relacionan de forma directa con el tema de la gestión de los RSU.

La revisión estuvo enfocada en seleccionar los documentos que pudieran soportar teóricamente el abordaje de esta tesis doctoral sobre la pregunta ¿Qué modelo de proceso que adaptado al contexto colombiano permitiría mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos? Para la selección de los documentos que conformaron este capítulo teórico se establecieron las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- Gestión de residuos sólidos urbanos
- Rol del reciclador en el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos

- Modelo de proceso para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos
- Eficiencia del proceso de aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos
- Recuperación de residuos sólidos urbanos

Al iniciar la búsqueda con las ecuaciones definidas se obtuvieron 180 documentos. Para una selección de la información se establecieron diferentes criterios de selección y exclusión que permitieron seleccionar los documentos con aporte sobre la temática en estudio, siendo los siguientes los criterios de inclusión:

- Periodo de publicación del 2015-2024, debido a que este periodo coincide con un incremento en la atención global hacia la gestión de residuos sólidos, promovido por la Agenda 2030 de la ONU y los ODS.
- Artículos de científicos, capítulos de libro, tesis de grado, leyes, resoluciones, documentos oficiales de entidades del Estado colombiano.
- Estudios que involucren la aplicación de modelos de procesos, logística inversa o estrategias de mejora de procesos en el contexto de la gestión de residuos.
- En español e inglés

Una vez definidos los criterios para incluir el material bibliográfico necesario para el desarrollo de este capítulo se procedió a aplicar los siguientes criterios de exclusión:

- Trabajos no relacionados con la gestión de residuos o la eficiencia en el proceso de recuperación.
- Informes no revisados por pares o de fuentes no confiables.
- Estudios con enfoques exclusivamente teóricos sin aplicaciones prácticas.
- Documentos que requieran un pago para su descarga
- Documentos repetidos

Al aplicar los criterios y la lectura de los títulos y resumen de cada documento se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1. Se consideraron adecuados 60 documentos, observando que la mayor parte de las investigaciones se encuentran mayoritariamente en las dimensiones social y tecnológica, enfocándose en la mejora de: condiciones laborales y eficiencia en el proceso de gestión de RSU.

Tabla 1

Matriz de resultados material documental

Tipo de documento	Cantidad
Iniciales	180
Repetidos	20
Fuera del periodo de tiempo establecido para el análisis	70
Idioma diferente al español e inglés	15
Requerían de un pago para la descarga	15
Incluidos	60

3.1.1 Modelo de proceso: definición, objetivo, elementos, características y ventajas

Los modelos de proceso desempeñan un papel esencial en la optimización y el éxito de las organizaciones al proporcionar una comprensión clara de cómo se llevan a cabo las operaciones, el permitir mejoras continuas y el facilitar la toma de decisiones fundamentadas en datos (González, et al, 2019). Su importancia se extiende a una variedad de industrias y disciplinas, por el hecho de que mejoran la eficiencia, calidad y consistencia de las operaciones al identificar ineficiencias, reducir errores y estandarizar prácticas (González, et al, 2019).

Así mismo, Garbanzo (2015), considera que los modelos de procesos proporcionan transparencia y comunicación efectiva dentro de las organizaciones, facilitan la gestión del cambio al evaluar el impacto de modificaciones, identifican oportunidades de mejora, aseguran el cumplimiento normativo, respaldan la automatización, ayudan en la gestión de proyectos y retención de conocimientos, y permiten la toma de decisiones basada en datos.

En última instancia, los modelos de proceso son herramientas cruciales para la optimización y el éxito de las organizaciones en diversas industrias y disciplinas. Según Garbanzo (2015), un modelo de proceso proporciona la oportunidad de documentar y organizar la información sobre un sistema, esto refleja la importancia de disponer de distintas herramientas y técnicas que permitan y fomenten una correcta documentación y sistema de referencias alusivas a un determinado proceso (González, et al, 2019).

El modelado de procesos constituye una herramienta que permite disponer de técnicas de gestión que guían, dirigen y orientan los esfuerzos que deben ser realizados por parte de las empresas e individuos con la finalidad de cumplir exitosamente con los procesos que estos deben realizar (González, et al, 2019). Esto no solo permite mejorar la eficiencia de los procesos y los subprocesos derivados del mismo, sino que también apunta en la mejora sostenida de los resultados, a través de la observación del comportamiento del sistema y con base a las impresiones recopiladas de estrategias que permitan apuntar a mejorar las tareas y actividades que puedan ser mejoradas (Moreno, 2022).

El modelado de procesos se basa en cuatro pilares fundamentales, primero, se destaca la adquisición de conocimientos sobre la gestión de procesos como uno de los objetivos principales, ya que esto proporcionará el contexto y la información necesaria sobre el proceso y las

actividades involucradas (Moreno, 2022). Otro pilar, recalca la aplicabilidad de ese conocimiento adquirido, lo que implica tareas de reingeniería que permitirán realizar mejoras en los procesos ya existentes (Moreno, 2022).

El tercer pilar corresponde a la toma de decisiones, puesto que con base a la información recopilada con anterioridad y las tareas de reingeniería implementadas en miras de mejorar los procesos existentes, es posible el tomar decisiones de forma asertiva (Garbanzo, 2015).

Finalmente, también se presenta la interoperabilidad entre los procesos, como un cuarto pilar un mecanismo que permite el generar una retroalimentación sostenida entre cada uno de los distintos procesos que se presentan dentro de una organización o marca personal (Garbanzo, 2015).

Del mismo modo, resulta de gran relevancia identificar cuáles son los elementos claves que deben estar presentes dentro de cualquier modelado de procesos con la finalidad de saber reconocer los puntos vitales a considerar al momento que se desee diseñar una estrategia de este tipo. Al respecto de esto Slyde (2023), resume en cinco puntos fundamentales los cuáles son los principales elementos que debe incluir un modelo de procesos:

- Propósito, da respuesta a la pregunta sobre ¿qué hace una empresa o proyecto?
- Estructura, en donde se hace referencia al sistema organizacional presente dentro de la institución o grupo de trabajo.
- Funcionalidad, refleja la relevancia que posee dentro del mercado con la finalidad de medir el impacto dentro del mismo.
- Dinámica, en donde se observa el comportamiento del proceso con su entorno.
- Componentes, descripción de las unidades organizacionales de la empresa y otros actores.

En este sentido, un modelo de proceso es una representación abstracta y estructurada de cómo se lleva a cabo un proceso (González, y otros., 2019). Es significativo resaltar que la definición no está asociada a un autor específico, ya que, es un concepto ampliamente aceptado y utilizado, además de respaldado por una comunidad de expertos y profesionales en gestión empresarial (Brunnello, y Rocha, 2010; Campo, et al, 2015; Rojas López, 2014).

3.1.2 Logística inversa como modelo de proceso para la mejora de la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos

La logística inversa, conocida internacionalmente según Misath, y otros. (2021) como "reverse supply chain", abarca todo el proceso de flujo de productos y accesorios que comienza después de la entrega del suministro inicial. Tradicionalmente conocido como "devoluciones", engloba la optimización de este flujo inverso de productos y envases, analizando todas las posibles alternativas: la reutilización en la cadena de suministro, reparación, restauración, remanufactura parcial, reciclaje de materias primas o eliminación definitiva, y toma de decisiones en cada caso sobre qué enfoque aplicar, así cómo y cuándo implementarlo.

En los demás procesos involucrados en la logística inversa, los ciclos de vida cada vez más cortos de los productos, el exceso de oferta, la volatilidad de la demanda que esto genera, y la legislación medioambiental vigente, han incrementado y complicado este flujo inverso en la última década (Misath et al., 2021). La logística inversa engloba un conjunto de operaciones logísticas que incluyen la recopilación, desmontaje y descomposición de productos previamente utilizados, así como de sus componentes y diversos tipos de materiales (Rentero, 2018). Su finalidad es maximizar la utilidad y el valor de estos elementos, promoviendo su reutilización, uso sostenible y, en última instancia, su eliminación responsable (Montes y Rodríguez, 2022).

La logística inversa para Misath, y otros. (2021) se fundamenta en el aprovechamiento sostenible de todos los materiales, productos y recursos presentes en las cadenas de producción, independientemente de su naturaleza o sector industrial. El término "inversa" denota una producción que se rige por principios de sostenibilidad y respeto hacia el medio ambiente, y desde el principio, sugiere los objetivos que busca alcanzar esta modalidad de logística (Montes y Rodríguez, 2022). Campoverde, et. al, (2022) definen la logística inversa como el conjunto de procedimientos y acciones requeridos para gestionar el retorno y reciclaje de bienes dentro de la cadena de suministro.

De acuerdo con López (2017), la logística inversa forma parte de la tendencia conocida como "la cadena de suministro inversa", en la cual, los fabricantes avanzados están implementando procesos para reutilizar sus productos. El aumento reciente en el interés y estudio de la logística inversa se debe a varios factores clave: el incremento notable en la cantidad de productos que son devueltos, las oportunidades de venta en mercados secundarios, la creciente presencia de devoluciones al final de la vida útil de los productos, la presión ejercida por los consumidores sobre las empresas para que se hagan responsables de la disposición adecuada de productos que contienen materiales peligrosos, y la realidad de que la capacidad de los vertederos se ha vuelto limitada y costosa (Serna, 2023).

En este sentido, es importante destacar que la logística inversa según Montes y Rodríguez, (2021) representa un sector de gran importancia en el ámbito de la logística, abarcando una amplia gama de actividades. Entre estas actividades, algunas tienen un enfoque principalmente ecológico, como la recuperación y el reciclaje de productos. Mientras que otras buscan mejoras y beneficios adicionales en los procesos de producción y en el abastecimiento de mercados (Montes y Rodríguez, 2021). Por lo tanto, procesos como la gestión de excedentes de inventario,

devoluciones de clientes, productos en desuso, inventarios remanentes de temporadas pasadas, entre otros, junto con operaciones que incluyen la recolección, clasificación, reacondicionamiento y redistribución hacia el punto de venta o mercados secundarios, se pueden considerar como parte integral de la logística inversa (Serna, 2023).

Cuando una empresa recibe un producto devuelto, ya sea dentro del período de garantía o al final de su ciclo de vida útil, tiene diversas opciones para gestionarlo y recuperar parte de su valor. Estas opciones según Burneo, et al, (2016), están sujetas a múltiples consideraciones, como factibilidad técnica, calidad del producto, disponibilidad de infraestructuras, costos asociados y efectos ambientales, entre otros que tienen incidencia en el adecuado desempeño de las actividades de la logística inversa. Estas actividades abarcan una variedad de acciones, que de acuerdo con Misath, y otros. (2021), abarcan la reparación (restaurando productos a una calidad inferior que la de los nuevos), renovación (mejorando productos a una calidad específica), reciclaje (recuperando materiales para su reutilización), canibalización (recuperando partes reutilizables de conjuntos), reutilización directa (sin transformación significativa), destrucción del producto, venta a terceros, eliminación en vertederos (sin reutilización), restauración (conservando la identidad del producto) y re fabricación (creando nuevos productos utilizando componentes de los productos devueltos).

En el contexto medioambiental, Vargas (2023) afirma que la logística inversa se erige como un concepto fundamental y una solución innovadora que fomenta la aplicación de la conocida "regla de las 3 erres", que implica la disminución de productos desechados, la reutilización de estos materiales y su posterior reciclaje para generar otros nuevos que puedan aprovecharse. Ante estos desafíos en constante aumento, es de suma importancia que las empresas adopten la logística inversa como una estrategia esencial para asegurar la sostenibilidad

a largo plazo del comercio y para preservar los recursos naturales en beneficio de las generaciones futuras (Sánchez, 2019). Además, Sanmartin, *et al.* (2017) afirman que, a largo plazo, la implementación de un modelo de logística inversa ofrece una variedad de beneficios que permiten recuperar la inversión inicial.

3.1.3 Modelos de proceso en la gestión de la recolección de RSU en Colombia

La Gestión de la recolección de RSU constituye un mecanismo que permite mejorar los sistemas de tratamiento y disposición final de los residuos, de tal manera que permita reducir su impacto ambiental. Al respecto de esto, se define la GRSU como un conjunto de operaciones que se realizan con los residuos desde que se generan en los hogares y servicios, hasta la última fase del tratamiento (AIDIS, 2018). Lo anterior, describe el hecho que los GRSU se encuentran enmarcados dentro de los procesos de educación ambiental, saneamiento y reciclaje, puesto que involucra una serie de procedimientos y técnicas que permiten transformar los RSU con la finalidad de obtener nuevos productos, o proporcionar una segunda utilidad de los mismos por medio de técnicas de reciclado, lo cual, contribuye a la reducción del impacto ambiental negativo generado en gran medida por los distintos procesos de industrialización (AIDIS, 2018).

Por otro lado, Rivas (2018) señala que la GRSU puede ser entendida como un conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización, que también incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables. Desde esta perspectiva, la GRSU se puede definir como un conjunto de procesos orientados a la reducción, transformación y aprovechamiento de los RSU con la finalidad de transformar dichos productos

que generalmente terminan como desecho, en nuevos recursos de carácter energético o comerciales.

Dentro del contexto colombiano, son diversos los planes y procesos que se generan en materia de GRSU, lo cual ha permitido no solo la búsqueda de un correcto reciclado y aprovechamiento de los recursos reciclables, sino también una propuesta de gestión en materia de todos aquellos recursos que dada su tipología no pueden ser reciclados de forma correcta, por lo que es necesario el realizar una serie de procedimientos con la finalidad de reducir su impacto dentro del ecosistema (Atica, 2021). Gracias al apoyo del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, en conjunto con la legislación actual vigente del país, como la Ley 1450 de 2011, el Decreto 2981 de 2013 y el Decreto 1076 de 2015, Colombia posee un amplio trayecto avanzado en materia de la GRSU. Sin embargo, resulta necesario conocer a detalle cada una de las etapas o fases que comprenden el proceso de GRSU. Para ello, se presenta la figura 5 con la catalogación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021):

Figura 5

Etapas del proceso de GRSU



Fuente: Elaboración propia

Desde este contexto, es necesario diseñar estrategias que posibiliten la implementación de una efectiva administración de desechos sólidos en áreas donde se enfrenta el desafío de una baja cobertura en la prestación de servicios públicos de recolección de basura y la existencia de lugares inapropiados para la disposición final de residuos. Rivas (2018), define un "sitio inadecuado de disposición final" como cualquier sitio en el que no se apliquen principios de ingeniería para la contención y el aislamiento de residuos sólidos, así como el tratamiento de los gases y lixiviados generados por estos residuos. Por lo tanto, resulta adecuado entender el proceso de gestión de residuos. Si las entidades locales no suministran los medios requeridos para establecer la infraestructura necesaria que asegure la prestación continua, ininterrumpida y de alta calidad del servicio de recogida, tratamiento y eliminación final de desechos, los impactos adversos sobre el medio ambiente y el bienestar de la población en dichas zonas continuarán (Herrera, y otros., 2023).

Los modelos de proceso son fundamentales en la gestión de la recogida de RSU debido a su capacidad para optimizar las operaciones, que permiten planificar rutas eficientes de recolección, reducir costos operativos, mejorar la calidad del servicio y garantizar el cumplimiento normativo (Rivas, 2018). Además, contribuyen a la reducción de impactos ambientales al minimizar la huella de carbono y el consumo de recursos. Los modelos de proceso facilitan la gestión de crisis y la mejora continua al proporcionar un marco de referencia claro para la toma de decisiones basadas en datos. En conjunto, desempeñan un papel esencial en la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad del servicio en la GRSU, beneficiando tanto a las comunidades como al medio ambiente (Tineo y Valiente, 2022). Esto se puede observar en la figura 6 a continuación:

Figura 6

Actividades del proceso de GRSU



Fuente: Adaptado de Ática (2021)

De acuerdo con lo mostrado en la figura anterior se vislumbran los procesos dentro de cada una de las etapas de la GRSU planteadas por el Ministerio de vivienda (2015). En la figura se ilustran los procesos de “separación” los cuales involucran la selección de desechos de acuerdo a su origen y

“comercialización”. Este último proceso se encarga de la distribución y venta de los productos resultantes (Montes, 2018). De igual manera, también destacan algunas iniciativas promovidas por parte del ejecutivo nacional en materia de políticas públicas enmarcadas dentro del desarrollo sostenible. El Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021), presentó en su informe de gestión la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC), la cual se centra en seis flujos fundamentales: flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo, flujos de materiales de envases y empaques, flujos de biomasa, fuentes y flujos de energía, flujo del agua y flujos de materiales de construcción.

La ENEC permite no solo el fortalecer y promover el uso eficiente de los recursos naturales, sino que también permite el generar espacios para el desarrollo de nuevos conocimientos y tecnologías dentro de la sociedad colombiana. El Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PNGIRS,2018) destaca las metas, programas, proyectos y actividades orientadas al manejo adecuado de los recursos sólidos, por medio del apoyo de la industria colombiana. Este plan busca el garantizar un mejoramiento continuo de los residuos, así como el garantizar la prestación de servicios de aseo a nivel municipal o regional por medio de evaluaciones constantes de su eficacia las cuales son analizadas por cada una de las instituciones participantes del PNGIRS.

En la gestión de la recolección de RSU según Cárdenas, y otros. (2019), implica una serie de etapas que abarcan desde la planificación y la recolección hasta el procesamiento y la disposición final de los residuos. Cada una de estas etapas involucra una serie de variables y consideraciones clave. La gestión de la recogida de RSU implica una planificación cuidadosa y la consideración de numerosas variables en cada etapa del proceso para garantizar una gestión eficiente, sostenible y cumplir con las regulaciones ambientales y de salud pública (Montes,

2018). El uso de modelos de procesos en la GRSU en Colombia puede tener un impacto positivo en la eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental, transparencia, la rendición de cuentas, y la participación ciudadana. Estos modelos han permitido mejorar la gestión de residuos a nivel de políticas públicas y contribuir al desarrollo sostenible del país (Montes, 2018).

3.1.4 Actores en la GRSU

Una vez entendidos los procesos y actividades realizadas dentro de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, resulta de gran importancia el conocer y describir el papel que juegan cada uno de los actores involucrados dentro la GRSU, con la finalidad que se pueda disponer de un mayor nivel de entendimiento en cuanto a responsabilidades, funciones y atribuciones. Al respecto de ello, Rivas (2018), señala los principales actores que conforman la GRSU, dentro de ellos destacan: Gobierno, organismos de gestión, operadores y ciudadanos.

Del mismo modo, dentro del PNGIRS se enlistan las principales responsabilidades de cada uno de los individuos mencionados con anterioridad, en donde se destaca el rol del estado (Gobierno) como el principal propulsor de estrategias y herramientas de políticas públicas en materia ambiental que contribuyan en la recolección y disminución de los desechos.

Paralelamente, se observa el rol que juegan los Organismos de Gestión como instituciones encargadas de velar por la aplicabilidad de las políticas promovidas por parte de la ISO 14001:2015. Este rol es ocupado por la administración de los municipios y distritos los cuales se encargan de velar por el cumplimiento de dichas políticas.

Rivas (2018), también menciona el rol de operadores como los encargados de realizar las tareas de recolección, selección, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, para ello, se hace uso de los servicios de aseo público y privado presentes en el país para

lograr cumplir con dicho propósito. Y finalmente, se encuentra el rol de los ciudadanos como todos aquellos usuarios encargados de la generación de desechos, por lo que resulta ser el foco central el apuntar hacia este grupo de individuos en la promoción y fomento de actividades que impulsen el reciclaje con la finalidad de realizar una disminución de los niveles de residuos generados por los mismos.

Tabla 2

Relación de Actores y Actividad en la GRSU

Actor	Actividad
Gobierno	Genera políticas públicas para la GRSU
Organismos de Gestión	Implementación de las políticas diseñadas
Operadores	Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición final
Ciudadanos	Generadores de residuos

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 puede verse de forma resumida las principales actividades en los que los actores mencionados dentro del PNGIRS se ven involucrados directamente. Adicionalmente, se evidencia el hecho de como este proceso puede ser visto bajo un enfoque lineal en donde cada uno de los actores tiene sus responsabilidades y atribuciones previamente estipuladas, y como la falla en cualquiera de ellos puede llegar a generar impactos negativos dentro de toda la GRSU (Rivas, 2018).

3.1.5 Medición de desempeño de modelos de proceso de la GRSU

En un modelo de gestión resulta importante el disponer de métricas o datos de interés que permitan el analizar si las medidas o actividades realizadas han generado algún tipo de impacto (positivo o negativo) dentro de la sociedad y en consecuencia tomar las acciones correctivas en base a los indicadores reflejados (Camargo, 2019). Al respecto de esto, la ISO 14031:2015, señala una serie de requisitos de interés relacionados a los de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), el cual señala tres tipos de indicadores de desempeño fundamentales:

- El indicador de rendimiento de gestión (MPI): Mide cómo las acciones de gestión impactan el desempeño ambiental de una organización.
- El indicador de rendimiento operacional (OPI): Refleja el desempeño ambiental relacionado con las operaciones de una organización.
- El indicador de estado del medio ambiente (ECI): Proporciona datos específicos sobre la situación del entorno a nivel local, regional, nacional o global.

La medición de desempeño de modelos de procesos o sistemas de GRSU es un proceso que implica evaluar y cuantificar cómo funciona un sistema o proceso en términos de su eficiencia, eficacia, calidad y otros indicadores clave. Esta medición, según Seguí, y otros. (2018), tiene como objetivo principal proporcionar información objetiva y basada en datos para evaluar y mejorar continuamente el desempeño del sistema de GRSU. Por lo tanto, usar indicadores de GRSU alineados con las normas y recomendaciones de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, 14031: 2015) representa una estrategia precisa para evaluar, comprender y analizar los resultados de las prácticas de manejo de desechos implementadas.

Desde este contexto, acciones como observar indicadores clave como el presupuesto dedicado a iniciativas ambientales, porcentaje de metas ambientales alcanzadas, volumen anual de residuos

industriales recolectados, cantidad anual de residuos de manejo especial, cantidad anual de residuos peligrosos y cantidad anual de residuos inorgánicos, entre otros, son fundamentales para medir la efectividad y el rendimiento de las políticas de GRSU en una comunidad (Montes, 2018). Una métrica clave de desempeño en sistemas de recolección de RSU es la eficiencia, según Rodríguez y Hernández (2018), esta evalúa cómo se utilizan los recursos disponibles para llevar a cabo las operaciones de recolección de residuos.

Se refiere a la capacidad de realizar estas operaciones de manera óptima y minimizar la cantidad de recursos utilizados en relación con la cantidad de residuos recogidos (Herrera y otros., 2023). La eficiencia como métrica de desempeño en sistemas de gestión de recolección de RSU se enfoca en la optimización de recursos y operaciones para lograr el máximo resultado con los recursos disponibles (Rodríguez y Hernández, 2018). Según Herrera, y otros. (2023), el Desarrollo Sostenible y la GRSU, poseen una estrecha vinculación en vista que ambos buscan el mejorar y optimizar la calidad de vida de la población, y paralelamente el satisfacer las necesidades en materia de gestión medioambiental por medio de un uso sostenido y adecuado de los procesos inherentes a la recolección, categorización y manejo de los desechos sólidos generados dentro de las ciudades urbanas.

3.2 Estado del arte

En el marco de la creciente problemática ambiental Vargas, y otros. (2022), destacan la urgencia de abordar la problemática ambiental derivada de la inadecuada gestión de residuos sólidos generados por actividades humanas. Recalcan la necesidad de implementar estrategias de GRSU más efectivas y sostenibles que incluyan la reducción, reciclaje y reutilización de materiales. Su estudio está enfocado en analizar estas problemáticas mediante una metodología que combina el

análisis cuantitativo y cualitativo de los impactos ambientales y sanitarios de la gestión de residuos. Los hallazgos revelan la efectividad de las prácticas de manejo sustentable en la mitigación de riesgos ambientales y de salud, resaltando su aporte significativo hacia una gestión de residuos que protege la salud pública y preserva el medio ambiente.

La situación anterior persiste en otros países como lo es el caso de Ecuador, donde Raza y Acosta (2022), realizaron un estudio comparativo sobre el impacto de la existencia de planes de manejo ambiental en el porcentaje de reciclaje de desechos sólidos urbanos, utilizando datos de la "What a Waste Global Database" del Banco Mundial. Analizaron 86 ciudades con planes de gestión ambiental y 30 ciudades sin ellos, encontrando que aquellas con un compromiso explícito hacia la mejora ambiental presentaron tasas significativamente más altas de reciclaje. Este hallazgo evidencia la importancia y la efectividad de la planificación ambiental estratégica para incrementar el reciclaje de desechos, aportando una evidencia empírica que respalda la implementación de políticas ambientales sólidas como medio para mejorar la gestión de residuos urbanos.

Este panorama no es diferente en Colombia, el estudio realizado por Cortes y Gámez (2019), ofrece un análisis comparativo sobre la cobertura del servicio público de aseo entre sectores urbanos y rurales en dieciséis departamentos, utilizando datos de la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ENCV) y herramientas como ArcGIS para evaluar las disparidades en el acceso y calidad de estos servicios. Los hallazgos destacan una brecha significativa entre áreas urbanas y rurales, evidenciando una deficiencia en la regularidad y calidad del servicio de manejo de residuos en las zonas rurales. Mediante un enfoque metodológico que incluye la visualización de datos y el análisis geoespacial, los investigadores proponen recomendaciones para mejorar la infraestructura y regulación de los servicios de aseo, enfatizando la necesidad de políticas

públicas que promuevan la equidad y sostenibilidad en la gestión ambiental y el acceso a servicios de calidad en todo el país.

En esta misma línea de investigación se presenta el estudio de Carvajal, y otros., (2022), que examinan la gestión de RSU en los catorce municipios de la provincia de El Oro, Ecuador, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de las prácticas actuales con el marco normativo vigente en materia ambiental. Utilizando una metodología cuantitativa transversal, los autores aplicaron un cuestionario desarrollado por la CEPAL y el Ministerio del Ambiente de Chile en 2019, enfocado en evaluar aspectos críticos de la gestión de residuos sólidos domiciliarios y la adherencia a la normativa y ordenanzas ambientales. Los hallazgos revelan una significativa discrepancia entre las prácticas de gestión de residuos en estos municipios y los requerimientos establecidos por la legislación, evidenciando un marcado incumplimiento en las buenas prácticas de manejo de residuos sólidos domiciliarios. Este estudio aporta una perspectiva crítica sobre la gestión de residuos en la provincia de El Oro, subrayando la necesidad urgente de mejorar las prácticas de gestión de residuos para alinearlas con los estándares normativos y contribuir a la sostenibilidad ambiental en la región.

Otro estudio de aporte para esta investigación es el realizado por Rodríguez, y Baca (2022) los autores investigaron la gestión de los RSU con un enfoque particular en Latinoamérica, utilizando un enfoque cualitativo y análisis documental para examinar las prácticas de generación, tratamiento y disposición final de residuos durante más de una década. A través de la revisión de 25 artículos, informes y documentos de control ambiental, identifican desafíos críticos como la inadecuada separación de residuos en la fuente y la falta de educación ambiental dentro de las políticas públicas. El estudio resalta la importancia de implementar programas, normativas y políticas que establezcan una gestión ambiental sólida para asegurar la

sostenibilidad, el derecho a la ciudad y el bienestar en las zonas urbanas, subrayando la necesidad de adoptar mejoras continuas y técnicas eficientes para la gestión sostenible de los RSU. Este trabajo contribuye al campo del manejo de residuos al sensibilizar sobre la GRSU y sugerir un camino hacia prácticas más sostenibles y eficientes.

De igual manera en México, los investigadores Salazar y Hernández (2018), identificaron los componentes esenciales del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SGIRSU) y evaluaron su eficacia a través de veinte indicadores divididos en cuatro fases específicas. Estas dimensiones están interconectadas y funcionan de manera sistémica, lo que significa que comprender las relaciones, los cambios tecnológicos sostenibles, la distribución espacial y otros factores es crucial para garantizar un adecuado manejo de los RSU. El estudio reveló un nivel de eficacia global del sistema considerado moderado debido a la insuficiente promoción de la separación de residuos en su origen y la baja participación de la comunidad.

Por otra parte, el estudio de García, et. al (2022), se sumerge en el análisis de los residuos resultantes del proceso de producción de azúcar de caña, empleando una revisión sistemática a través de buscadores especializados para explorar no solo la generación de residuos sino también las posibles aplicaciones para su reutilización. La investigación revela que, aunque los residuos derivados de la producción azucarera pueden tener impactos negativos tanto en el medio ambiente como en la salud humana, existen métodos viables para convertir estos desechos en recursos menos contaminantes. Este trabajo aporta al campo de la gestión ambiental y la sostenibilidad industrial, destacando la importancia de adoptar prácticas de reciclaje y reutilización de residuos para mitigar los efectos adversos en el entorno natural y promover un enfoque más ecológico en la industria azucarera.

Siguiendo la misma línea investigativa, Moreno (2022), realizó una propuesta para el manejo de residuos sólidos, en este estudio se aborda la problemática de la gestión deficiente de residuos sólidos y su repercusión en crisis ambientales significativas, tanto para los ecosistemas como para las comunidades cercanas. La investigación, motivada por la urgente necesidad de mejorar las prácticas de gestión de residuos y la cultura de aprovechamiento y separación de materiales desde la fuente, propone estrategias basadas en el contexto local, los marcos normativos internacionales y las regulaciones colombianas. Además, sugiere la adopción de avances tecnológicos que permitan reducir tanto la generación de desechos como su volumen en los rellenos sanitarios, con el fin de extender la vida útil de estos espacios y disminuir los impactos ambientales negativos. Este trabajo aporta una visión integral y aplicada para abordar la gestión de residuos sólidos, enfatizando la importancia de una transformación en las prácticas ambientales a nivel local.

Por su parte Díaz y Cardozo (2022), desarrollaron un análisis de la gestión de los residuos orgánicos en Colombia a través de la visualización del marco legal vigente representado por medio de un dashboard (tablero de control). El trabajo tuvo el objetivo de examinar la gestión integral de residuos orgánicos en el ámbito distrital y nacional, enfocándose en la normativa aplicable y la promoción de una economía circular a través del aprovechamiento de dichos residuos. Utilizando una metodología proyectiva, identificaron la legislación y las entidades involucradas, establecieron criterios para la visualización, y formularon recomendaciones para mejorar la gestión de residuos sólidos orgánicos. El análisis identificó dieciséis normativas nacionales y distritales, así como tres políticas tanto a nivel nacional como distrital. Es necesario destacar que, en este contexto, las normativas se refieren a regulaciones específicas que deben cumplirse, mientras que las políticas establecen directrices o enfoques generales. Sin embargo,

dado que ambas cumplen un rol complementario en la regulación del sector, se ha optado por utilizar el término normativas para englobar ambos conceptos relacionados con la gestión de residuos orgánicos, resaltando la importancia de una visualización efectiva del marco legal para impulsar prácticas sostenibles en la gestión de residuos.

Otro aporte para esta investigación es la tesis doctoral de Ayala (2023), sobre las relaciones intergubernamentales en la gestión de residuos sólidos urbanos en la Zona Metropolitana del Valle de México, Se utilizó un enfoque de redes de políticas públicas y del modelo de corrientes múltiples, que hace referencia a las diversas corrientes o flujos de problemas, políticas y política pública que interactúan en el proceso de formulación y ejecución de políticas. El estudio concluyó que es fundamental que los municipios cumplan con las disposiciones legales y establezcan un mecanismo de cobro por los servicios de recolección de basura para mejorar y fortalecer la prestación de estos servicios.

Respecto a los desafíos del sistema de gestión de RSU en Colombia, Muñoz, et al, (2023) llevó a cabo una revisión de literatura y entrevistas con partes interesadas como gerentes de empresas de gestión de residuos, recicladores y asesores ambiental de Bogotá. La investigación revela importantes desafíos que enfrenta el país, incluida la implementación limitada de tecnología de eliminación de desechos, la gran dependencia de los rellenos sanitarios, la falta de conciencia ciudadana y las bajas tasas de reciclaje, así como una prestación inadecuada de servicios en regiones rurales y remotas. Además, se consideran las características y barreras únicas en Colombia que obstaculizan la implementación de la innovación, como las altas tasas de corrupción, un gran sector informal y la falta de experiencia. Finalmente concluyen que, si bien Colombia exhibe políticas ambientales claras y mejores tasas de recolección y reciclaje de

residuos en comparación con los países vecinos, aún persisten desafíos importantes, incluida una alta generación de residuos y bajas tasas de reciclaje.

Así mismo, los investigadores Tröger, y otros., (2023), utilizaron un enfoque de ecología industrial (EI) para afrontar problemas socioecológicos generalizados en el sur global: acumulación de desechos, desempleo y falta de vivienda adecuada. Aplicaron un análisis PESTLE⁴ y el método de la matriz FODA⁵ para identificar los riesgos para el éxito de una estrategia basada en EI, incluyendo los principales actores y partes interesadas de la gestión de residuos. Reportan que los problemas clave incluyen la informalidad y la baja proactividad de las organizaciones sin fines de lucro, las fluctuaciones en la economía nacional, las ineficiencias en la recolección y recuperación de desechos, y la falta de conciencia y políticas sobre separación de desechos. Además, destacan que un desafío importante es la subvaloración de la relevancia, la experiencia y la eficiencia de la clasificación y el procesamiento de residuos por parte de los recicladores informales y las organizaciones sin fines de lucro. Estas prácticas deben reconocerse como una simbiosis⁶ del metabolismo urbano con el industrial.

En el estudio realizado por Gutiérrez, y otros. (2021), se propone un enfoque sistémico para abordar el problema de la operacionalización de las relaciones entre los Recicladores del Sector Informal (RSI) y los servicios públicos en la Ciudad de México. La metodología aplicada fue el modelo de sistema viable (VSM por sus siglas en inglés), con el objetivo de diseñar una estructura organizacional que logre integrar los RSI en la gestión de RSU, mejorando sus

⁴ Herramienta de análisis del macro entorno a través de la identificación de factores Políticos, Económicos, Social, Tecnológico, Legal y Ecológico.

⁵ Herramienta estratégica de toma de decisiones que analiza Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de un sistema.

⁶ Colaboración e intercambios entre diferentes actores para aumentar la eficiencia de un sistema, mejorando finalmente el beneficio individual.

condiciones de vida y aumentando la recuperación de residuos reciclables. Los resultados indicaron que la eficiencia en la gestión ambiental de residuos, aceptada desde una perspectiva social y viable desde un punto de vista financiero, se puede lograr incluyendo a los RSI como actor principal en el reciclaje de RSU. Por otro lado, el estudio informa que es necesario identificar las actividades primarias que llevarán a cabo las cooperativas y microempresas y los encargados de gestionarlas para asegurar su éxito.

Respecto a la necesidad de la regulación del trabajo informal, Rosaldo (2024) propone que la regulación estatal podría ser una herramienta versátil para ser utilizada por los trabajadores como las elites, a menudo con fines contradictorios. El autor utiliza este enfoque para analizar resultados diferenciales entre los esfuerzos para formalizar el trabajo de los recicladores en São Paulo, Brasil, y Bogotá, Colombia. A través de 24 meses de investigación de campo, el autor documenta cómo las políticas de formalización de São Paulo beneficiaron a unos pocos recicladores informales, mientras que las de Bogotá elevaron los ingresos, las condiciones y las voces de miles de trabajadores en las mismas condiciones de informalidad. La investigación sugiere que es probable que la formalización produzca resultados favorables a los trabajadores sólo cuando estos posean suficiente poder sobre el diseño y la implementación de políticas.

Es importante destacar investigaciones que estén alineadas con estrategias de solución en esta línea, como lo es el estudio de Fonseca (2023) referido alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) en Bogotá: Enfoque de economía circular en el que se analizan las estrategias de gestión de las 6.500 toneladas diarias de residuos sólidos que Bogotá envía a rellenos sanitarios, destacando que el 51% corresponde a RSO. Destacándose la transición hacia una economía circular como solución al modelo lineal de gestión previo, presentando alternativas como compostaje, biodigestores y plantas de biogás que contribuyen a la

reducción de emisiones de GEI mediante la revalorización energética de los RSO. Sin embargo, se identifican desafíos como la falta de inversión tecnológica, acceso limitado a información, la necesidad de valorar el trabajo de los recicladores y la claridad normativa para la generación energética. El análisis pone de relieve el problema fundamental de la inadecuada separación en fuente, que limita el aprovechamiento del potencial energético de los RSO, impidiendo aumentar la tasa de aprovechamiento y la generación de productos comercializables bajo el enfoque de la economía circular.

En consonancia con la necesidad de mejoras en la GRSU se cuenta con el estudio presentado por Muñoz, y otros. (2023), quienes examinaron y contrastaron diversas metodologías avanzadas y tecnologías para el manejo de residuos globales con las prácticas predominantes en Colombia, como la biodigestión y el compostaje, con el objetivo principal es investigar la ausencia de técnicas de vanguardia, como la termovalorización en el contexto colombiano. El estudio se estructura en dos fases teóricas: la primera sobre la clasificación y reutilización de residuos y la segunda sobre las tecnologías innovadoras disponibles mundialmente. Utilizando un enfoque cualitativo e inductivo, este estudio busca generar teorías sobre la gestión de residuos y analizar información para comprender y responder a los desafíos específicos de implementación en Colombia, resaltando la necesidad de adaptación y adopción de tecnologías avanzadas en el país.

Por su parte, López y Franco, (2021) en su investigación revisan de modo minucioso los desafíos actuales en la gestión de residuos sólidos en Colombia, destacando métodos alternativos como el compostaje, la incineración, la pirólisis y la gasificación, que se presentan como soluciones técnicamente viables y ambientalmente sostenibles frente al tradicional uso de rellenos sanitarios. A través de un análisis de normativas como la Resolución 1390 y el Decreto 838 de

2005, junto con informes de empresas prestadoras de servicios sanitarios, especialmente en Medellín y Antioquia, el estudio identifica una desproporción significativa entre la cantidad de residuos generados y las capacidades de disposición final disponibles. Si bien Colombia cuenta con los avances técnicos necesarios para modernizar su infraestructura en este campo, la falta de voluntad política, tanto a nivel local como nacional, emerge como el principal obstáculo para la implementación de tecnologías que promuevan el aprovechamiento integral de los residuos. La investigación ofrece una visión crítica de las dinámicas territoriales en la gestión de residuos sólidos, enfatizando la necesidad de estrategias más sostenibles y efectivas que potencien las capacidades institucionales del país.

3.2.1 Conclusión sobre el estado del arte

La revisión de la literatura indica una preocupación creciente y una necesidad urgente de mejorar la gestión de residuos sólidos a través de enfoques sostenibles y eficientes. Estudios como el de Moreno (2022) y Díaz y Cardozo (2022), destacan el impulso hacia prácticas que integren la tecnología y la legislación para optimizar el manejo de residuos sólidos. En particular, el énfasis se ha puesto en mejorar la separación en la fuente, el aprovechamiento de residuos, y la adopción de la economía circular como alternativas sostenibles frente a los modelos de gestión lineal tradicionales. Sin embargo, aunque se ha avanzado en la conceptualización y la formulación de políticas, la implementación práctica sigue enfrentando desafíos significativos, como la limitada adopción de nuevas tecnologías y una coordinación eficaz entre los diferentes actores gubernamentales y locales.

Esta investigación tiene como objetivo abordar los vacíos existentes en la literatura mediante una evaluación exhaustiva de la aplicabilidad de nuevas tecnologías para la gestión de

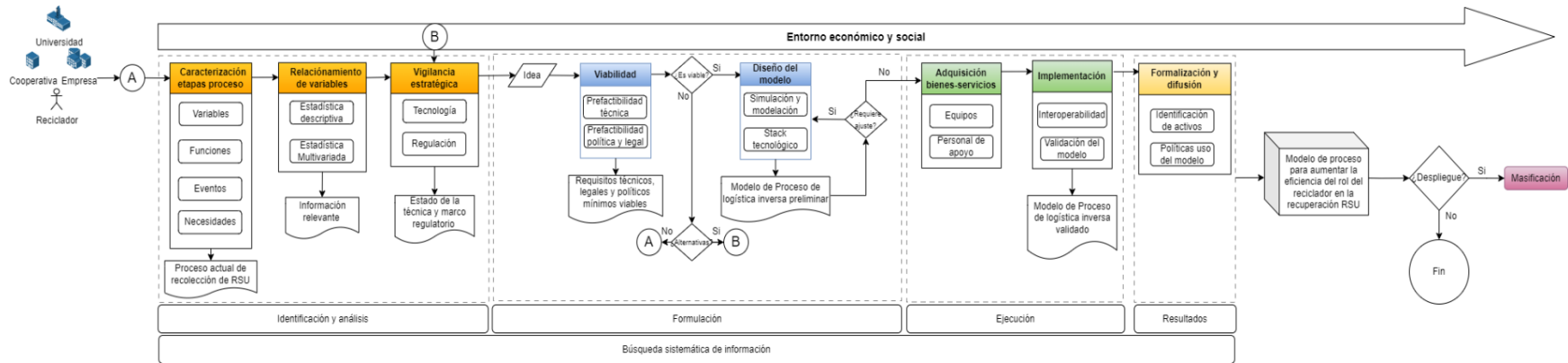
residuos sólidos en Colombia. A través de un estudio empírico, se exploran las condiciones específicas bajo las cuales estas tecnologías podrían ser implementadas, teniendo en cuenta los desafíos legales, económicos y culturales particulares del contexto colombiano. En lugar de desarrollar un modelo teórico, el estudio se enfoca en la creación de un modelo de proceso que integre estas necesidades identificadas. Este modelo de proceso sirve como una herramienta práctica para los formuladores de políticas y gestores de residuos, facilitando la adaptación de las tecnologías a las realidades locales, al hacerlo, el estudio contribuye al conocimiento académico, proporcionando una guía práctica para mejorar la gestión de residuos en Colombia y en contextos similares en desarrollo.

Capítulo IV. Marco Metodológico

En este capítulo se presenta la ruta metodológica definida para el desarrollo de los objetivos formulados, en la figura 7 se presentan las distintas fases, actividades, productos y actores claves en la gestión de RSU, lo cual, permitió avanzar hacia el diseño del modelo de procesos.

Figura 7

Esquema general de proceso investigativo



Fuente: Elaboración propia

4.1 Tipo de investigación

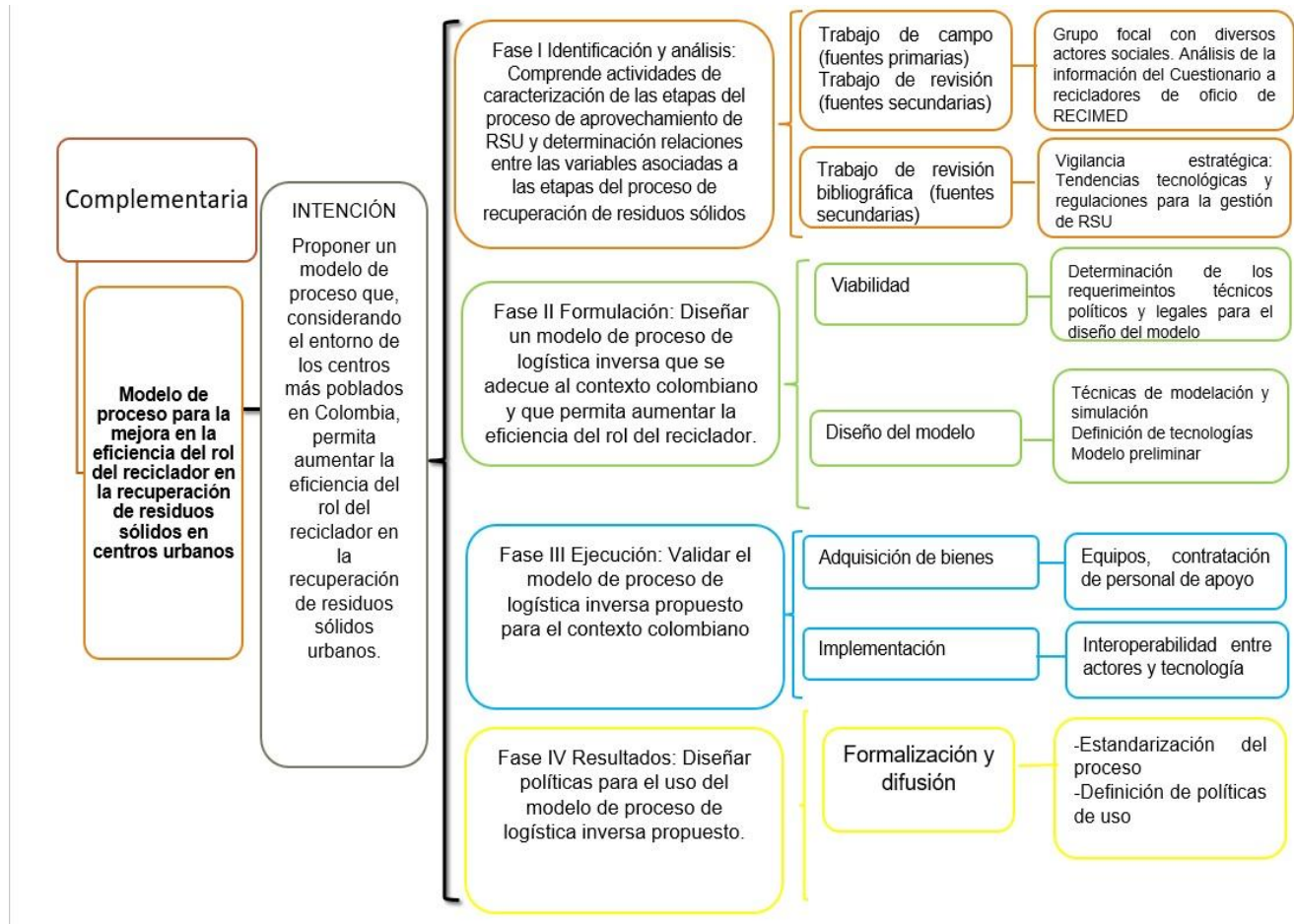
La ruta metodológica se encuentra constituida por 4 fases: identificación y análisis, formulación, ejecución y resultados. Para el desarrollo de cada una de ellas se llevaron los procedimientos necesarios que determinaron el tipo de investigación, que en este caso es de complementariedad investigativa, ya que, se integraron datos de tipo cuantitativo y cualitativo, así como también los aportes de la revisión teórica (Bericat, 1998).

Cook y Reichardt (2005), afirman que la combinación de métodos resulta más adecuada para alcanzar comprensiones globales no excluyentes. La investigación presente asume esa realidad social (el proceso de reciclaje y las condiciones laborales del rol del reciclador) donde la construcción es un proceso social (Ibáñez, 2001). En consecuencia, la investigación recopiló información de tipo cualitativa, proveniente del diálogo entre el investigador y los sujetos de investigación (González, 2007). Para ello, se hizo uso de un conjunto de 8 entrevistas semi estructuradas que contenían las preguntas estímulos para cada grupo objeto de estudio.

Además de este enfoque cualitativo, la investigación recopiló información cuantitativa, que, en palabras de Hernández, y otros. (2018), cumplen con el propósito de caracterizar a los recicladores, determinar la viabilidad del modelo de proceso, análisis del estudio de mercado, el cálculo de costos, las formulaciones, elaboración de tablas de frecuencia y bidimensionales, entre otros elementos de carácter cuantitativo que fueron necesarios en el curso de la investigación. Por su parte, el estudio se soporta en datos bibliográficos, característicos de la metodología documental para el complemento de las fases de caracterización, formulación y ejecución (Barbosa, y otros., 2013). Para el alcance de los objetivos formulados se llevaron a cabo una serie de actividades de trabajo de campo y revisiones documentales que presenta la ruta metodológica de la investigación en la figura 8:

Figura 8.

Ruta metodológica del proceso investigativo



Fuente: Elaboración propia

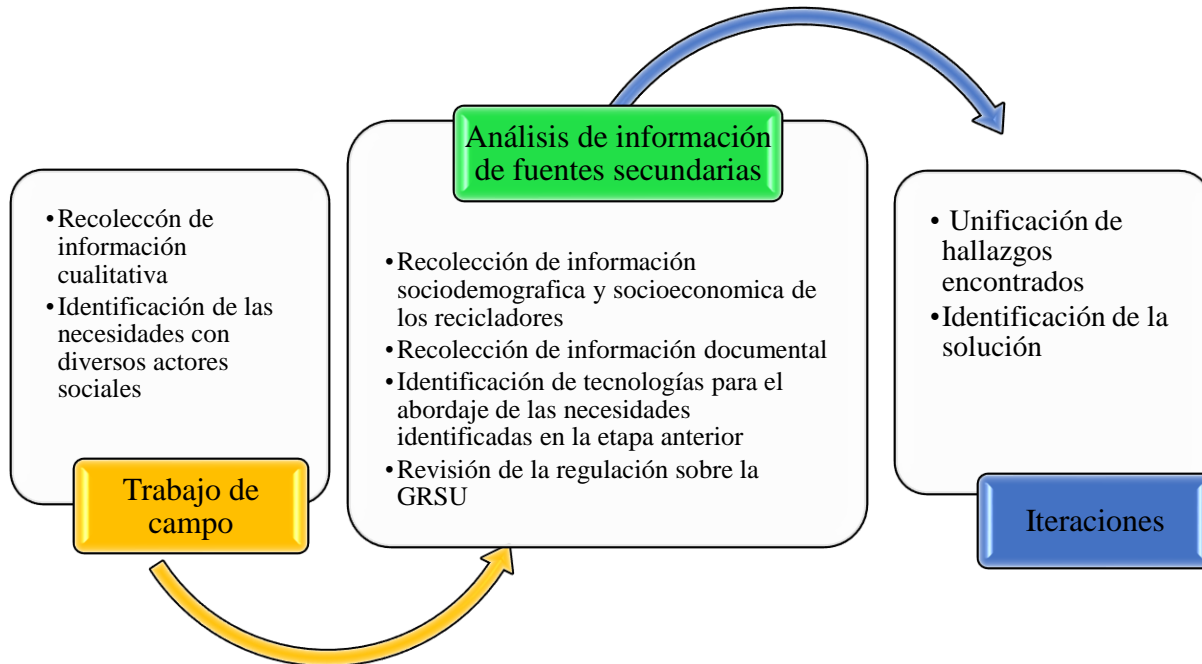
4.2 Fase de identificación y análisis

En esta fase se realizaron las actividades correspondientes a la caracterización de las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos y la determinación de las relaciones entre las variables asociadas a las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos. En el primer caso, se recopila y analiza información relevante sobre el contexto actual del reciclaje en centros urbanos, identificando actores claves, recursos disponibles y necesidades existentes a través de técnicas de análisis exploratorio con el fin de ayudar a organizar la información que proveen los actores para detectar patrones de comportamiento, así como también algunos aspectos importantes del modelo como las influencias directas entre las variables, extraer e identificar los factores clave del problema estudiado.

Para esta fase se llevaron a cabo una serie de actividades que permitieron el acercamiento a las fuentes de información. En este caso en particular las de tipo cualitativo, documental y cuantitativo tal y como se ilustra en la figura 9 que presenta las etapas que comprendieron la caracterización con sus respectivas actividades:

Figura 9

Desarrollo de la fase de identificación y análisis



4.2.1 Trabajo de campo

La entrevista como técnica propia de la investigación cualitativa es una de sus técnicas por excelencia (Montañéz, 2009). Para este caso se hizo uso de la entrevista semi estructurada, que consiste en redactar unas preguntas estímulo que permiten dar inicio a la conversación entre el entrevistador y el entrevistado, este tipo de entrevistas permiten que el investigador genere el tema inicial a conversar, pero no limita las respuestas que deben suministrarse por parte del entrevistado sino que deja un espacio abierto en el dialogo donde pueden emerger aspectos diferentes a la pregunta inicial (Montañéz, 2009). En esta investigación se diseñaron un total de ocho fichas con preguntas y temas estímulos que dieron paso a la recolección de información con los informantes acerca de la temática abordada, las cuales pueden evidenciarse en el anexo A.

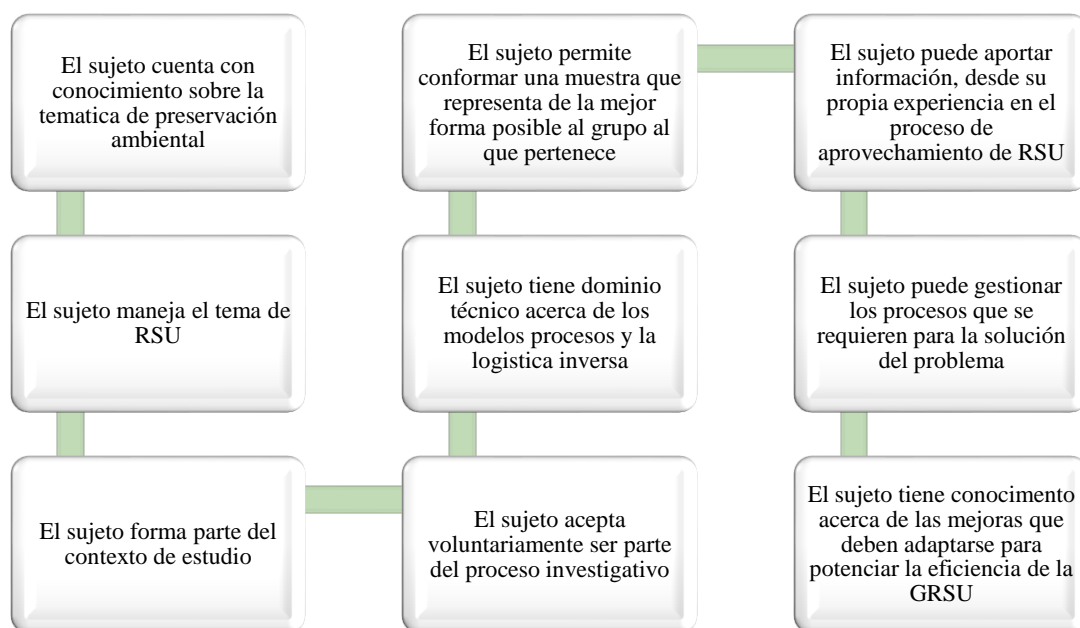
Es importante resaltar que, la recolección de información en esta etapa del proceso investigativo se llevó a cabo bajo la modalidad de grupo focal, que es aquella que se realiza

cuando se seleccionan no a individuos, sino a grupos como unidades de análisis y cuya intencionalidad es debatir acerca del tema objeto de estudio (Ivankovich y Araya, 2011). El procedimiento general de la técnica considera ocho procedimientos a saber: (1) definición del problema; (2) propuesta de estudio; (3) diseño y prueba de la guía de sesiones; (4) reclutamiento; (5) conducción de la sesión; (6) análisis e interpretación de datos; (7) escritura del reporte; y, (8) devolución de los resultados (Ivankovich y Araya, 2011).

En el desarrollo de esta sesión se presentan los procedimientos 1 y 2, y en las siguientes secciones se desarrollaron las 6 etapas restantes. Para los pasos 3, 4 y 5 se establecieron los insumos necesarios para el diseño y prueba de la guía de sesiones y la conducción de esta, lo cual, se presenta en el anexo A, como el protocolo de investigación determinado. Para el reclutamiento, se establecieron los siguientes criterios de selección de los entrevistados (Figura 10).

Figura 10

Criterios de selección de los actores sociales



Una vez definidos los criterios de selección de los participantes se procedió a identificar las organizaciones donde se podía contar con los expertos necesarios para el suministro de la información, esta identificación se llevó a cabo bajo un análisis de las actividades requeridas para el diseño del modelo, así como también la información necesaria sobre el contexto real del proceso de aprovechamiento de los RSU, por ello, se requería la participación de organizaciones que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión:

- Organizaciones que pertenezcan a la industria del reciclaje, debido a que cuentan con la información acerca del tipo y calidad de material que se requiere para el proceso de aprovechamiento y la obtención de nuevos productos con valor agregado.

- Cooperativas que realicen la recopilación de material aprovechable, ya que, ellos cuentan con el sistema de organización y recicladores que se encargan del proceso de selección y venta de residuos que pueden ser incorporados en nuevos procesos de aprovechamiento.

-Recicladores de oficio, se requiere la información acerca de las principales afectaciones que interfieren en la eficiencia del proceso de aprovechamiento y ellos son quienes conocen el contexto real de la recolección del material aprovechable.

-Academia, ya que, cuentan con profesionales con conocimiento y experiencia acerca de la gestión de RSU, requerimientos legales, requisitos técnicos, innovaciones tecnológicas que se pueden adaptar a la propuesta de solución, manejo de herramientas y dispositivos, entre otros aspectos técnicos que deben ser contemplados en el diseño del modelo.

Una vez definidos los criterios de inclusión para la selección de las organizaciones se seleccionaron las que cumplían con al menos un criterio de inclusión y a juicio del investigador se decidió optar por las opciones que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Matriz descriptiva de las organizaciones participantes

Nombre	Descripción	Ciudad donde operan
Carvajal S.A.	Carvajal S.A. es la matriz del grupo empresarial “Organización Carvajal” con negocios industriales enfocados en empaques, pulpa, papel, artículos escolares y muebles de oficina; con foco también, en tecnología y el sector inmobiliario.	Colombia
Asociación de Recicladores de Bogotá ARB	Entidad prestadora de Servicios Públicos de propiedad de las Organizaciones de Recicladores, reconocida legalmente mediante personería Jurídica, Registradas ante la Cámara de Comercio y con Certificación de calidad ICONTEC NTC 6001.	Bogotá

Cooperativa SOCYA	Consultor y operador socioambiental, líder en la articulación de redes basadas en la confianza para la transformación de los territorios.	Medellín
RECIMED	Agremiación de recicladores de la ciudad de Medellín y con ello mejorar sus condiciones de trabajo, debido a que en el Censo de Recicladores realizado en el año 2005 se identificó la gran importancia que tiene el trabajo de esta población y a su vez las múltiples necesidades básicas insatisfechas que tenían.	Medellín
ENKA	Industria productiva con el propósito de fabricar y comercializar resinas y fibras sintéticas.	Medellín
UNAULA, Universidad del Rosario y Universidad Uniminuto	Instituciones universitarias del territorio colombiano	Diversas ubicaciones en el territorio nacional

A partir de este punto se comenzó la búsqueda y selección de los expertos en materia de aprovechamiento de RSU para la identificación de necesidades en el proceso de recuperación, la tabla 4 contiene el número de participantes:

Tabla 4

Matriz de criterios de selección expertos en materia de aprovechamiento de RSU

Criterio de selección	Nro. de actores con este criterio de selección
Personal de instituciones académicas con conocimiento sobre la GRU	

Investigadores	9
Autoridades académicas	2
Profesionales Universitarios	2
Grupo de soporte investigativo que tiene el manejo y dominio sobre el proceso de investigación	
Personal de apoyo	3
Asociaciones de recicladores que manejen información acerca de las necesidades actuales	
Directivos	3
Recicladores de oficio	6
Jefes de departamentos	2
Total de expertos	27

Una vez identificado el número de actores sociales, que en total fueron 27 se procedió a diseñar la tabla 5 que contiene la codificación para cada uno de los expertos. En el caso de la presente tesis se contó con la participación de representantes de los recicladores, investigadores de tres instituciones universitarias, autoridades académicas, profesionales universitarios, personal de apoyo y representantes de las organizaciones anteriormente mencionadas.

Tabla 5

Matriz de codificación de actores sociales

Sujetos de estudio	Siglas del nombre	Código del sujeto	Área de trabajo
1	VM	1-VM	Investigador UNAULA
2	MR	2-MR	Investigador UNIMINUTO
3	JR	3-JR	Investigador UNIMINUTO
4	BG	4-BG	Investigador UNAULA

Sujetos de estudio	Siglas del nombre	Código del sujeto	Área de trabajo
5	LG	5-LG	Investigador Universidad el rosario
6	GE	6-GE	Investigador UNAULA
7	JG	7-JG	Investigador Universidad el Rosario
8	PR	8-PR	Investigador Universidad el Rosario
9	AO	9-AO	Investigador UNIMINUTO
10	SC	10-SC	Vicerrector de investigación UNAULA
11	RG	11-RG	Decano de ingeniería UNAULA
12	HC	12-HC	Reciclador de oficio RECIMED
13	DC	13-DC	Reciclador de oficio RECIMED
14	JC	14-JC	Reciclador de oficio RECIMED
15	DD	15-DD	Reciclador de oficio RECIMED
16	MA	16-MA	Reciclador de oficio RECIMED
17	GP	17-GP	Reciclador de oficio RECIMED
18	JP	18-JP	Directora ejecutiva Socya
19	SJ	19-SJ	Líder de negocios Socya
20	HD	20-HD	Jefe de operaciones Socya
21	PM	21-PM	Gerente de calidad ENKA
22	LG	22-LG	Director de RECIMED
23	JO	23-JO	Personal de apoyo
24	JR	24-JR	Personal de apoyo
25	JD	25-JD	Personal de apoyo
26	MM	26-MM	Profesional universitario
27	MB	27-MB	Profesional universitario

Los grupos para debatir estuvieron constituidos por los expertos seleccionados agrupados en un total de 8 grupos focales y su debate se hizo a través de una matriz de dimensiones temáticas y preguntas estímulos que indujeron el flujo discursivo en cada uno de los grupos donde se debatieron los aspectos fundamentales del tema a abordar según la intencionalidad de cada encuentro, cuya información fue analizada a través de fichas de microanálisis (ver anexo B). La

aplicación de la técnica grupo focal persigue obtener datos de naturaleza cualitativa que benefician la amplitud y posibilidad de información de este tipo de escenario y personas particulares (Taylor y Bodgan, 1992). Para ello, se diseñaron matrices de caracterización por cada grupo focal, acompañados de un ordenamiento conceptual y la identificación de los hallazgos por cada encuentro (apéndice C), lo cual permitió identificar las necesidades por abarcar por parte del modelo de procesos propuesto. Es importante señalar que en cada una de las fases (Figura 7) se realizó trabajo de campo. Específicamente para fase de “Identificación y análisis” se realizaron reuniones con los grupos focales durante mayo del año 2019 hasta febrero del 2020 según actas.

4.2.2 Metodología de la caracterización sociodemográfica de los recicladores

En este procedimiento de la fase de caracterización se llevó a cabo el tratamiento y análisis de datos cuantitativos con el fin de realizar una caracterización sociodemográfica de los recicladores de oficio. Para tales fines se llevó a cabo la revisión de los resultados de la encuesta realizada por el programa de investigación Economía Formal Inclusiva en 2019 que cuenta con 2401 registros de los cuales 2234 son de recicladores no formalizados, y 167 de formalizados, 61 variables categóricas y 15 continuas. Los datos fueron recopilados en diferentes regiones del país como Zipaquirá, Girardot, Bucaramanga, Ibagué, Barranquilla, Bello, Neiva, Soacha, Pereira, Medellín, Santa Marta y Cartagena. La participación en el estudio fue voluntaria, y se proporcionó a los recicladores una contextualización de los objetivos del estudio.

En segunda instancia, se realizó la revisión de la base de datos de los recicladores de oficio asociados a la Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín (RECIMED). Dicha base de datos contiene información sociodemográfica de sus recicladores con un total de 195 registros, 32 variables categóricas y 11 continuas en la misma anualidad. Por último, se tiene el

reporte de compra de material aprovechables por la cooperativa a los recicladores desde 2016 hasta diciembre de 2019. La base de datos contiene 14 variables categóricas y 4 continuas.

En lo que respecta al análisis de la información recopilada correspondiente a este paso de la fase de identificación y análisis, se llevó a cabo la transcripción, codificación y clasificación de los datos a través del software RStudio y se llevaron a cabo Análisis de Correspondencia Múltiple- ACM, Análisis de Componentes Principales de datos mixtos y análisis de agrupamiento, los cuales se describen a continuación:

4.2.2.1 Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM). Este método se utilizó para relacionar la información entre las variables y ubicar estructuras subyacentes en los datos analizados, para ello se usa la matriz de distancias entre los individuos objeto de estudio (Johnson, y otros., 2015). La salida habitual de ACM es considerada la mejor representación bidimensional en conjunto con las coordenadas de los puntos trazados y una medida (llamada inercia) de la cantidad de información retenida en cada dimensión (Johnson, y otros., 2015).

La formulación de ACM se explica de la siguiente manera. Sea X con elementos x_{ij} , una tabla bidimensional de frecuencias no escaladas o recuentos (I para las filas y J para las columnas), tomamos $I > J$. Las filas y columnas de la tabla de contingencia X corresponden a diferentes categorías de características distintas. Si n es el total de las frecuencias en la matriz de datos X , entonces en la ecuación 1, P se llama la matriz de correspondencia.

$$P = P_{ij} = \frac{x_{ij}}{n} \quad (1)$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, I$

$j = 1, 2, \dots, J$

Luego, los vectores de las filas y columnas en las ecuaciones 2 y 3 se utilizan para calcular las matrices de raíces cuadradas en 4 y 5.

$$r_i = \sum_{j=1}^J P_{ij} = \sum_{j=1}^J \frac{x_{ij}}{n} \quad (2)$$

$$C_j = \sum_{i=1}^I P_{ij} = \sum_{i=1}^I \frac{x_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$D_r^{1/2} = \text{diag} (\sqrt{r_1}, \sqrt{r_2}, \dots, \sqrt{r_I}) \quad (4)$$

$$D_c^{1/2} = \text{diag} (\sqrt{c_1}, \sqrt{c_2}, \dots, \sqrt{c_J}) \quad (5)$$

El análisis de correspondencia se puede formular como el problema de mínimos cuadrados ponderados para seleccionar $P = \hat{p}_{ij}$, una matriz de rango reducido especificado para minimizar la ecuación 6.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(P_{ij} - \hat{p}_{ij})^2}{r_i c_j} \quad (6)$$

4.2.2.2. Análisis de Componentes Principales de datos mixtos- ACP. Procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas un nuevo conjunto de variables no correlacionadas llamadas componentes principales, con el propósito de hacer la reducción del tamaño de los datos y facilitar su interpretación. El ACP de datos mixtos combina información de variables cuantitativas y cualitativas. Para las variables cualitativas, se calcula la matriz de cuantificación asociada y la transformación de estas variables reflejan la distancia entre los niveles de las variables ordinales o las diferentes categorías de las variables nominales, optimizando las propiedades de la matriz de correlación de las variables cuantificadas. Luego, esta matriz se concatena con la matriz de variables cuantitativas para realizar el Análisis de Componentes Principales.

Si las variables x_1, x_2, \dots, x_p en (X) están correlacionadas y tienen una matriz de varianzas-covarianzas Σ con los pares de valores y vectores propios:

$$(\lambda_1, c_1); (\lambda_2, c_2); \dots; (\lambda_p, c_p) \quad (7)$$

Donde:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$$

Entonces, el i -ésimo componente principal se da mediante la ecuación 8:

$$Y_i = c_i^T X = c_{i1}X_1 + c_{i2}X_2 + \dots + c_{ip}X_p \quad (8)$$

4.2.2.3 Análisis de Agrupamiento. El análisis de agrupamiento agrupa individuos (unidades experimentales, unidades de observación) en conjuntos o grupos de manera que los individuos en el mismo grupo son similares entre sí y diferentes de aquellos en otros grupos. El análisis de

agrupamiento tiene como objetivo encontrar una estructura "natural" entre las observaciones basada en un perfil multivariado, maximizando la homogeneidad dentro del grupo y la heterogeneidad entre los diferentes grupos. El análisis de agrupamiento también se ha llamado clasificación, reconocimiento de patrones (específicamente, aprendizaje no supervisado) y taxonomía numérica.

Hay dos enfoques para el análisis de agrupamiento: jerárquico y no jerárquico. Los algoritmos de agrupamiento jerárquico (HC) implican un proceso secuencial. En cada paso del enfoque jerárquico aglomerativo, una observación o un grupo de observaciones se fusiona con otro grupo. En este proceso, el número de grupos disminuye y los grupos mismos crecen. Comienza con n grupos (elementos individuales) y termina con un solo grupo que contiene todo el conjunto de datos que fueron dispuestos en archivos en formato CSV, cargados en objetos tipo dataframe, y filtrados según características previamente definidas.

4.2.3 Vigilancia estratégica

En este apartado de la investigación se realiza la etapa de vigilancia estratégica la cual, consistió en el monitoreo continuo de tendencias, regulaciones y avances en la gestión de RSU, esto con el fin de recolectar información sobre los elementos que deben contemplarse para la creación del modelo de proceso que permita mejorar la eficiencia del rol del reciclador. Para ello, se llevó a cabo inicialmente el desarrollo de la parte tecnológica, cuyo procedimiento de recolección de información fue a través de la revisión sistemática de la literatura, cuya metodología permitió analizar aspectos cuantitativos y cualitativos de fuentes secundarias para resumir la información existente respecto a los factores con incidencia en la eficiencia del rol del reciclador.

Para que la revisión cumpliera con el rigor científico que amerita esta investigación, se definieron las ecuaciones de búsqueda las cuales se ingresaron en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, Google Scholar, Dialnet, Scielo, Redalyc, entre otras, que permitieron tener el acercamiento a las fuentes que contienen información sobre la temática abordada. A continuación, se describen dichas ecuaciones de búsqueda:

-Rol del reciclador: esta ecuación de búsqueda se centró en identificar estudios y artículos académicos que abordaron el papel fundamental de los recicladores en la cadena de valor de la gestión de residuos sólidos urbanos. La búsqueda pretende resaltar la contribución social, económica y ambiental de los recicladores, analizando cómo su rol puede ser optimizado y valorado dentro de los sistemas de gestión de residuos municipales y urbanos.

-Optimización o eficiencia del proceso de reciclaje: con esta búsqueda, el objetivo fue localizar investigaciones que propongan metodologías, prácticas y tecnologías dirigidas a la optimización o mejora de la eficiencia de los procesos de reciclaje. Esto incluyó desde la segregación en la fuente hasta el procesamiento final de los residuos, reducir costos operacionales y mejorar los impactos ambientales positivos del reciclaje.

-Uso de dispositivos para mejorar la eficiencia del aprovechamiento de RSU: esta ecuación de búsqueda apuntó a encontrar literatura que explore cómo el uso de dispositivos tecnológicos y herramientas digitales puede potenciar la eficiencia en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU). Se buscó evidencia sobre la aplicación de tecnologías como sensores, aplicaciones móviles, plataformas de datos y sistemas de información geográfica en la mejora de las operaciones de recogida, segregación, y reciclaje de RSU.

-Reciclaje urbano y tecnologías determinadas: esta búsqueda estuvo enfocada en estudios que vinculan el reciclaje urbano con la implementación y el impacto de tecnologías, como la

inteligencia artificial (IA), internet de las cosas (IoT), y blockchain. El interés consistió en comprender cómo estas tecnologías pueden transformar la gestión de residuos en áreas urbanas, mejorando la recolección, clasificación y reciclaje de residuos, y facilitando la integración de los recicladores en estos procesos.

-Gestión de residuos sólidos y participación de la comunidad: con esta ecuación de búsqueda, se buscó identificar artículos y documentos que discuten la importancia de la participación comunitaria en la gestión de residuos sólidos. Se centró en cómo la involucración activa de las comunidades puede contribuir a sistemas de gestión de residuos más sostenibles y eficientes, examinando casos de éxito, desafíos y estrategias para fomentar una mayor cooperación entre ciudadanos, recicladores, y autoridades locales.

Una vez definidas las ecuaciones de búsqueda se procedió a aplicar el protocolo de selección de las fuentes de información que dio inicio con el primer paso del protocolo definido, el cual consistió en la lectura preliminar de los documentos encontrados con las ecuaciones, este fue el primer filtro, ya que, el investigador con apoyo de 3 lectores, llevaron a cabo la lectura del resumen de cada documento preseleccionado, ello permitió descartar aquellos textos que no aportaban información valiosa para este estudio. Posteriormente se ejecutó la técnica del fichaje, permitiendo una agrupación lógica y estructurada de los datos pertinentes al tema de investigación, este paso facilitó la acumulación de ideas y la formulación de conexiones esenciales para la construcción de la matriz teórica que sustenta la investigación.

Luego del diligenciamiento de las fichas se procedió a aplicar los criterios de selección y descarte de la información, que en palabras de Ortiz (2015) es el paso que permite separar lo esencial del discurso analizado y se levanta una estructura de contenido. Para ello, se establecieron como criterios de inclusión:

1. Que los documentos incorporados fueran trabajos de grado (doctorales), artículos científicos y documentos oficiales;
2. publicaciones en revistas indexadas;
3. publicaciones en el periodo 2018-2024;
4. documentos en español e inglés.

Además de ello se estableció que los documentos que estuvieran duplicados, que el contenido no tuviera relación con el uso de tecnologías para el aprovechamiento de los RSU y que requirieran un pago para su descarga, serían descartados de la revisión.

Una vez recolectada la información se llevó a cabo el análisis y discusión de la información consolidada sobre los hallazgos encontrados de mayor relevancia con el tema de estudio y que en consecuencia permitieron el alcance de los objetivos formulados. De esta manera se abordó lo correspondiente a la validación tecnológica que se contempla en la fase de caracterización y análisis de la presente investigación.

Posterior a ello, para lo correspondiente a la regulación se llevó a cabo la búsqueda de documentos legales sobre la GRSU, que, en el marco de esta investigación, la selección de leyes y decretos estuvo guiada por criterios claros y orientados hacia el fortalecimiento del rol de los recicladores en el manejo de RSU. Este enfoque se centró en mejorar tanto la eficiencia operativa de los recicladores como su integración en el sistema de gestión de residuos de manera formal y sostenible.

Primero, se ha dado prioridad a las normativas que directamente incrementan la participación y reconocen la labor de los recicladores, tales como el Decreto 1077 de 2015. Este decreto es esencial porque formaliza la inclusión de los recicladores en el sistema de gestión de residuos, garantizando no solo su participación en el proceso de reciclaje sino también

asegurando una compensación justa por su trabajo. Este enfoque se alineó con los objetivos de la investigación de proponer mejoras que beneficien directamente a los recicladores, mejorando su eficiencia y calidad de vida.

Además, se consideraron aquellas leyes que promueven tecnologías y prácticas sostenibles que pueden ser adoptadas por los recicladores para mejorar su eficiencia en la recolección y clasificación de residuos, como la Ley 1715 de 2014 que incentiva el uso de fuentes de energía no convencionales, incluyendo la energía generada a partir de residuos. Esto abre posibilidades para que los recicladores se involucren en nuevos modelos de negocio que no solo mejoren su eficiencia, sino que también amplíen sus oportunidades económicas.

La selección de estas normativas refleja un compromiso con el desarrollo de un sistema de gestión de residuos que no solo es eficiente sino también inclusivo y justo, proporcionando a los recicladores herramientas y oportunidades para mejorar su trabajo diario y su integración en la economía formal. Esto no solo ayuda a cumplir con las regulaciones ambientales y sociales, sino que también fortalece el papel de los recicladores como actores clave en la gestión ambiental urbana.

4.3 Fase de formulación: Diseño del modelo de proceso

En esta fase se comienza por la determinación de la viabilidad, la cual busca comprobar si la idea conceptualizada a partir de la fase anterior (Identificación y análisis), se adecúa a la presente investigación. Para ello se realizó un estudio de prefactibilidad técnica, política y legal donde se lograron determinar los requisitos técnicos, legales y políticos mínimos viables.

En esta fase integró una serie de técnicas y procedimientos desde la revisión de la literatura para la búsqueda de la logística inversa, modelación bajo Redes de Petri hasta la

simulación basada en agentes, debido a la incertidumbre por factores exógenos como costos, demanda, transporte, entre otros, que afectan la capacidad de recuperación de residuos. Esta combinación de técnicas contribuyó a definir el stack tecnológico, identificando componentes clave y su interacción entre los actores, procesos y funcionalidades de la solución. El resultado de esta etapa fue un primer modelo de proceso de logística inversa que se someterá a ajustes hasta pasar a la fase de ejecución.

4.3.1 Prefactibilidad técnica

Para este apartado se llevó a cabo el método de mapeo sistemático, con el fin de comprender y contextualizar el tema de la viabilidad técnica del modelo de procesos. Este método se considera un estudio secundario, ya que, implica una revisión bibliográfica cuyo propósito es identificar, evaluar y sintetizar información de diversas investigaciones relacionadas con el tema de estudio y en búsqueda de dar respuestas a las interrogantes planteadas sobre el hecho investigado (Salas y Lara, 2020). Los mapeos sistemáticos se distinguen por seguir una serie de pasos que guían su realización, los cuales se presentan a continuación:

-Establecer preguntas de investigación: ¿Cuáles son los equipos, maquinaria, conocimientos técnicos y tecnología que se deben incorporar en las etapas del proceso de aprovechamiento de RSU para optimizar su eficiencia?

-Redactar criterios de inclusión y exclusión: se incluyeron todos los documentos que contenían información sobre el uso de elementos técnicos a lo largo de las operaciones del proceso de aprovechamiento de RSU, también se incluyeron artículos de revistas indexadas en español e inglés, publicados entre 2015-2024; se excluyeron documentos que requerían un pago para su descarga y aquellos que estuvieran duplicados.

-Definir el método de búsqueda: para este paso del mapeo sistemático se definieron las bases de datos donde se haría el proceso de búsqueda de información, las cuales fueron Scielo, Redalyc, Scopus, Dialnet y se definieron las ecuaciones de búsqueda: requerimientos técnicos para mejorar el proceso de reciclaje; optimización del reciclaje; sistema de control y manejo del material aprovechable y uso de tecnologías para el aprovechamiento de RSU. Esto permitió tener un acercamiento a las fuentes de forma adecuada garantizando la veracidad de la información seleccionada

-Búsqueda bibliográfica: esta etapa es medular en el proceso investigativo, porque es allí donde se determina lo que se busca y es con esos criterios que opera tanto la búsqueda de artículos, como la selección de estos. Además, también se predetermina la fuente de información, las cuales se seleccionaron entre las bases de datos existentes y que deben hacerse complementarias para evitar el sesgo de la información.

-Cribado de estudios: la selección, en consecuencia, se hizo siguiendo los filtros establecidos por el investigador (criterios de inclusión y exclusión y ecuaciones de búsqueda) con el agregado de la lectura de los resúmenes, en los cuales se terminó de precisar la adecuación al objeto de estudio. Este procedimiento de lectura se aplicó primero en las versiones en español e inmediatamente luego en las versiones en inglés.

-Análisis de los datos: se realizó la técnica de análisis de contenido que consistió en identificar los elementos técnicos que han sido incorporados en las investigaciones consultadas para mejorar la eficiencia del proceso de aprovechamiento de RSU.

4.3.2 Prefactibilidad política y legal

Para el abordaje de la evaluación de la prefactibilidad política y legal se llevó a cabo un análisis de las políticas públicas sobre la gestión de los residuos sólidos en Colombia y las leyes que regulan los procesos de aprovechamiento de RSU. Esto con el propósito de determinar si desde el contexto político y legal es viable poner en marcha el modelo de procesos que se diseñó en esta tesis para mejorar la eficiencia del rol del reciclador.

En esta segunda parte, para analizar la viabilidad del modelo de proceso se seleccionó la metodología que permitió el camino a seguir, desde el posicionamiento de su modalidad, su recolección de la información y su consecuente tratamiento de análisis. Particularmente, la investigación en el campo regulatorio se centra tradicionalmente en una metódica tradicional donde el documento, el archivo, el libro, entre otros se convierten en su fuente privilegiada (Botero, 2012).

Primero, se ha dado prioridad a los planes nacionales de desarrollo y las políticas públicas diseñadas por el Estado colombiano para el aprovechamiento de los RSU. Además, se consideraron todos aquellos documentos legales emitidos en Colombia para promover la sostenibilidad y la economía circular a través de la valorización de los RSU.

4.3.3 Simulación y modelación

Se llevó a cabo la simulación y modelación del modelo de proceso propuesto para la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos. Para ello, se utilizó un enfoque basado en simulación basada en agentes, a continuación, se describe el desarrollo de la simulación:

- **Definición del modelo:** Se diseñó un modelo conceptual que representa las etapas clave del proceso de recuperación de residuos, incluyendo la recolección, clasificación, transporte y comercialización de materiales reciclables. Este modelo fue desarrollado utilizando el software AnyLogic, conocido por su capacidad para manejar simulaciones complejas y multifacéticas.
- **Recopilación de datos:** Se recolectaron datos precisos sobre volúmenes de residuos, tiempos de operación, rutas de recolección y eficiencia del reciclador a través de encuestas de campo, entrevistas con recicladores y análisis de registros históricos proporcionados por cooperativas de recicladores y entidades municipales.
- **Implementación del modelo:** Se tradujo el modelo conceptual en un modelo computacional en AnyLogic, configurando los parámetros necesarios para replicar las condiciones reales del proceso de gestión de residuos.
- **Verificación y validación:** Para asegurar la precisión del modelo, se realizaron pruebas de verificación comparando los resultados de la simulación con datos históricos y observaciones directas del proceso actual. La validación del modelo confirmó que las simulaciones eran coherentes con la realidad observada.
- **Ejecución de escenarios:** Se ejecutaron múltiples simulaciones bajo diferentes escenarios, variando factores como el número de recicladores, rutas de recolección y tasas de recuperación de residuos. Esto permitió evaluar el impacto de distintas variables en la eficiencia del proceso y determinar las condiciones óptimas para maximizar la recuperación de materiales.
- **Análisis de resultados:** Los resultados de las simulaciones proporcionaron información valiosa sobre los desafíos y las oportunidades de mejora en el proceso de recuperación de

residuos. Se identificaron estrategias específicas para optimizar las operaciones y se generaron recomendaciones basadas en datos para la implementación del modelo de proceso propuesto.

4.3.4 Stack tecnológico

El stack tecnológico se compone de diversas herramientas y tecnologías integradas que facilitan la gestión eficiente y sostenible del proceso de recuperación de residuos. A continuación, en la tabla 6 se describen los componentes del stack tecnológico:

Tabla 6

Matriz descriptiva de las organizaciones participantes

Componente	Descripción
Plataforma de gestión de datos	Se implementó una base de datos robusta utilizando PostgreSQL para almacenar y gestionar toda la información relevante sobre la recolección, clasificación y comercialización de residuos. Esta base de datos permite un acceso rápido y eficiente a los datos necesarios para la toma de decisiones.
Aplicaciones móviles	Se desarrollaron aplicaciones móviles para los recicladores, utilizando tecnologías como React Native, que permiten registrar datos de recolección en tiempo real, optimizar rutas de recolección y comunicarse con los centros de acopio. Estas aplicaciones están equipadas con funcionalidades de GPS para mejorar la eficiencia de las operaciones de campo.
Sistemas de georreferenciación	Se utilizaron tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para mapear y optimizar las rutas de recolección. Los datos geoespaciales se integraron con las aplicaciones móviles para

Componente	Descripción
	proporcionar a los recicladores rutas optimizadas que minimizan el tiempo y los costos de transporte.
Plataformas de análisis de datos	Herramientas como Tableau y Power BI se emplearon para analizar y visualizar los datos recolectados, facilitando la interpretación y generación de informes detallados sobre el rendimiento del proceso de recuperación de residuos. Estas herramientas ayudaron a identificar patrones y tendencias, apoyando la toma de decisiones basadas en datos.
Infraestructura en la nube	Para garantizar la disponibilidad y escalabilidad del sistema de información, se utilizó la plataforma Amazon Web Services (AWS). Los servicios en la nube de AWS, como EC2 para el alojamiento de aplicaciones y S3 para el almacenamiento de datos, proporcionaron una infraestructura flexible y segura para la gestión de grandes volúmenes de datos.
Automatización de procesos	Se implementaron soluciones de automatización utilizando RPA (Robotic Process Automation) para reducir la intervención manual en tareas repetitivas y aumentar la eficiencia operativa. Esto incluyó la automatización de la recopilación de datos, generación de informes y otras tareas administrativas.
Seguridad de la información	Se establecieron protocolos y herramientas de seguridad avanzadas para proteger la integridad y confidencialidad de los datos. Esto incluyó el uso de cifrado de datos, autenticación multifactor y monitoreo constante de la infraestructura para prevenir accesos no autorizados y asegurar la protección de la información sensible.

4.4 Fase de ejecución: validación del modelo de proceso

La fase 3 estuvo compuesta por dos apartados: la adquisición de bienes y servicios e implementación. En la primera se llevó a cabo la definición de equipos y contratación de personal

de apoyo para planear, organizar, dirigir y controlar los recursos humanos y tecnología durante la implementación del modelo. A continuación, se puso en prueba el modelo de proceso y se observa la interoperabilidad (intercambio de información dentro de cada nivel de y entre niveles) que ocurre entre actores y tecnología. Esto permitió verificar y validar el correcto funcionamiento del modelo, y el resultado de esta fase fue el modelo de proceso de logística inversa validado.

4.5 Fase de resultados: Diseño de políticas de uso

La fase cuatro tiene un único apartado que corresponde a formalización y difusión. En ella se llevó a cabo la consolidación de los activos producto de la identificación que se generaron para la estandarización del modelo y la definición de sus políticas de uso, lo que permitió obtener finalmente un modelo de proceso para aumentar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación RSU, cumpliendo con el objetivo general de esta investigación.

Capítulo V. Resultados Fase I. Identificación y análisis

El capítulo que se presenta a continuación contempla el desarrollo de los dos primeros objetivos especificados formulados dentro del proceso investigativo, por ello, está conformado por cuatro secciones: la primera describe los resultados y hallazgos del objetivo específico “Caracterizar las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos”. En la segunda sección, se evidencian los resultados del objetivo específico “Determinar las relaciones entre las variables asociadas a las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos”, aportando información relevante para la mejora del proceso a partir de análisis cuantitativo. En la tercera sección se muestran los resultados obtenidos de la vigilancia estratégica, dando como resultado el estado de la técnica y el marco regulatorio. Para finalizar, se presenta la sección de discusión de los resultados obtenidos en este capítulo.

5.1 Caracterización de las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos

5.1.1 Identificación de necesidades

Se llevó a cabo a través de la recolección de información de fuentes primarias y secundarias, por ello, está compuesta de diversos hallazgos de índoles cualitativo y cuantitativo. Para dar inicio a este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las actividades que conformaron esta fase.

5.1.1.1 Interpretación de la información cualitativa

Se llevaron a cabo tres elementos que contemplaron a) tratamiento de la información cualitativa, b) disposición y transformación de datos y c) obtención de resultados y verificación de conclusiones. Para el tratamiento de la información se diseñaron matrices de categorías

resultantes (en 8 construcciones, debido a la ejecución de los 8 grupos focales que se llevaron a cabo). Para iniciar se presenta la organización de cada uno de los grupos focales (tabla 6), para posteriormente hacer la interpretación individual, ya que, cada grupo en particular fue concebido como una unidad de estudio, lo que permite una discusión específica de las necesidades de mejora en las etapas del proceso de aprovechamiento de los RSU.

Tabla 7*Grupos focales*

Nro. de participantes	Nro. de grupo focal	Código de los Participantes
6	1	10-SC; 1-VM; 6-GE; 18-JP; 19-SJ y 20-HD
3	2	21-PM; 1-VM y 6-GE
3	3	22-LG; 1-VM y 6-GE
2	4	22-LG y 6-GE
9	5	10-SC; 1-VM; 6-GE; 2-MR; 7-JG; 3-JR; 8-PR; 5-LG y 9-OA
3	6	22-LG; 1-VM y 6-GE
8	7	1-VM; 6-GE; 23-JO; 24-JR; 25-JD; 10-SC; 11-RG y 22-LG
4	8	1-VM; 6-GE; 25-JD y 22-LG

Para cada uno de los 8 grupos focales que se ejecutaron se obtuvo un ordenamiento conceptual que emergió después del proceso de microanálisis de cada uno de los encuentros con los expertos, estos se pueden evidenciar en el anexo c, donde se presentan los conceptos, subcategorías y categorías de cada grupo.

5.1.1.1.1 Grupo focal 1. Los hallazgos resultantes en esta unidad se clasificaron alrededor de cuatro categorías que se identificaron mediante el análisis de la información recabada en este grupo focal, que permiten comprender que el proceso de manejo de RSU se encuentra fundamentado en la eficiencia del proceso, economía circular, tipo de material aprovechable y sostenibilidad. Respecto a ellas, los miembros del grupo creen que es necesario que se apliquen prácticas de sostenibilidad que permitan realizar una gestión adecuada de los RSU. Además, indican que, el proceso de aprovechamiento debe ser más eficiente y que para ello, se requiere de mejoras desde la selección hasta el transporte del material aprovechable.

Por otro lado, los expertos ponen en manifiesto que, en las empresas relacionadas con el manejo y uso de material residual aprovechable, existen necesidades de mejora a lo largo del proceso entre las cuales se encuentran la calidad y cantidad de material, tipo de materiales y condiciones laborales de los recicladores. Se identificó que, en términos de precios, demanda y usos los materiales PET, polipropileno, ABS son los más importantes para el reciclaje, lo que implica que este proceso de aprovechamiento debe buscar alternativas que le permitan obtener mejoras en cuanto a la calidad y cantidad de este tipo de materiales.

5.1.1.1.2 Grupo focal 2. La eficiencia del proceso de aprovechamiento y el tipo de material aprovechable fueron las dos categorías resultantes después del encuentro de este grupo focal. En lo que respecta a ellas, se logró identificar que existen diversas barreras que afectan el proceso de aprovechamiento, lo que se debe a la falta de formalización, equipos que optimicen las labores de los recicladores, entre otros, que generan que la cantidad de material aprovechable sea poca, con referencia a la demanda del mismo, además de las implicaciones en la calidad del

material recolectado, lo que incide de forma directa en la productividad y rentabilidad de la labor del reciclaje.

La información obtenida a través de este encuentro con los expertos, permitió identificar que tanto las empresas y cooperativas que compran el material aprovechable tienen requerimientos de mejora sobre la cantidad y calidad de los materiales, la voz del directivo participante indica que esto es producto de las condiciones laborales de los recicladores, quienes deben realizar sus labores de manera informal, sin ayuda de elementos o equipos que optimicen sus actividades y permitan un mejor desempeño, por lo cual, se sugiere el uso y adaptación de tecnologías que permitan mejorar cada una de las operaciones que hacen posible la recuperación y aprovechamiento de RSU. De allí, se propone la creación de alianzas con empresas, estado y comunidad científica para proponer ideas que permitan mejorar la eficiencia del proceso.

Por otro lado, se recolectó información acerca de los usos del material reciclable, evidenciándose que el PET, polipropileno y ABS, son los más demandados en la industria del reciclaje, esto justificado desde el hecho de que su incorporación como materia prima en un nuevo proceso productivo reduce costos, consumo de energía y otros recursos finitos que favorecen a la sostenibilidad ambiental, económica y social. Para finalizar este grupo focal cerro con los hallazgos sobre el rol del reciclador para mejorar la eficiencia del proceso de aprovechamiento de los RSU, encontrándose que las labores de estos trabajadores son medulares para el éxito del proceso de aprovechamiento, ya que, son ellos, quienes se encargan de seleccionar y clasificar el material, entonces, si las funciones que estos recicladores desempeñan se hacen de forma informal, con condiciones inadecuadas para el transporte de material, sin la determinación de una ruta para la búsqueda del material, con una remuneración baja y con otra serie de limitaciones que afectan su desempeño, entonces las necesidades de cantidad y calidad

de material que tienen las empresas y cooperativas que compran material reciclado no serán satisfechas y las mitigaciones ambientales por el destino final inadecuado de los RSU no se alcanzaran.

5.1.1.1.3 Grupo focal 3. La información recopilada pone de manifiesto que existe la necesidad de que los recicladores tengan mejores condiciones laborales, ya que, esta labor es mal remunerada, tiene largas jornadas laborales y es poco reconocida, dejando a un lado la relevancia que esta tiene para la efectividad de la recuperación y aprovechamiento de los RSU. Se describe que día a día las actividades del reciclaje están tomando mayor relevancia, ya que, cada vez se suman más esfuerzos por los diferentes sectores económicos del país en realizar prácticas de sostenibilidad, por ello, la implementación de técnicas de aprovechamiento se hace cada vez más sólida, lo que en síntesis se refleja en el incremento de la demanda de materiales aprovechables, en este sentido, diseñar y aplicar estrategias de mejora para el proceso es inminentemente necesario.

Otro de los aportes de este grupo focal es lo referente a la economía circular y el tipo de material aprovechable, ya que, se puso de manifiesto que la cooperativa RECIMED suma esfuerzos para lograr la transición de la economía lineal a la circular, destacando las diferentes labores y programas que se llevan a cabo para una producción sostenible, que haga uso adecuado de los recursos a través de un manejo eficiente de los RSU. Además de ello, se soporta la información obtenida en los anteriores grupos focales sobre los tipos de materiales más demandados en la industria del reciclaje (polipropileno, PET y ABS).

Por último, este encuentro dio paso al resultado de una nueva categoría, gestión logística, que engloba las subcategorías de reducción de errores, optimización de procesos e innovación.

Esta información permite identificar que actualmente existen una serie de falencias en la gestión logística de los RSU, las cuales, se reflejan en los resultados obtenidos del proceso de aprovechamiento. Se identifica que para la industria presenta ciertas exigencias a la hora de comprar el material aprovechable, en este sentido, la calidad del mismo debe ser cada vez mejor, por ello, es evidente que esto crea la necesidad de que se lleve un mejor control del proceso de aprovechamiento.

Los hallazgos indican que para que esto se logre es fundamental que se lleven a cabo mecanismos de mejora continua, a través de la cual se puedan identificar áreas u operaciones a mejorar, se diseñen e implementen acciones efectivas que reduzcan los errores o afectaciones en el proceso y garanticen su eficiencia. Para ello, los participantes manifiestan que es necesario innovar, ya que, una de las barreras que se presentan en el reciclaje es precisamente la falta de herramientas y equipos que permitan optimizar las operaciones del reciclaje.

5.1.1.1.4 Grupo focal 4. En lo que respecta a los hallazgos develados en este grupo focal, es medular destacar que, para la categoría eficiencia del proceso se contemplaron las subcategorías de innovación y aprovechamiento de los RSU, específicamente el director de RECIMED plantea que existe una necesidad de mejora en el proceso de recuperación, este participante, manifiesta que una solución puede ser la integración de sistemas de recolección con facturación electrónica y medición de recolección a través del uso de herramientas digitales. Por su parte, los expertos proponen diseñar un proceso de automatización, mediante el diseño e implementación de un vehículo de recolección que permita mejorar eficiencia logística a través de celdas para materiales, conectadas con una data que agilice procesos, trámites y facturación.

Desde allí, las partes acuerdan trabajar en el propósito de un nuevo modelo de recolección, usando vehículo modificado. En lo que respecta a la categoría de economía circular, el directivo de RECIMED presentó los proyectos que se llevan por parte de la cooperativa para el tema de aprovechamiento de RSU los cuales consisten en la recolección de bolsas de suero y su procesamiento, adelanto en planta de procesamiento de PVC blando, molido de material, articulación de algunos procesos manuales, entre otros, que consisten en la incorporación de los RSU a un nuevo proceso productivo, contribuyendo así a la economía circular.

5.1.1.1.5 Grupo focal 5. Los investigadores manifiestan que realizaron un conjunto de visitas a cooperativas que realizan actividades del aprovechamiento de RSU para recolectar información sobre sus procesos y buscar aliados estratégicos; estas visitas permitieron identificar que existen ciertos factores que afectan la efectividad del transporte del material aprovechable, entre ellos, los altos costos y la capacidad, que afectan la cantidad de los RSU que se comercializan para su incorporación en un nuevo proceso productivo. Uno de los aspectos más relevantes de este grupo focal es la evidencia de que el rol del reciclador está siendo afectado por este tipo de variables, entonces la eficiencia del proceso de aprovechamiento también se encuentra afectada. Los actores indican que actualmente se recogen 80 kg por reciclador y lo óptimo es que se recolecten 200 kg, es decir existe un rendimiento bajo en lo que respecta a la cantidad de material aprovechable que puede ser seleccionado por cada reciclador.

En vista de esto, el grupo de investigadores en acuerdo con el vicerrector de investigaciones de UNAULA llegan a la conclusión de que una idea de solución puede ser la adaptación de un vehículo y un sistema de manejo de datos, para lo cual RECIMED se ofrece a aportar el vehículo. Se propone la idea de un vehículo tipo tráiler y hacer una operación integral

en las cooperativas. Además de ello, en este grupo focal se obtuvo información sobre la fabricación de resinas con PET y se plantea la posibilidad de abordar el manejo y usos de otros plásticos para evaluar nuevas alternativas de reciclaje.

5.1.1.1.6 Grupo focal 6. Con la ejecución de este grupo focal, se pudo conocer que la cooperativa cuenta con la georreferenciación de algunas rutas, pero que no están consolidadas todas las que se abarcan en el proceso de aprovechamiento. Se indica que el trabajo con los recicladores es de gran importancia para asegurar la eficiencia del proceso, desde ese punto se considera pertinente realizar encuentros con los recicladores cada 15 días, donde participen máximo unos 50 recicladores de oficio, el objetivo es conocer desde la voz de estos trabajadores sus necesidades en cuanto al desarrollo de sus labores de reciclaje.

Se plantea que dentro de la solución se incorpore como objetivo que no se extraiga material durante los recorridos, es decir garantizar que el material recogido es el material entregado. Así como también se plantea realizar un estudio de métodos y tiempos para poder medir la productividad de los recicladores y conocer los tiempos muertos. Se presenta información sobre las dificultades para obtener material aprovechable, ya que, existen otras organizaciones que poseen maquinas que dan al usuario \$50 pesos por cada botella, mientras que la industria paga \$7 pesos, esto hace que la gente ya no entregue el material al reciclador y es insostenible.

5.1.1.1.7 Grupo focal 7. En este grupo focal se llevaron a cabo una serie de propuestas y discusiones para crear la idea de solución ante la problemática identificada, esta se caracteriza por la adaptación de un dispositivo que envíe datos cada segundo ya que poseerá GPS y Arduino con

procesador 328. Se hizo el prototipo con un Arduino antiguo para probar y se evalúa la posibilidad de usarlo para hacer computación en la nube. Se indica que el Arduino no se puede patentar. Además de ello se identifica que se presenta un sesgo de 2.5 metros en la localización.

Por otro lado, se presenta la posibilidad de hacer artículo de comparación, pero se necesita una tarjeta micro SD más gráfica, todo ello, con el fin de optimizar el proceso de aprovechamiento de los RSU, ya que, se debe aumentar la eficiencia del proceso, por ejemplo, la cantidad de material aprovechable, es actualmente es de 80 kg por día, cuya cifra se debe incrementar a 200 kg por día, teniendo en cuenta el tiempo que necesita cada reciclador y para esto se pueden adaptar tecnologías de bajo costo, frente a ello, se propone explorar celdas de carga. Otro aporte importante de este grupo focal es lo correspondiente al aseguramiento del material durante su traslado, ya que, se han identificados hurtos durante el camino.

Así mismo, los participantes indican la importancia de hacer registros de las horas de salida y llegada de los recicladores, además de garantizar un servicio frecuente donde se realice la recolección del material aprovechable dos veces por semana, y que el único contador sea la báscula que hay en la estación de clasificación. RECIMED trabaja con Novasoft, que posee una báscula con bluetooth y otra con cable. En este grupo se identifican cuatro etapas, la primera la recolección del RSU aprovechable que se lleva a cabo de forma manual, la segunda el transporte del material que actualmente se hace con mecanismos de difícil movilidad como carretillas, luego clasificación y por último el pesaje, ambas se llevan a cabo en el centro de acopio.

Una vez identificadas las necesidades y las posibles alternativas de solución, se inicia por la definición de las rutas, determinando dos días por semana para cada una de ellas. Ya para cerrar se indica que entre el 40 y el 50% del material reciclado es papel y cartón, 10% es vidrio, el 25% es plástico (del cual el 10% es PET y el 90% pasta), 10% son metales y el 5% miscelánea.

Entonces los hallazgos de este grupo focal permitieron identificar posibles soluciones de mejora, además de ello, se acuerda realizar encuentros con los recicladores para tener acceso a información sobre el proceso de aprovechamiento y la labor que ellos desempeñan.

5.1.1.1.8 Grupo focal 8. Los hallazgos identificados en este grupo focal muestran la necesidad de mejoras en el proceso de aprovechamiento de los RSU, ya que, desde la propia voz de los recicladores se dio a conocer que existen afectaciones que van desde la separación de material en la fuente, hasta el transporte del material reciclado. Los recicladores manifestaron que su labor se ve afectada por las largas jornadas laborales, donde la selección y separación son las etapas que requieren de mayor tiempo y dedicación, lo cual, lo atribuyen a la falta de cultura ambiental por parte de los ciudadanos, quienes no hacen prácticas de separación en fuente, por lo cual, contaminan el material aprovechable mezclado con papel higiénico, entre otros, que interfieren en la eficiencia del proceso.

Por otro lado, los recicladores indican que existen organizaciones que interfieren con su labor, puesto que compran el material aprovechable y generan menor cantidad del material a los que ellos pueden acceder y reciclar. Se identificó también que no existe una organización adecuada en cuanto a la elección de rutas, lo que, en síntesis, también incide en la eficiencia de su labor en términos de cantidad de material aprovechable, por ello, los participantes manifiestan su necesidad de mejoras en la ruta. Otro de los hallazgos identificados en este grupo focal es sobre las dificultades que presentan los recicladores para el traslado del material aprovechable, expresamente en aquellos materiales de gran volumen como el cartón que deben contar con manejo adecuado.

Es importante señalar que los participantes indicaron que el precio de los materiales ha bajado y por ello la rentabilidad de su labor se ve afectada y genera la necesidad de reciclar mayor cantidad de RSU. Así mismo indicaron que existen materiales que requieren de un manejo especial para que estos puedan ser incorporados en nuevo proceso productivo, siendo evidente la relevancia del rol de los recicladores para el proceso de aprovechamiento. Por último y no menos importante los recicladores suministraron una lista del tipo de material más demandado en la industria del reciclado, los cuales son el cartón, periódico, archivo, chatarra, tetrapack, plegadiza, cubetas de huevo, palos de escoba, plástico, pasta, PET, vidrio, cobre, aluminio y electrónica recuperada.

5.1.1.2 Perspectiva global sobre la identificación de necesidades. El análisis de la información cualitativa recopilada permitió identificar las necesidades que se presentan en el proceso de aprovechamiento de los RSU, revelando varias áreas críticas que requieren mejoras para el alcance de la eficiencia. Se obtuvieron en total 6 categorías resultantes, todas ellas develaron que en términos de sostenibilidad (económica, ambiental y social) se requiere de cambios que permitan alcanzar un nuevo rumbo hacia la optimización, ya que, desde la experiencia de los actores sociales quienes conocen la realidad del aprovechamiento del material recuperable, identifican la existencia de barreras desde la separación en la fuente hasta la comercialización de dicho material.

La categoría más concurrente fue la eficiencia del proceso, con un total de 11 subcategorías disgregadas entre los 8 grupos focales. Los actores manifestaban que el proceso de aprovechamiento de RSU está siendo directamente afectado por causas como la cantidad de material aprovechable, que en promedio es de 80kg/día, lo que incide en la rentabilidad del

proceso, así mismo expresan que la calidad del material aprovechable afecta el rendimiento de la jornada laboral, ya que, la mayoría del tiempo que los recicladores invierten a sus actividades del reciclaje es en la selección y separación, lo que refleja la necesidad de concientización del ciudadano para implementar medidas de separación en la fuente.

Por otro lado, la información suministrada por los actores sociales permitió identificar que existe la necesidad de mejorar las condiciones laborales de los recicladores, cuya labor es medular para que el proceso de aprovechamiento de material sea eficiente. Las subcategorías de jornadas laborales, mejoras en las condiciones laborales del reciclador, condiciones de los recicladores, formalización del rol del reciclador, rol del reciclador, etapas de recolección y separación, entre otras, ponen en evidencia que una de las principales necesidades que afronta el proceso de aprovechamiento de RSU son las condiciones laborales de los recicladores, quienes lleven a cabo su rol de manera informal, afrontando desafíos diarios durante las etapas de alistamiento, recolección y comercialización del materia aprovechable, lo que se ve reflejado en la rentabilidad de la actividad del reciclaje y por supuesto en la eficiencia del proceso de aprovechamiento, validando así la idea de solución mediante el diseño de un modelo de procesos para que el rol del reciclador sea más eficiente en cuanto a la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos.

Otra de las categorías concurrentes fue el tipo de material aprovechable, identificándose que dentro de la industria del reciclaje se evalúa la potencialidad de reincorporación como materia prima o insumos para la fabricación de nuevos productos del RSU, desde esta perspectiva se define la utilidad de los diferentes materiales, la información obtenida en los grupos focales permitió identificar cuáles son los materiales con mayor demanda dentro de esta industria. El cartón, PET y ABS son los materiales que son considerados como los más importantes para la

industria, sin dejar a un lado el periódico, vidrio, cobre, aluminio, entre otros, materiales que se reincorporar al ciclo productivo.

Además de ello, sobre esta categoría se identificó la necesidad de mejoras sobre el transporte del material, debido a que por las características propias de cada uno se puedan presentar inconvenientes para un adecuado manejo de estos, por causas asociadas al peso y volumen, que interfieren con la cantidad y calidad del material que puede comercializar el reciclador y que en consecuencia afectan la rentabilidad del reciclaje. Esta información soporta la idea de esta tesis doctoral de diseñar un modelo de procesos que contemple este tipo de variables para mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos.

La siguiente categoría que se devalo en tres de los 8 grupos focales fue la gestión logística, que según la información suministrada por los actores sociales existen necesidades de mejora en lo que respecta al transporte de material, organización, registro de rutas, georreferenciación, entre otros factores que afectan el proceso de aprovechamiento de los RSU. Dentro de las subcategorías resultantes de este grupo focal se encuentra la innovación y operación integral, que involucran conceptos como el uso de dispositivos móviles, GPS, arduino, entre otros, que deben involucrarse en el proceso de aprovechamiento de RSU para mitigar las afectaciones que se puedan estar generando en su efectividad, desde esta perspectiva se comprende la necesidad de que el modelo de procesos que se diseñó en este trabajo doctoral involucre la adaptación de herramientas tecnológicas.

Por su parte, la categoría economía circular se devalo en tres grupos focales, evidenciándose la importancia que le otorgan los actores a la transición de la economía lineal hacia la circular, contemplando conceptos como nuevos productos, valorización de los residuos,

reutilización y disposición final, todos ellos enfocados en el contexto de la sostenibilidad en términos ambientales, económicos y sociales. Es importante resaltar que, dentro del presente trabajo investigativo se persigue aportar desde el diseño del modelo hacia una transición eficiente del proceso de aprovechamiento de RSU donde prevalece la valorización de los residuos, uso adecuado de los recursos y mitigación del impacto ambiental por el inadecuado destino final de los residuos, lo que es característico de la economía circular.

Para culminar con esta perspectiva global es necesario mencionar las categorías que fueron menos recurrentes durante el análisis de la información cualitativa, pero que son medulares en el proceso investigativo, ya que, se interrelacionan con el problema de la eficiencia del rol del reciclador en el proceso de aprovechamiento de los RSU. Estas son sostenibilidad y cultura ambiental, ambas con conceptos como la preservación ambiental, el uso adecuado de los recursos, la concientización, separación en la fuente, entre otros, que persiguen que la ciudadanía en general se apropie del proceso de gestión de sus residuos y contribuyan a la garantía del acceso a los recursos para las futuras generaciones.

5.1.2 Variables, funciones y eventos

5.1.2.1 Participantes y procedimiento. La recopilación de datos a través de encuestas en una diversidad de regiones como Zipaquirá, Girardot, Bucaramanga, Ibagué, Barranquilla, Bello, Neiva, Soacha, Pereira, Medellín, Santa Marta y Cartagena permite obtener una visión amplia y representativa de la situación y percepciones de los recicladores a lo largo del país. Al seleccionar una variedad de ciudades, se abarcan diferentes contextos urbanos, económicos y sociales, lo que enriquece la calidad y aplicabilidad de los resultados del estudio.

La voluntariedad de la participación de los recicladores asegura la ética del proceso investigativo y contribuye a la validez de los datos, ya que los participantes estaban motivados por un interés genuino en contribuir y expresar sus opiniones y experiencias. La contextualización brindada a los recicladores sobre los objetivos del estudio garantiza que los participantes estuvieran bien informados, permitiéndoles entender la importancia de su contribución y cómo podría impactar en la mejora de sus condiciones laborales y reconocimiento social en el marco de la gestión de residuos sólidos urbanos.

5.1.2.1.1 Descripción de datos. La muestra de estudio incluyó 1740 hombres, 590 mujeres y cinco personas de géneros diversos. Se realizaron extensos esfuerzos para entrevistar al mayor número posible de recicladores. Ver Tabla 8

Variabes para métodos estadísticos multivariados. detalla las 30 variables de la encuesta, las cuales están organizadas en cinco categorías: educación, que evalúa la habilidad para leer y escribir y el nivel educativo alcanzado; trabajo, que abarca variables relacionadas con el proceso de recuperación de residuos sólidos urbanos (RSU); salud, que examina aspectos de la condición física de los recicladores y su relación con el sistema de salud; demografía, que considera elementos poblacionales relevantes para el estudio; y finalmente, la dimensión familiar, que toma en cuenta la estructura y dinámica familiar de los participantes. Además, la tabla 8 clasifica las variables según su naturaleza para facilitar su análisis.

Tabla 8

Variabes para métodos estadísticos multivariados

Dimensión	Variable	Descripción	Tipo
Educación	Alfabetización	Si es analfabeto	Binario
	Nivel educativo	Nivel de educación	Nominal
Trabajo	Entrenamiento	Ha recibido capacitación para su trabajo	Binario
	Residencial	Si recoge el material en una ubicación para	Binario
	Días trabajados	realizar su trabajo	Continuo
	Transporte	Días trabajados por semana	Nominal
	Propio	Tipo de transporte	Nominal
	Tiempo reciclaje	Transporte propio	Continuo
	Horas trabajadas	Años de reciclaje	Continua
		Horas trabajadas por día	Binario

Dimensión	Variable	Descripción	Tipo
	Asociación	El trabajador está afiliado a alguna asociación	Binario
	Carreta	Si recoge el material en una carreta	Binario
	Residencial	Si recoge el material en una habitación	Binario
	Ruta	residencial	Binario
	Centro comercial	Tiene una ruta establecida	Binario
	Oficina	Si recoge el material en un centro comercial	Binario
	Industria	Si recoge el material en una oficina	Binario
	Vecindario	Si recoge el material en una zona industrial	Binario
	Otro	Si recoge el material en un vecindario	Binario
	Otro trabajo	Otro lugar de recolección	Binario
	Ingreso	Tiene otro trabajo	Nominal
	Razón	Ingreso mensual por reciclaje Razón para hacer este trabajo	
Salud	Condición	Si tiene una discapacidad	Binario
	Ss	Si tiene una discapacidad	Nominal
Demográfico	Municipio	Municipio de nacimiento	Nominal
	Edad	Edad de la persona	Continuo
	Migración	Si el lugar de residencia es diferente al lugar de	Nominal
	Genero	nacimiento Género	Binario
Familia	Cabeza hogar	Si es cabeza de hogar	Binario
	Personas hogar	Número de personas en el hogar	Discreto
	Trabajo hogar	Número de personas que trabajan en el hogar	Discreto

Fuente: Elaboración propia

Los datos cualitativos se transcribieron, codificaron y organizaron en temas específicos con el objetivo de consolidar los hallazgos cualitativos y explorar sus interrelaciones. Para realizar los

análisis matemáticos y estadísticos, se utilizó RStudio Desktop versión 4.2.0. A continuación, se detalla el perfil de la muestra estudiada.

5.1.2.2 Análisis exploratorio. Las Tablas 9, 10 y 11 presentan un resumen de algunas variables nominales seleccionadas. En la tabla 8 se observa que la mayoría de los individuos poseen un nivel de educación primaria o secundaria y no son migrantes (46%), mientras que solo un pequeño porcentaje cuenta con educación universitaria (2%). La tabla 9 indica que la proporción de mujeres, tanto migrantes como no migrantes, es casi equivalente; sin embargo, la mayoría de los hombres son no migrantes. La tabla 10 revela que la mayoría de las personas no están afiliadas a asociaciones y están inscritas en el régimen de salud subsidiado. En este sentido, la información presentada revela varios aspectos clave sobre la población de recicladores encuestada en este estudio:

Nivel Educativo: La mayoría de los recicladores tienen una educación que no supera la secundaria, con un notable 46% que no son migrantes. Esto podría reflejar barreras en el acceso a la educación más avanzada o una tendencia a ingresar al mercado laboral de reciclaje sin una formación formal prolongada. Además, solo el 2% tiene educación universitaria, indicando que el acceso a la educación superior es limitado para este grupo, lo que puede estar relacionado con factores económicos o sociales.

Migración: Los datos muestran que hay una distribución casi equitativa de mujeres migrantes y no migrantes, sugiriendo que la migración podría influir de manera similar en las oportunidades o la decisión de las mujeres de entrar en el sector del reciclaje. En contraste, la mayoría de los hombres en este sector no son migrantes, lo que podría sugerir que los hombres locales son más propensos a dedicarse al reciclaje, o que las barreras para los migrantes masculinos son mayores.

Seguridad Social y Asociación: La mayoría de los encuestados no están afiliados a asociaciones y pertenecen al régimen de salud subsidiado. Esto destaca un nivel de vulnerabilidad socioeconómica, dado que la falta de asociación puede limitar su acceso a derechos laborales y beneficios colectivos. La inscripción en el régimen de salud subsidiado también subraya una falta generalizada de recursos financieros, puesto que este régimen está dirigido a la población de menor ingreso en Colombia.

La interpretación de estos datos es fundamental para comprender las condiciones socioeconómicas y educativas de los recicladores, lo que puede ayudar a diseñar políticas públicas y programas de intervención social más efectivos para mejorar las condiciones de trabajo y vida de este sector vulnerable.

La tabla 9 muestra la relación entre el nivel de educación de los recicladores y su estado migratorio en Colombia. Los datos más relevantes fueron Educación Primaria: 573 recicladores no migrantes (29%) y 520 migrantes (26%) y Educación Secundaria: 330 recicladores no migrantes (17%) y 238 migrantes (12%).

Estos datos reportan una prevalencia de baja educación, dado que la mayoría de los recicladores, tanto migrantes como no migrantes, tienen niveles de educación primaria o secundaria. Esto refleja una tendencia común en trabajos de baja cualificación técnica como el reciclaje, donde las barreras de entrada en términos de educación formal son menores. Por otra parte, se puede evidenciar el impacto de la migración, debido a que un alto porcentaje de recicladores con educación primaria son migrantes (26% de todos los migrantes). Esto puede sugerir que individuos con menor nivel educativo encuentran en el reciclaje una oportunidad laboral accesible tras migrar.

De igual manera, se apreció la educación universitaria baja en ambos grupos, tanto entre migrantes como no migrantes, el porcentaje de personas con educación universitaria es muy bajo (aproximadamente 1%), lo que podría indicar que las oportunidades educativas avanzadas no son comunes o no se consideran necesarias para la labor de reciclaje. Por otra parte, se observó un equilibrio en sin formación formal, debido a la similitud en porcentajes entre recicladores migrantes y no migrantes sin formación formal sugiere que la falta de educación formal no es un impedimento significativo para participar en la actividad de reciclaje, independientemente del origen, lo cual coincide con la opinión de (Fundación Panamericana para el Desarrollo, FUPAD, 2024).

Tabla 9

Nivel de educación vs. Migración

Nivel de educación	Migración	
	No	Si
E	573 (29%)	520 (26%)
H	330 (17%)	238 (12%)
N	148 (7%)	144 (7%)
U	23 (1.1%)	17 (0.9%)

E: Educación primaria. H: Educación secundaria. N: Sin estudios formales. U: Educación universitaria.

Dado el bajo nivel de educación formal observado, hay un fuerte argumento para el desarrollo de programas de capacitación que no solo mejoren las habilidades en reciclaje, sino que también ofrezcan educación básica y financiera, lo cual podría mejorar la calidad de vida de los

recicladores y su eficiencia en el trabajo, tal como lo expresa Solayo (2012). Desde esta perspectiva, los programas de integración laboral para migrantes podrían enfocarse en sectores como el reciclaje, donde la barrera de entrada por nivel educativo es baja. Estos programas podrían incluir orientación sobre normativas locales y derechos laborales (Vázquez, et. al, 2023). En este sentido, el análisis resalta la importancia de entender las dinámicas educativas y migratorias dentro de grupos laborales específicos como los recicladores para diseñar intervenciones sociales y económicas más efectivas y específicas.

La tabla 10 detalla la distribución de la migración por género entre los recicladores, ofreciendo un desglose entre hombres y mujeres, tanto migrantes como no migrantes. Aquí está la interpretación y el análisis teórico de estos datos en relación con la tesis, que busca proponer un modelo de proceso para aumentar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos. Este análisis ayuda a contextualizar la necesidad de entender las dinámicas de género y migración en el desarrollo de modelos eficientes para el sector del reciclaje en áreas urbanas densamente pobladas.

Tabla 10

Migración vs Genero

Género	Migración	
	No	Si
Femenino	263 (13.0%)	251 (12.0%)
Masculino	810 (41.0%)	666 (33.0%)
Otro	1(0.0%)	2 (0.1%)

Distribución por género y procedencia:

Femenino: 263 recicladoras no son migrantes (13%) y 251 son migrantes (12%).

Masculino: 810 recicladores no son migrantes (41%) y 666 son migrantes (33%).

Se evidencia una predominancia masculina, hay una mayor cantidad de hombres tanto en el grupo de migrantes como en el de no migrantes, lo que podría indicar que el reciclaje es un sector laboral predominantemente masculino.

Por otra parte, se observa según los datos reportados, una alta migración entre hombres: existe un notable porcentaje de hombres migrantes (33%) en comparación con las mujeres migrantes (12%). Esto podría reflejar patrones migratorios más amplios o una tendencia de los hombres a buscar trabajo en el reciclaje después de migrar, posiblemente debido a las bajas barreras de entrada en términos de requerimientos educativos y técnicos.

Se evidencia valores equidistantes en los porcentajes entre géneros de migrantes, por el hecho de que los porcentajes de mujeres migrantes y no migrantes sean cercanos sugiere que las mujeres que deciden migrar también ven en el reciclaje una oportunidad laboral viable. Esto según Fernández, (2010) explica por qué el reciclaje atrae a un número significativo de migrantes y por qué es predominantemente masculino, debido a su accesibilidad como fuente de ingresos, esencialmente para aquellos en contextos vulnerables, por otra parte, considerando cómo las barreras estructurales y de género podrían influir en las motivaciones y experiencias de las mujeres en este campo, refleja la tendencia a una participación mayoritariamente masculina en las primeras fases del reciclaje, pero también destaca cómo las dinámicas laborales pueden estar evolucionando para incluir cada vez más a las mujeres migrantes, dado que el mercado laboral puede estar segmentado de tal manera que ciertos trabajos de baja calificación, como el reciclaje, son ocupados por quienes tienen menos oportunidades en otros sectores, como los migrantes y los hombres con baja educación formal.

De igual manera, la presencia significativa de hombres migrantes en el reciclaje puede ser una representación de lo que expone Gómez (2010), que sugiere que los patrones de migración no solo están influenciados por la búsqueda de mejores oportunidades económicas, sino también por la adaptación a mercados laborales específicos en los destinos migratorios.

La tabla 11, describe datos sobre la relación entre la seguridad social y la asociación entre los recicladores, desglosando la información en tres categorías de seguridad social: Contributivo (C), No Contributivo (N), y Subsidiado (S), y si los recicladores están o no asociados. Aquí está la interpretación y análisis teórico de estos datos:

Distribución de la Seguridad Social y Asociación:

- No Asociados: 68 (3%) están en el régimen Contributivo, 527 (26%) en No Contributivo, y 1241 (62%) en Subsidiado.
- Asociados: 0 (0%) están en el régimen Contributivo, 6 (0.3%) en No Contributivo, y 151 (8.7%) en Subsidiado.

De acuerdo con el reporte de los datos se observa, un predominio del régimen subsidiado, tanto en recicladores asociados como no asociados, la mayoría están inscritos en el régimen subsidiado, lo que indica que se trata de una población con acceso limitado a recursos económicos y de salud de mayor cobertura. Esta realidad encontrada, de acuerdo con la teoría de redes sociales y capital social, explicada por Vázquez, (2014), las redes y asociaciones pueden proporcionar apoyo significativo a sus miembros, desde oportunidades económicas hasta beneficios sociales y de salud. La baja tasa de asociación, especialmente entre quienes están en el régimen subsidiado, podría reflejar un bajo nivel de capital social entre los recicladores, limitando su acceso a recursos y oportunidades más amplias.

Tabla 11*Seguridad social vs asociación*

Asociación	Seguridad social		
	C	N	S
No	68 (3%)	527 (26%)	1241 (62%)
Si	0 (0%)	6 (0.3%)	151 (8.7%)

Asimismo, se observa una baja asociación con contributivo, por el hecho de que ningún reciclador asociado esté en el régimen contributivo y muy pocos en el no contributivo sugiere que quienes se asocian tienden a ser aquellos que dependen más de los programas de apoyo del gobierno, probablemente debido a su vulnerabilidad económica. Esta situación, según Garriga, (2013) sugiere que los individuos toman decisiones basadas en el máximo beneficio personal con el mínimo costo. La baja asociación entre los recicladores podría indicar que no perciben suficientes beneficios en las asociaciones existentes o que los costos percibidos de unirse (tales como cuotas, tiempo, etc.) superan los beneficios esperados.

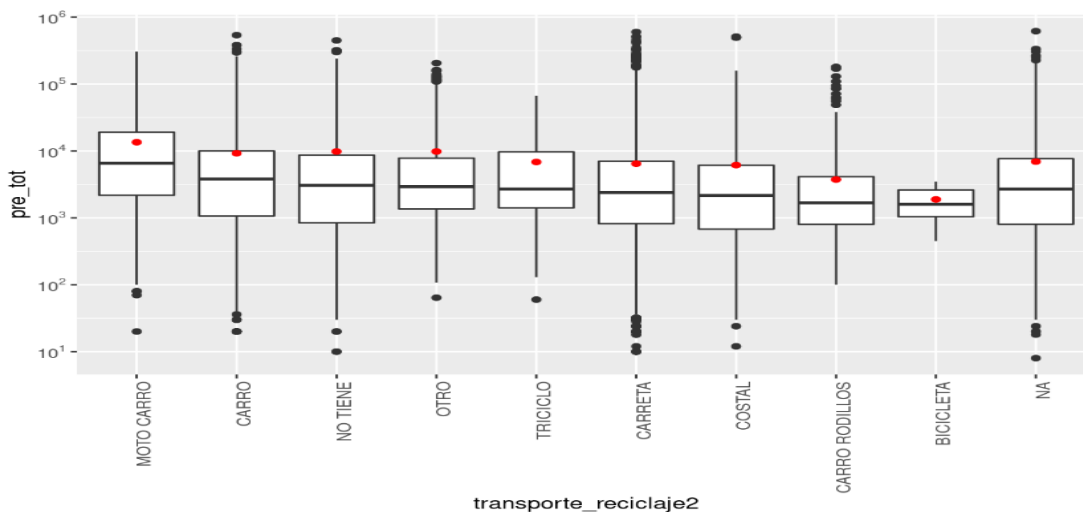
Por otra parte, una alta proporción de no asociados en régimen subsidiado, porque la gran mayoría de no asociados estén en el régimen subsidiado podría indicar una falta de estructuras organizativas que promuevan la asociación o beneficios tangibles de estas, dejando a muchos dependientes del mínimo soporte estatal. Desde esta perspectiva, Gómez y Ronda (2008) comentan que el acceso a la seguridad social es crucial para mejorar el bienestar y el desarrollo humano. El alto porcentaje de recicladores en el régimen subsidiado y la baja asociación puede indicar desafíos significativos en el desarrollo humano de esta población.

En esta sección también se examinaron variables como el medio de transporte utilizado y la edad de los recicladores, entre otras, para evaluar su impacto en la eficiencia del reciclador. En particular, la gráfica de caja y bigotes que se ilustra en la figura 11, destacada por puntos rojos que representan las medias de ingresos asociadas a cada medio de transporte, muestra que estas medias se alinean horizontalmente. Esto indica que no hay variaciones significativas en los ingresos entre los distintos tipos de transporte utilizados. Este hallazgo sugiere que la elección del medio de transporte no influye de manera significativa en los ingresos promedio de los recicladores, contrariando la hipótesis inicial que proponía que diferentes métodos de recolección podrían afectar el rendimiento económico de los recicladores.

Figura 11

Combinación de medio de transporte vs ingresos

Fuente: Elaboración propia



La interpretación de los datos que muestran una distribución uniforme de ingresos entre los diferentes medios de transporte utilizados por los recicladores tiene implicaciones significativas en cómo se entienden las estrategias de mejora en el sector del reciclaje. A pesar de la diversidad en los métodos de recolección, desde el uso de carretillas hasta vehículos motorizados, la falta de variación en los ingresos sugiere que la elección del transporte no influye sustancialmente en las ganancias de los recicladores.

De acuerdo con Salazar y Hernández (2018), la eficiencia en la gestión de residuos sólidos depende del método de recolección, así como de la integración y el reconocimiento de los recicladores en los sistemas de gestión de residuos urbanos. La estabilidad en los ingresos a través de los diferentes tipos de transporte podría reflejar una homogeneización de las prácticas dentro de la comunidad de recicladores, donde factores como la ubicación, el acceso a recursos y la cooperación entre recicladores podrían jugar roles más determinantes que el tipo de transporte per se.

Además, Reyes, et. al, (2015) argumentan que la capacidad de los recicladores para negociar precios y acceder directamente a los mercados de reciclaje puede tener un impacto más profundo en sus ingresos que los medios de transporte utilizados. Esto sugiere que las políticas y los programas de apoyo deben enfocarse más en fortalecer las capacidades comerciales y de negociación de los recicladores, así como en mejorar su acceso a mercados justos y sostenibles.

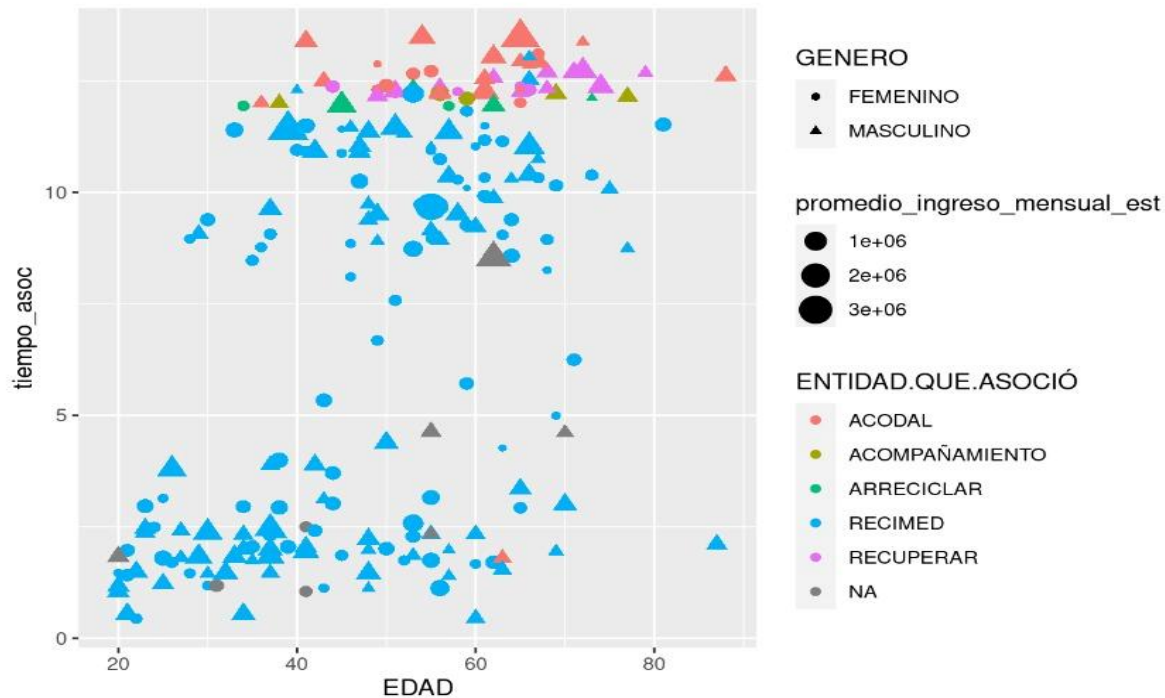
Por lo tanto, este análisis refuerza la idea de que el diseño de intervenciones para mejorar la eficiencia del reciclador no debería centrarse únicamente en el tipo de transporte, sino también considerar otros aspectos operativos y estratégicos que influyen en la eficacia y sostenibilidad del reciclaje urbano. Tales intervenciones podrían incluir la formación en habilidades de gestión, el

apoyo para el desarrollo de cooperativas de recicladores y la implementación de políticas que promuevan una remuneración equitativa y justa.

Por otro lado, se cuenta con el análisis exploratorio presentado en la figura 12 que examina las interrelaciones entre la edad, el tiempo de asociación a entidades, el género y los ingresos mensuales de recicladores formalizados, específicamente encuestados en Medellín, Colombia por la Alianza EFI. Los datos indican la participación de ambos géneros, con ingresos que varían según la capacidad individual de recuperación de materiales. Se destaca que la estabilidad en los ingresos parece estar vinculada al tiempo de asociación: aquellos recicladores con mayor antigüedad en sus asociaciones tienden a reportar mejores ingresos, posiblemente debido al reconocimiento obtenido en sus áreas de trabajo (Cajamarca, et. al, 2024).

Figura 12

Relación entre edad, tiempo asociado a entidades, género e ingresos mensuales de recicladores de oficio



La relación entre la duración de la afiliación de los recicladores a entidades formales y su rendimiento económico resalta una tendencia significativa: los recicladores con mayor tiempo en asociaciones tienden a reportar ingresos superiores. Este fenómeno puede explicarse a través de diversos factores. En este sentido, Gutberlet y Nazim, (2018), consideran que el fortalecimiento de las redes sociales y el aumento del capital social entre los recicladores son cruciales para mejorar sus condiciones laborales y económicas. La estabilidad en una asociación puede llevar a una mayor confianza y reconocimiento por parte de la comunidad y los usuarios, facilitando el acceso a más y mejores materiales reciclables.

Además, el decreto 596 de 2016 en Colombia, regula las actividades de los recicladores de oficio como prestadores de servicios públicos de aseo, implicando que aquellos que están formalmente asociados seguramente cumplen de forma más rigurosa la normativa, lo cual

incrementa su legitimidad y facilita su operación dentro del marco legal, mejorando su visibilidad y las posibilidades de recibir apoyo gubernamental y no gubernamental, como capacitaciones y acceso a infraestructuras de reciclaje.

Este cumplimiento normativo, combinado con la permanencia en asociaciones, podría explicar por qué estos recicladores experimentan mejores prácticas operativas, disminución de los desplazamientos, y, en consecuencia, jornadas laborales más eficientes y menos extenuantes. Tal como lo sugieren Nacinovich, (2024). las políticas que promueven la integración formal de los recicladores en los sistemas de gestión de residuos urbanos contribuyen significativamente a mejorar su bienestar económico y social, fortaleciendo así el sistema de reciclaje en su conjunto. Para el análisis actual, se empleó una base de datos que registró las compras de materiales reciclables efectuadas por la cooperativa RECIMED a los recicladores desde 2016 hasta junio de 2020.

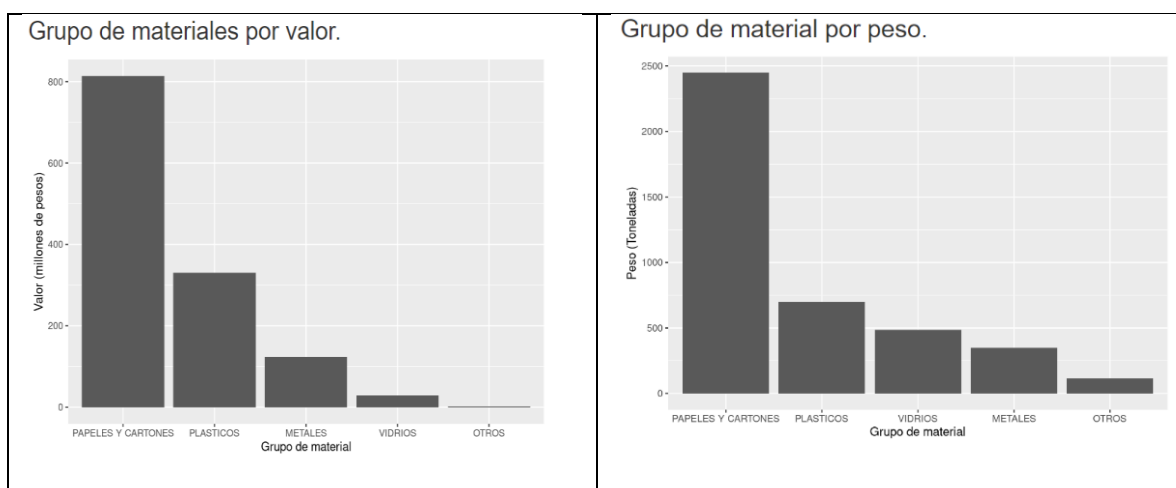
Esta base de datos incluye 14 variables categóricas y 4 continuas y proporciona un detallado análisis de la valoración y eficiencia en la gestión de residuos sólidos. A partir de las gráficas generadas que se ilustran en la figura 14, se destaca que los papeles y cartones son los materiales más comunes en términos de peso, lo cual es típico en entornos urbanos. No obstante, aunque los plásticos y metales se presentan en menores cantidades, su valor económico es considerablemente más alto, destacando su rentabilidad. Este hecho resalta la importancia de mejorar la recolección selectiva, especialmente de estos materiales, para optimizar la recuperación y rentabilidad en el reciclaje.

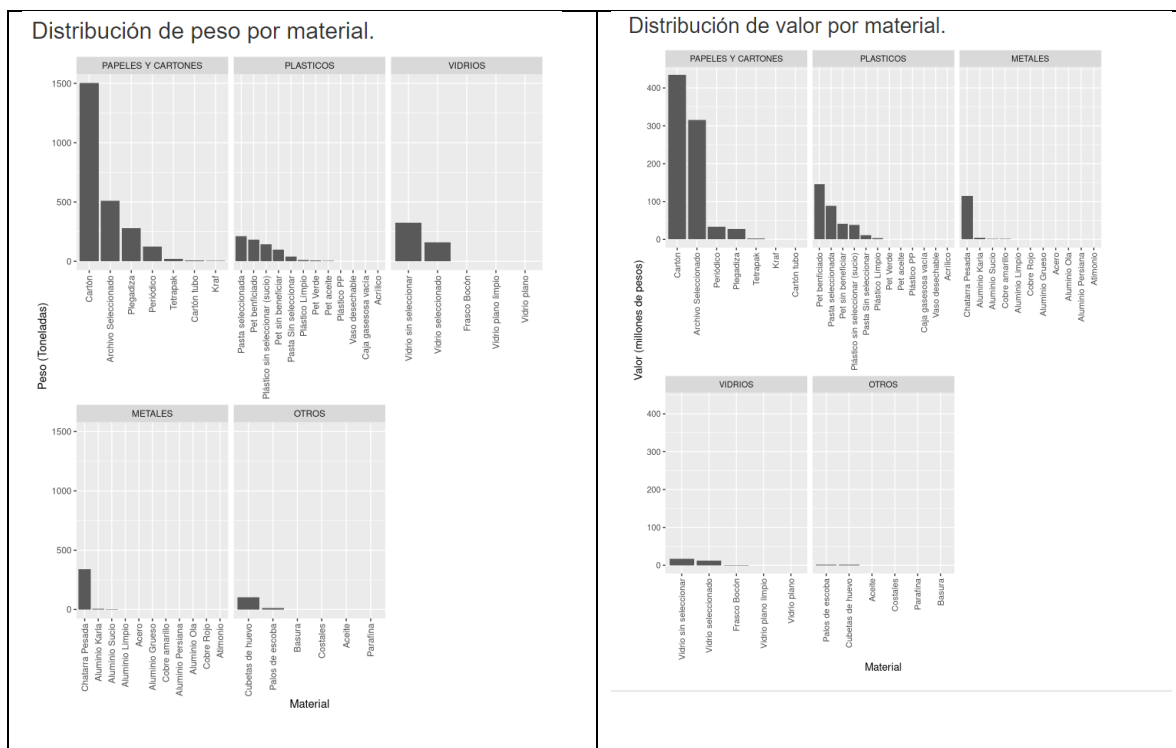
Además de ello, en la figura 13 se ilustra las variaciones en las compras globales realizadas por RECIMED desde enero de 2016 hasta junio de 2020, revelando un patrón dinámico en la inversión y el volumen de materiales reciclables adquiridos. Esta fluctuación podría atribuirse a factores estacionales o cambios en las políticas ambientales, los cuales pueden afectar la

motivación de los recicladores. Según García (2016), la variabilidad en los precios de venta de los materiales reciclables está directamente influenciada por las condiciones cambiantes del mercado global y la demanda de ciertos materiales. Este fenómeno afecta directamente las estrategias de recolección adoptadas por los recicladores, quienes pueden optar por centrarse en materiales que ofrezcan un mayor retorno económico en determinados periodos.

Figura 13

Análisis exploratorio y combinación de encuestas RECIMED vs. Alianza EFI

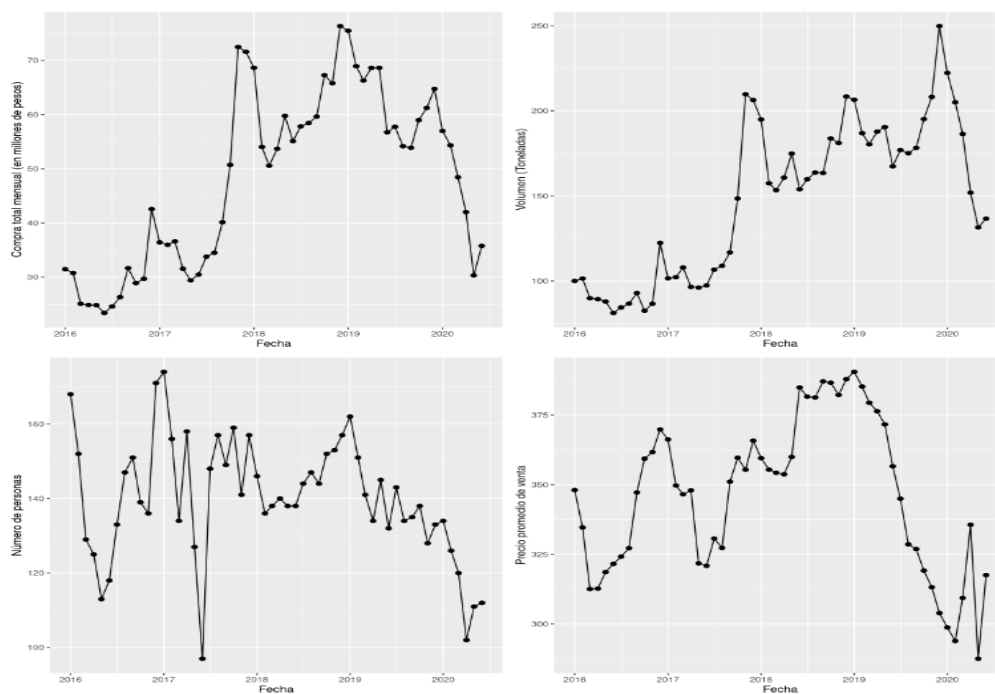




Además, Sukholthaman y Sharp (2016) destacan que la interacción entre el valor de mercado de los residuos, el volumen de material recogido, la participación laboral y las prácticas de compra influyen significativamente en la eficacia de los sistemas de gestión de RSU. Estos autores destacan la necesidad de una comprensión integral de estos factores para optimizar los procesos de recolección y aumentar la eficiencia en la recuperación de RSU. Este análisis sugiere que una estrategia efectiva debería considerar tanto los aspectos económicos como los operativos para adaptarse y responder a las dinámicas del mercado y las necesidades ambientales, garantizando así una gestión de residuos sostenible y económicamente viable.

Figura 14

Comportamiento global de las compras – Captación RECIMED (2016 a 2020)



Fuente: Elaboración propia.

La información expuesta a lo largo de este apartado ha permitido identificar las variables, funciones y eventos asociadas al proceso de aprovechamiento de los RSU, información medular para diseñar un modelo que permita optimizar la eficiencia del rol del reciclador, en este sentido es necesario presentar los hallazgos encontrados en la fase de identificación y análisis, en la tabla 12 se consolida la información correspondiente a las variables, funciones y eventos.

Tabla 12

Variables, funciones y eventos

Variables	Funciones	Eventos
•Cantidad de Materiales Recuperados: volumen total de	•Recolección de Materiales: Función que implica la recopilación	•Campañas de Concientización: Evento planificado que puede

<p>materiales recolectados y preseleccionados por los recicladores.</p>	<p>de residuos sólidos urbanos por parte de los recicladores.</p>	<p>influir en la participación comunitaria y en la cantidad de materiales recogidos.</p>
<p>•Eficiencia en la recolección: optimización de rutas y métodos de recolección para maximizar la cantidad de materiales recuperados por los recicladores y disminuir desplazamientos.</p>	<p>•Alistamiento de Materiales: Función que abarca la preparación y organización de los materiales recogidos para su posterior clasificación.</p>	<p>•Implementación de Programas de Formación: Evento que implica la introducción de programas para mejorar las habilidades y conocimientos de los recicladores.</p>
<p>•Eficiencia en la preselección: efectividad en la clasificación inicial de los materiales recogidos por los recicladores.</p>	<p>•Preselección de Materiales: Función que involucra la clasificación inicial de los materiales recuperados por los recicladores.</p>	<p>•Apertura de Nuevos Mercados: Evento que puede afectar la tasa de comercialización al ampliar las oportunidades para la venta de materiales recuperados.</p>
<p>•Acceso a Infraestructura de Reciclaje: disponibilidad de instalaciones y recursos para facilitar la preselección y clasificación eficiente de materiales.</p>	<p>•Comercialización de Materiales: Función que comprende la venta y colocación de los materiales recuperados en los mercados correspondientes.</p>	<p>•Mejoras en la Infraestructura: Evento que incluye cambios o inversiones en infraestructuras para facilitar la eficiencia en la preselección y clasificación de materiales.</p>
<p>•Condiciones Laborales: disminución en la jornada laboral.</p> <p>•Valor Agregado a materiales recuperados: implementación de prácticas que disminuyan la incertidumbre de los materiales en la fuente.</p>	<p>•Mejora de Condiciones Laborales: Función destinada a implementar acciones que contribuyan al bienestar y a la mejora de las condiciones de trabajo de los recicladores.</p>	<p>•Cambios en las Políticas Gubernamentales: Evento que puede impactar en las condiciones laborales y en la eficiencia general del proceso de recuperación.</p>
<p>• Inclusion en la Cadena de Suministro: integración efectiva de</p>		

los materiales recuperados en la cadena de suministro, facilitando su procesamiento y reciclaje.

- Participación comunitaria: apoyo y reconocimiento de la comunidad a las actividades de recuperación de los recicladores.

- Formación y Desarrollo: programas de formación continua para mejorar las habilidades y conocimientos de los recicladores en el proceso de recuperación.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Modelo de proceso de gestión de residuos sólidos en el contexto colombiano

Una vez identificada la necesidad, variables, funciones y eventos, se puede comprender como se está llevando a cabo el modelo de proceso de GRSU en Colombia, abordando cada etapa desde la selección de micro rutas hasta la comercialización de los materiales. Este modelo operativo destaca no solo las etapas claves sino también identifica los puntos críticos y los eventos que tienen un impacto significativo en la eficacia del sistema (ver figura 15).

Según Algarrá (2016) el flujo operativo en la gestión de RSU involucra una serie de pasos críticos que deben ser eficientemente manejados para optimizar la recuperación y reciclaje de materiales. Estos pasos incluyen la selección adecuada de rutas de recolección, que son vitales para maximizar la captura de materiales reciclables y minimizar los costos operativos. La recolección y el alistamiento son pasos donde se requiere una coordinación efectiva entre

diversos actores, incluyendo recicladores, operadores de transporte y centros de reciclaje, para garantizar que los materiales son adecuadamente separados y preparados para su reutilización o reciclaje. Autores como Wilson, y otros. (2015) enfatizan la importancia de analizar y mejorar continuamente cada etapa del proceso de gestión de RSU. Ellos sugieren que la evaluación de los puntos críticos y los eventos disruptivos en cada etapa puede desarrollar estrategias que mejoren la eficiencia del sistema. Por ejemplo, la implementación de tecnologías para la optimización de rutas o sistemas de información que permitan una mejor coordinación entre los actores pueden resultar en una reducción significativa de los tiempos de recolección y una mejora en la calidad de los materiales recogidos.

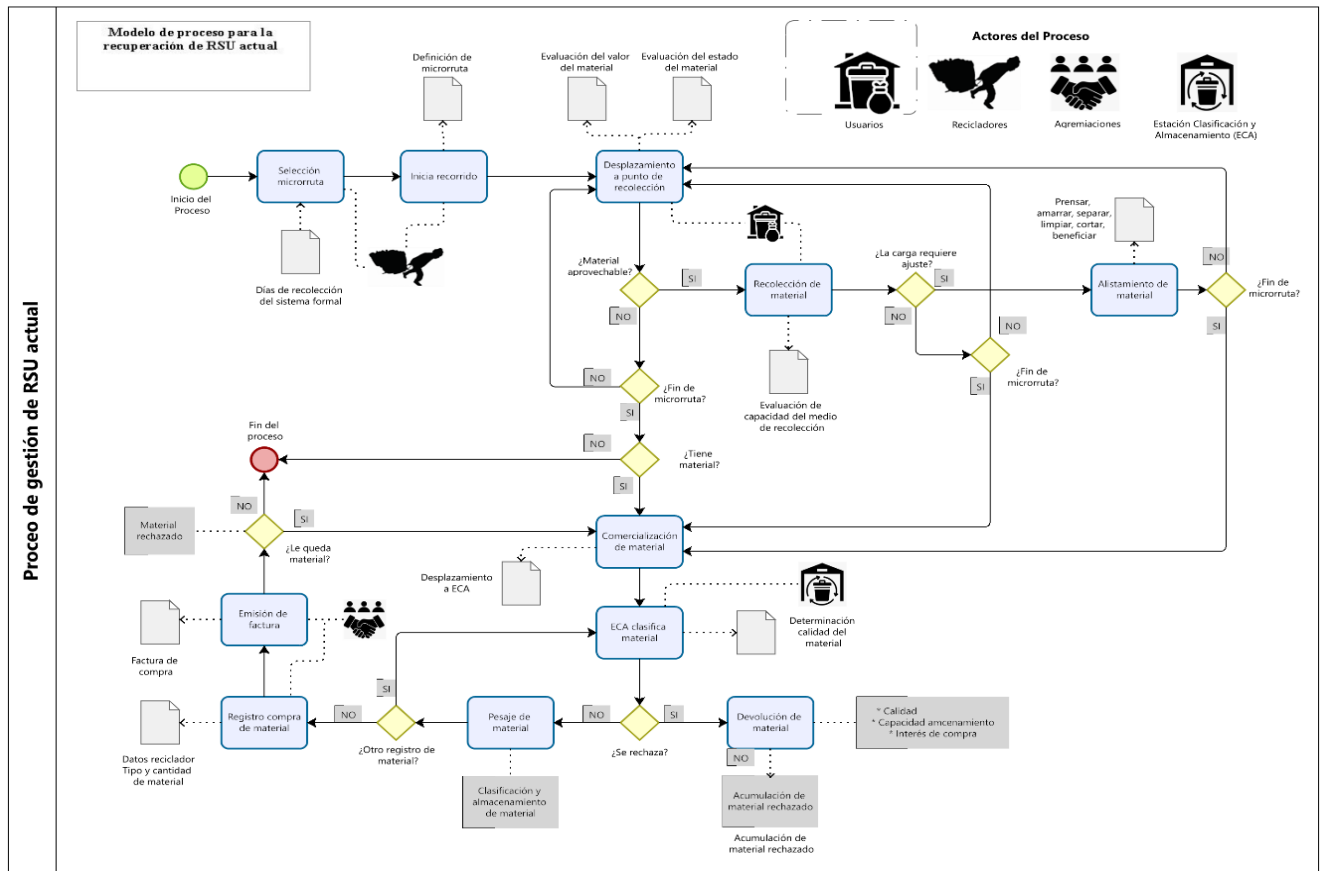
En este contexto, la propuesta de un modelo de proceso mejorado, como se menciona en el documento, debe enfocarse en abordar estos puntos críticos, haciendo uso de tecnología y estrategias innovadoras para optimizar cada paso del proceso. Esto no solo aumentaría la eficiencia del sistema de gestión de RSU, sino que también podría contribuir a la sostenibilidad ambiental y económica, proporcionando un marco para futuras investigaciones y desarrollos en el sector del reciclaje en Colombia.

En la figura 15 se ilustra como los actores principales en el proceso de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) incluyen a los usuarios (generadores de RSU), recicladores (responsables de la recuperación de residuos), Estaciones de Clasificación y Almacenamiento (ECAs) y, las asociaciones de recicladores. A continuación, se detalla cómo se desarrolla este proceso: el proceso inicia cuando el reciclador define la microrruta que seguirá, tomando en cuenta factores como los días y zonas de recolección del sistema formal de la ciudad, y los puntos donde históricamente ha encontrado mayores cantidades de material reciclable. Posteriormente, el reciclador comienza su recorrido por los puntos establecidos, ajustando su ruta según las

eventualidades que surjan durante el día. En cada punto de recolección, evalúa si el material es aprovechable y, de ser así, lo recolecta. Continúa con la revisión de la carga que lleva, realizando ajustes necesarios como prensar, amarrar o separar los materiales según sea necesario. Una vez completada su microrruta, se dirige a una ECA para comercializar el material recolectado.

Figura 15

Modelo de proceso para la recuperación de RSU actual



En la ECA, el material entregado por el reciclador es evaluado para determinar si cumple con los estándares de calidad requeridos para su procesamiento. Si el material es rechazado por

cuestiones de calidad, falta de capacidad de almacenamiento o falta de interés comercial, es rechazado; de lo contrario, es aceptado, pesado, clasificado y almacenado. Se registra la compra indicando el tipo y cantidad de material, así como los datos del reciclador. La asociación vinculada a la ECA emite entonces una factura de compra y procede al pago al reciclador según el tipo y cantidad de material entregado. Si al reciclador le sobra material, puede dirigirse a otra ECA para intentar venderlo y repite el proceso hasta deshacerse de todo el material reciclable. Cualquier material que no sea aceptado por ninguna ECA se acumula como RSU en puntos específicos de la ciudad, donde eventualmente será recogido por el sistema formal, pero sin reintegrarse al ciclo económico, convirtiéndose simplemente en basura.

Este proceso, destaca la importancia de cada actor y su rol en la eficiencia del reciclaje urbano, no solo en términos ambientales sino también económicos. La optimización de este flujo puede contribuir significativamente a la sostenibilidad de las ciudades, maximizando la reintegración de materiales reciclables en la economía y minimizando la acumulación de desechos. A partir del modelo de proceso presentado, se pueden identificar los puntos críticos y las eventualidades en cada etapa que pueden afectar la eficiencia de rol del reciclador como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13

Etapa, puntos críticos, eventos e impacto en la eficiencia del reciclador

Etapa	Punto Crítico	Eventos	Eficiencia – Impacto
	Evaluación de capacidad del medio de recolección	Capacidad de almacenamiento insuficiente o vehículo inadecuado.	Menor cantidad de material recolectado y mayor número de viajes necesarios.

 MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Etapas	Punto Crítico	Eventos	Eficiencia – Impacto
	Valoración del material	Selección inadecuada de material por desconocimiento, falta de formación o cambios en el valor del mercado.	Reducción de la calidad y valor del material recuperado.
Recolección	Selección incorrecta de microrutas.	Elección de rutas con baja densidad de material reciclable o cambios en la macroruta del sistema formal de recolección.	Disminución del material recolectado por unidad de tiempo.
	Conocimientos técnicos	Insuficiente capacitación en técnicas de preselección y beneficio de material	Calidad inconsistente del material beneficiado y posibles rechazos por la ECA.
	Espacio de trabajo	Área de trabajo inadecuada o demasiado pequeña	Congestión en el lugar de trabajo, lo que puede llevar a una menor eficiencia y posibles accidentes.
Alistamiento	Seguridad y salud ocupacional	Ausencia de medidas de seguridad adecuadas	Aumento del riesgo de lesiones, lo que puede resultar en tiempo de inactividad y baja productividad.
	Logística ineficiente	Rutas ineficientes o problemas de transporte.	Aumento del tiempo y costos de operación, disminuyendo el margen de ganancia.
Comercialización	Acceso a compradores	Limitado número de compradores o dependencia de intermediarios.	Reducción del poder de negociación y posibles precios de venta más bajos.
	Fluctuación de precios de mercado	Cambios en la demanda y precios del material reciclable.	Inestabilidad en los ingresos y posible pérdida de ingresos si los precios caen.

El análisis de los puntos críticos y eventos en cada etapa del proceso de reciclaje, como se presenta en la tabla, es esencial para comprender y mejorar la eficiencia del rol del reciclador en

la gestión de residuos sólidos urbanos. Este enfoque se alinea con la literatura en la materia, donde autores como Wilson, et. al, (2015) enfatizan la importancia de cada actor y su función en optimizar el sistema de reciclaje.

Recolección: La eficiencia en esta etapa se ve comprometida principalmente por la capacidad del medio de recolección y la habilidad para valorar y seleccionar adecuadamente los materiales. Si los recicladores utilizan vehículos inadecuados o desconocen el valor real del material, esto puede conducir a una recolección menos efectiva y a una disminución en la calidad del material recogido. Estudios como los de Gutberlet y Nazim (2018), sugieren que la capacitación y la inversión en equipamiento adecuado son cruciales para aumentar la eficiencia de recolección y la calidad del material recuperado.

Alistamiento: En esta etapa, la falta de capacitación técnica y condiciones inadecuadas de trabajo pueden afectar significativamente la calidad del material preparado para la venta. La seguridad y la salud ocupacional también juegan un papel crucial; como menciona Payares, (2014), la implementación de medidas de seguridad adecuadas no solo protege a los trabajadores, sino que también mejora la productividad y la eficiencia operativa.

Comercialización: Los retos incluyen la logística, el acceso a compradores y la fluctuación de los precios de mercado. Como resaltan Schafran, (2014), la optimización de la logística y el fortalecimiento de las redes de compradores pueden ayudar a mejorar los márgenes de ganancia y reducir la dependencia de intermediarios, lo cual es vital para asegurar estabilidad en los ingresos de los recicladores.

Para mejorar la eficiencia en el proceso de reciclaje, es fundamental abordar estos puntos críticos a través de mejoras en la capacitación, la infraestructura, y las estrategias de comercialización. Esto no solo aumenta la eficacia del reciclador en su rol, sino que también

contribuye a un sistema de reciclaje más sostenible y eficiente en términos económicos y ambientales.

5.2 Relacionamiento entre las variables

En el capítulo 4 titulado "Metodología", se implementaron técnicas estadísticas multivariadas con el propósito de explorar las relaciones entre las variables implicadas en el proceso de recuperación de residuos sólidos. Este análisis se desglosa en tres fases principales. Inicialmente, se emplea el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) para identificar las variables que aportan más información al conjunto de datos, con el objetivo de evitar la sobre especificación. Posteriormente, se procede a una reducción de dimensiones mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando las variables filtradas por el ACM para eliminar redundancias y descubrir patrones comunes entre las variables. La etapa final comprende un análisis de agrupamiento basado en las dimensiones obtenidas del ACP, lo cual permite discernir las relaciones entre las variables y facilita la formación de grupos. Estos grupos son fundamentales para construir perfiles detallados de los recicladores, interpretando cómo se agrupan estos perfiles según las variables analizadas.

5.2.1 Análisis de Correspondencia Múltiple- ACM

El ACM se aplica para seleccionar las variables con mayor varianza, facilitando así el entendimiento de las interrelaciones y contribuyendo a la construcción de perfiles de recicladores. Este método utiliza una matriz de correlación adaptada al tipo de datos disponibles, que incluyen categorías como nominales, ordinales y dicotómicas, así como variables discretas y continuas. De acuerdo con referencias en la literatura, la salida del ACM ofrece una representación

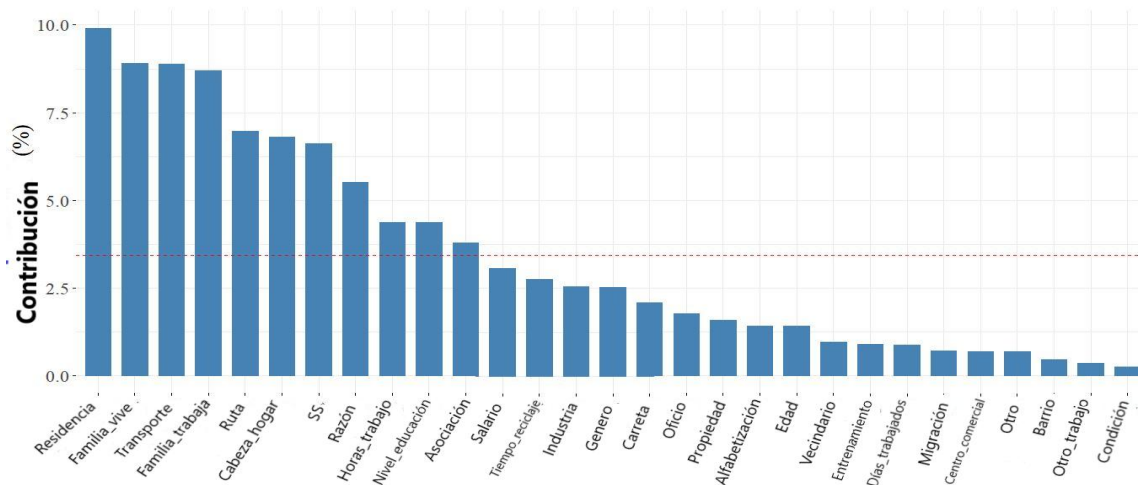
bidimensional óptima de los datos, proporcionando coordenadas de los puntos y una métrica conocida como inercia, que refleja el volumen de información conservada en cada dimensión analizada. Para la comparación de las variables, se emplea la distancia chi-cuadrado, una medida de similitud que ayuda a interpretar más eficazmente la dispersión y agrupación de los datos.

En la figura 16, se muestra la representación bidimensional del conjunto de datos completo, donde las variables por encima de la línea punteada roja son las que más contribuyen a la variabilidad total. Las variables que proporcionan la mayor información para la construcción de los perfiles de los recicladores son residencia, convivencia familiar, seguridad social y nivel educativo. Otras, como migración, edad y alfabetización, no contribuyen significativamente a la información.

Por otra parte, en la figura 16 se presenta la contribución porcentual de cada variable en el conjunto de datos completo a la representación bidimensional en ACM, donde las variables por encima de la línea punteada roja son las que más contribuyen a la variabilidad total, tal como lo expresa Greenacre (2007). En este sentido, las variables que proporcionan la mayor información para la construcción de los perfiles de los recicladores son residencia, convivencia familiar, trabajo familiar, transporte, ruta, cabeza de hogar, seguridad social, motivo, horas de trabajo, nivel educativo y asociación. Por otro lado, variables como migración, edad y alfabetización no proporcionan información significativa. La tabla 14 ofrece una perspectiva fundamental sobre los patrones de vida y trabajo de esta población. Interpretando estas medidas y correlacionándolas con la literatura existente, se puede profundizar en el entendimiento de las condiciones socioeconómicas y laborales de los recicladores.

Figura 16

ACM Contribución de las variables en la variabilidad total



En lo que respecta al tiempo de reciclaje (rango 0-68), la amplia gama en el tiempo dedicado al reciclaje sugiere una diversidad significativa en la experiencia o en la dedicación al reciclaje entre los participantes del estudio. Esto podría implicar, como señala Medina (2007), que la experiencia en reciclaje puede afectar directamente la eficiencia y la capacidad para generar ingresos en esta actividad. Ahora bien, los días trabajados (rango 1-7, media 5.5), la mayoría trabaja cerca de todos los días de la semana, lo que refleja dinámica de la ocupación. Agredo, (2015) destaca que los recicladores a menudo trabajan en condiciones extremas y sin días de descanso, lo que podría afectar su bienestar físico y mental.

En cuanto a la familia que vive y trabaja (rango 0-31 y 0-14, respectivamente), estos datos ilustran que algunos recicladores viven y trabajan con numerosos miembros de la familia. Según Wilson, et. al, (2015), el trabajo en familia puede proporcionar un soporte vital pero también puede indicar la falta de opciones de empleo formal para todo el núcleo familiar. En el criterio de la edad (rango 12-85, media 42.8), se observó la presencia de trabajadores jóvenes y mayores destaca las barreras de acceso a otros sectores de empleo y posiblemente la falta de protección social, como menciona Gutberlet y Nazim, (2018). Al revisar las horas trabajadas (rango 1-18,

media 8.05), el promedio de horas trabajadas es comparativamente alto, lo que puede implicar largas jornadas para obtener ingresos suficientes, una situación resaltada en estudios de Scheinberg, y otros. (2010).

En la variable salario (rango 0-1800, media 126), la gran variabilidad en los ingresos sugiere inequidades significativas dentro de la comunidad de recicladores. Cointreau (2006), indican que los ingresos en reciclaje pueden ser muy inestables, dependiendo de factores externos como los precios de los materiales reciclables y el volumen de residuos disponibles. En cuanto a la contribución de las variables en el ACM, se identifica que ciertos aspectos del estilo de vida y condiciones de trabajo, como la seguridad social, horas de trabajo, y el nivel educativo son fundamentales para entender la variabilidad entre los recicladores. Esto apunta a la necesidad de considerar estas variables al diseñar políticas para mejorar las condiciones de vida y trabajo de los recicladores. Por otro lado, variables menos influyentes como la edad y la alfabetización, aunque no contribuyen significativamente al modelo, no deben ser ignoradas, debido a que podrían tener implicaciones en otros aspectos del bienestar y la inclusión social de los recicladores.

Tabla 14

Medidas descriptivas para variables numéricas

Variable Medida	Media	Mínimo	Máximo
Tiempo reciclaje	11.9	0.0	68.0
Días trabajados	5.5	1.0	7.0
Familia que vive	2.6	0.0	31.0
Familia que trabaja	0.82	0.0	14.0
Edad	42.8	12.0	85.0
Horas trabajadas	8.05	1	18

Salario	126	0.0	1800
----------------	-----	-----	------

5.2.2 Análisis de Componentes Principales de datos mixtos- ACP

El Análisis de Componentes Principales- ACP para datos mixtos es una técnica estadística valiosa utilizada para simplificar la complejidad en conjuntos de datos heterogéneos al reducir la dimensionalidad mientras se mantiene la mayor cantidad posible de información variante original. En el contexto de la gestión de residuos sólidos, esta técnica es particularmente útil para identificar patrones subyacentes y posibles correlaciones entre múltiples variables sociales y operativas que caracterizan la labor de los recicladores (Jolliffe y Cadima, 2016). En este caso, el ACP se ha aplicado a un conjunto de variables previamente seleccionadas mediante un Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM), incluyendo factores como la residencia, la convivencia y el trabajo familiar, el transporte, la ruta, la posición como cabeza de hogar, la cobertura de seguridad social, el motivo de entrada al sector, las horas de trabajo, el nivel educativo y la asociación a grupos de recicladores. Estas variables, que reflejan tanto aspectos demográficos como operativos, son esenciales para comprender la dinámica del trabajo de reciclaje desde una perspectiva socioeconómica.

Al utilizar el ACP, se logra condensar la información contenida en estas variables en dos dimensiones principales, que se representan en un Biplot. Este tipo de gráfico no solo muestra la carga de cada variable en las principales componentes, sino que también puede revelar cómo se relacionan estas variables entre sí. En este sentido, una proximidad entre las variables horas de trabajo y seguridad social podría indicar una correlación entre mayores horas de trabajo y mejor acceso a la seguridad social entre los recicladores, sugiriendo que los que trabajan más horas están mejor integrados en sistemas de protección social.

Como sugieren autores como Wilson et. al, (2015), entender los factores que influyen la eficiencia y la sostenibilidad del reciclaje urbano permite a los planificadores y legisladores abordar de manera más efectiva las necesidades del sector, para la promoción de prácticas más inclusivas y sostenibles. En la tabla 15 se presentan las cargas del ACP. La carga más alta indica la variable más importante para cada dimensión. La dimensión 1 toma la mayor cantidad de información de convivencia y trabajo familiares, mientras que la dimensión 2 toma la mayor cantidad de transporte y ruta, y la dimensión 3 toma la mayor cantidad de motivo, y así sucesivamente. Utilizando cinco dimensiones para representar las treinta variables originales. Primero, se seleccionan las once variables más importantes de ACM. Luego, se calculan cinco nuevas variables utilizando ACP, que no están relacionadas, reduciendo el número de variables en más del 80%, mejorando los cálculos computacionales y la interpretación de datos.

Tabla 15

Cuadrados de las cargas factoriales de ACP

	Dim 1	Dim 2	Dim 3	Dim 4	Dim 5
Familia con la que vive	0.59	0.01	0.07	0.01	0.00
Familia trabajando	0.55	0.02	0.16	0.01	0.00
Horas de trabajo	0.02	0.16	0.02	0.08	0.02
Residencia	0.27	0.26	0.02	0.13	0.12
Asociación	0.22	0.00	0.01	0.07	0.04
Seguridad social	0.23	0.15	0.11	0.25	0.26
Nivel de educación	0.08	0.08	0.11	0.32	0.51
Transporte	0.10	0.46	0.26	0.14	0.13
Cabeza hogar	0.02	0.42	0.06	0.00	0.01
Ruta	0.03	0.46	0.10	0.01	0.00
Razón	0.26	0.01	0.38	0.24	0.00

La información expuesta en la tabla 15 muestra cómo cada una de las variables seleccionadas del ACM contribuye a las diferentes dimensiones identificadas en el ACP. Este tipo de análisis permite entender qué variables son más significativas para describir la estructura y la variabilidad del conjunto de datos en relación con los recicladores y sus operaciones. En la primera dimensión, las variables *Familia con la que vive* y *Familia trabajando* tienen las cargas más altas (0.59 y 0.55, respectivamente). Esto sugiere que las relaciones familiares y la participación de la familia en el trabajo son los aspectos más influyentes en esta dimensión, reflejando quizás cómo el apoyo familiar o la dependencia influyen significativamente en la vida y trabajo de los recicladores. Wilson, y otros. (2015) resaltan la importancia de considerar las dinámicas familiares en estudios de reciclaje urbano, ya que pueden impactar directamente en la productividad y la sostenibilidad de las operaciones de reciclaje.

La segunda dimensión es dominada por *Transporte* y *Ruta* con cargas de 0.46 en ambos casos, lo que indica que los aspectos logísticos son cruciales para entender las operaciones de

reciclaje desde una perspectiva espacial y de eficiencia. Estos factores son esenciales para determinar cómo los recicladores acceden a los materiales y cómo optimizan sus rutas para maximizar la recolección, como lo sugiere la literatura sobre logística en gestión de residuos (Scheinberg, y otros., 2010). La tercera dimensión está liderada por la variable *Razón* (0.38), que podría interpretarse como el motivo por el cual las personas se dedican al reciclaje. Esto puede incluir factores económicos, ambientales o sociales, cada uno con diferentes implicaciones para las políticas de gestión de residuos y programas de apoyo a recicladores.

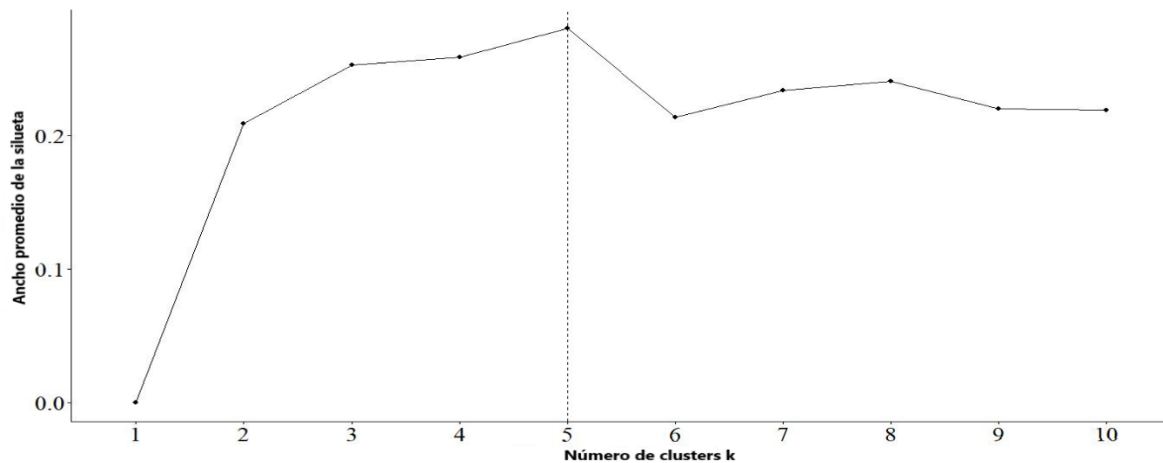
Las dimensiones cuatro y cinco resaltan la importancia del *Nivel de educación* y *Seguridad social*, con cargas de 0.51 y 0.26, respectivamente. Esto sugiere que los factores socioeconómicos, como la educación y la seguridad social, son cruciales para comprender las variaciones en las condiciones laborales y de vida de los recicladores, relacionado con del rol que desempeñan (Wilson, y otros., 2015). Este análisis de ACP ofrece una visión integral y multivariable de las operaciones y condiciones de los recicladores, que deben contemplarse para abordar las necesidades reales y mejorar las condiciones del sector de reciclaje urbano.

5.2.3 Análisis de Agrupamiento o cluster análisis- CA

Inicialmente, se determinó el número ideal de grupos de recicladores utilizando el coeficiente de silueta, como se ilustra en la figura 17 que muestra que la selección del número óptimo de grupos para el análisis de los recicladores se basa en el coeficiente de silueta, un método que determina la calidad de la agrupación al evaluar la cohesión dentro de los grupos y la separación entre ellos. El uso del coeficiente de silueta, como sugieren Kaufman y Rousseeuw (1990), proporciona una herramienta efectiva para identificar el número más adecuado de grupos, al reflejar directamente la solidez y claridad de las agrupaciones formadas.

Figura 17

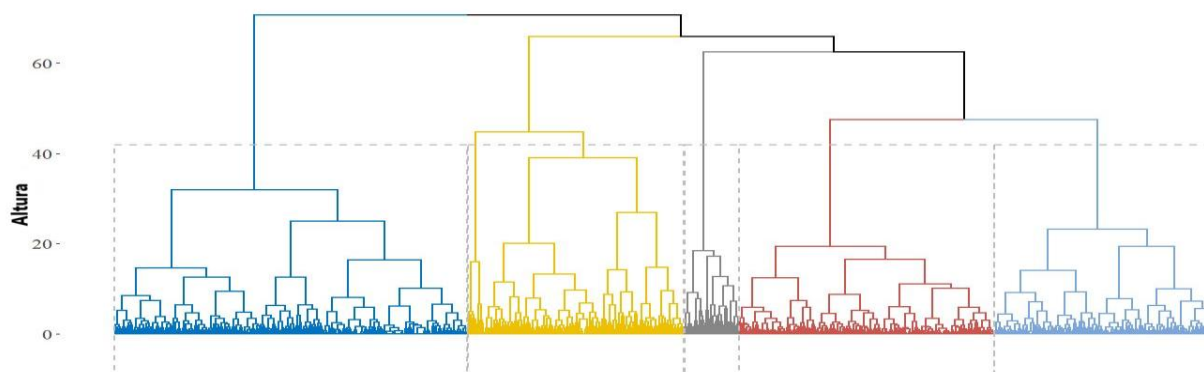
Número óptimo de grupos basado en el coeficiente de silueta



Posteriormente, se aplicó el método de agrupación jerárquica, utilizando la distancia euclidiana al cuadrado para medir la similitud entre los individuos y el método de aglomeración de Ward para determinar cómo se forman los grupos. En la figura 18 se visualizan los resultados de este enfoque jerárquico, empleado para identificar las estructuras de agrupamiento entre los recicladores. Este método, como explican Murtagh y Legendre (2014), es efectivo para revelar relaciones jerárquicas y agrupaciones naturales dentro de un conjunto de datos, basándose en la similitud o disimilitud entre los sujetos estudiados

Figura 18

Dendograma



En el dendrograma, cada rama representa un grupo o clúster de recicladores que comparten características similares, y la longitud de las ramas indica la distancia o la diferencia entre estos grupos. La utilización de la distancia de Ward como método de aglomeración, como sugieren Everitt et al. (2011), ayuda a minimizar la varianza dentro de cada grupo y maximizar la diferencia entre grupos, lo que conduce a una formación de clústeres más homogéneos y claramente definidos. La presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, como se confirmó mediante el test de Kruskal-Wallis, valida aún más la estructura del dendrograma. Esto indica que los grupos identificados no solo son distintos en términos de composición, sino que también representan perfiles diferenciados de recicladores, cada uno con características únicas que permiten una interpretación detallada y una categorización precisa.

El dendrograma proporciona una herramienta crucial para comprender la organización y las diferencias entre los recicladores, facilitando la creación de perfiles específicos que pueden ser útiles para diseñar políticas más efectivas y dirigidas en el contexto de la gestión de residuos y el reciclaje. Por otro lado, se cuenta con la información de la tabla 16 que se usó para evaluar diferencias entre grupos o clusters cuando las variables involucradas son numéricas. Las estadísticas K-W Chi-cuadrado que presentan son extremadamente altas (ranging from 368.52 to

1146.3), y los valores P son extremadamente bajos (menores a $2.2E-16$), indicando que las diferencias entre los clusters en cada dimensión son altamente significativas estadísticamente. Estos resultados muestran que hay variabilidad significativa en las características medidas a lo largo de los diferentes grupos. Esta variabilidad se refleja en las características dominantes que definen cada clúster, permitiendo así una diferenciación clara y una asignación de perfiles específicos a cada grupo:

Clúster 1 (Experimentados): Este grupo se caracteriza por individuos que han estado involucrados en el reciclaje durante más tiempo y viven en hogares con muchas personas, donde más individuos contribuyen al esfuerzo de reciclaje. Esto podría indicar una mayor experiencia y tal vez una tradición o un enfoque familiar hacia el reciclaje.

Clúster 2 (Ingresos más bajos): Este grupo incluye personas con los ingresos más bajos. Es plausible que las restricciones económicas impulsen a estos individuos a reciclar más intensivamente como una forma de suplementar sus ingresos.

Clúster 3 (Trabajadores esforzados): Este clúster se compone de personas mayores que trabajan muchas horas, lo que podría indicar una dependencia del reciclaje como su principal fuente de ingresos o una falta de alternativas de empleo para las personas mayores.

Clúster 4 (Ingresos más altos): En contraste con el segundo clúster, este grupo incluye individuos con los salarios más altos, posiblemente reflejando una mayor eficiencia o habilidad en actividades de reciclaje que generan mejores ingresos.

Clúster 5 (Cómodos): Este grupo trabaja menos días y vive con menos personas, sugiriendo posiblemente un enfoque menos intensivo o necesitado del reciclaje.

La validación de estos grupos a través de la prueba K-W ayuda a afirmar que las agrupaciones no son aleatorias, sino que reflejan diferencias sustantivas y significativas en cómo

diferentes poblaciones se relacionan con la actividad del reciclaje. Esto proporciona las percepciones para diseñadores de políticas y programas destinados a apoyar y mejorar la eficiencia del reciclaje en diferentes comunidades.

La efectividad del análisis de Kruskal-Wallis en la identificación de diferencias significativas entre grupos se destaca en la literatura por su utilidad en comparar medias de rangos entre múltiples grupos cuando los datos no cumplen los supuestos de normalidad. Según Cuadras (1990), este test no paramétrico es especialmente valioso cuando los datos tienen una distribución no normal o cuando las muestras tienen tamaños desiguales, condiciones frecuentes en estudios aplicados como el que estamos discutiendo.

El uso de este procedimiento en nuestro contexto ayuda a validar la distinción entre los clústeres identificados mediante el análisis de componentes principales (ACP), que según Jolliffe (2002), efectivamente reduce la dimensionalidad de los datos preservando la variación máxima. Los resultados significativos de la prueba de Kruskal-Wallis en este estudio indican que las diferencias observadas en las principales componentes (como ingresos, horas trabajadas, y tamaño del hogar) no son aleatorias, sino que reflejan variaciones genuinas entre grupos definidos por prácticas de reciclaje.

Tabla 16

Procedimiento de Kruskal-Wallis para variables y agrupaciones (clusters)

Variable	K – W	P Valor
	Chi ²	
Dim 1	1107.3	< 2.2E – 16
Dim 2	1146.3	< 2.2E – 16

Variable	K – W	P Valor
	Chi ²	
Dim 3	752.9	< 2.2E – 16
Dim 4	368.52	< 2.2E – 16
Dim 5	727.49	< 2.2E – 16

La interpretación y nomenclatura de los clústeres, basada en características distintivas, sigue la recomendación de Everitt et al. (2011), quienes sugieren la identificación de grupos homogéneos dentro de datos complejos. En este estudio, cada clúster revela un perfil único de recicladores, desde los más *Experimentados* hasta los *Cómodos*, que pueden ser de interés para políticas específicas de gestión de residuos y programas de intervención social.

Al entender estas diferencias, como sugieren McPherson y Sauder (2013), los formuladores de políticas y los programadores pueden dirigir recursos y estrategias de manera más efectiva, diseñando intervenciones que respondan a las necesidades específicas de cada grupo. El clúster de *Ingresos más bajos* podría beneficiarse de programas que ofrezcan incentivos adicionales o apoyo para incrementar sus ingresos a través del reciclaje, mientras que el grupo de *Cómodos* podría ser un objetivo para campañas de sensibilización que fomenten un compromiso más profundo con el reciclaje.

5.3 Vigilancia estratégica

5.3.1 Tecnología

Para el análisis documental llevado a cabo en esta fase del proceso investigativo, se contó con un total de 19 documentos que son pertinentes, accesibles, y están dentro del alcance y los objetivos de la investigación, los cuales se utilizaron para conformar las unidades de estudio para la

realización del análisis de contenido el cual se realizó a través del formato de revisión documental. Cada uno de los documentos fueron vaciados en el formato y posterior a ello se realizó la discusión de los hallazgos encontrados en los documentos que formaron parte del análisis, a continuación, se presenta la matriz (tabla 17) que consolida los hallazgos de los artículos analizados para posteriormente realizar la discusión sobre el aporte para la investigación:

Tabla 17

Matriz de revisión tecnológica

Autor	Año de publicación	Aporte
Cavallin	2019	Este estudio doctoral investigo la gestión de residuos sólidos urbanos en dos regiones: el Sudoeste de Buenos Aires (SOBA) y Cataluña, analizando 18 y 19 municipios respectivamente. Utilizando el análisis de envolvente de datos (DEA), se evalúa la eficiencia relativa de estos municipios, destacando a Bahía Blanca y Terrasa por su máxima eficiencia. Los hallazgos sugieren que solo algunos municipios de SOBA necesitarían aumentar su flota de camiones para esta transición, mientras que en términos de personal, están adecuadamente equipados.
Whittembury	2021	Esta investigación propone un modelo de Gestión Sostenible de Residuos Sólidos Urbanos para el distrito de la Banda de Shilcayo, empleando una metodología aplicada y no experimental con 126 participantes entre funcionarios, trabajadores y ciudadanos. Se utilizó la encuesta como técnica principal de recolección de datos. Aunque la municipalidad implementa políticas que intentan involucrar a todos los

Autor	Año de publicación	Aporte
Valeriano	2019	<p>actores, existen falencias en la formalización de recicladores y en el cumplimiento de objetivos, lo que genera insatisfacción debido a la impuntualidad en la recolección y limpieza. El estudio concluye que el modelo sostenible propuesto se basa en la economía circular (8R) y se alinea con la legislación nacional vigente.</p> <p>Esta tesis investiga la relación entre la conducta ecológica y el manejo de residuos sólidos en la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Utilizando un diseño aplicado y cuantitativo de tipo correlacional, se examinó una muestra de 371 estudiantes de 39 facultades. La hipótesis plantea que existe una relación significativa entre la conducta ecológica de los estudiantes y su gestión de residuos. Mediante encuestas y el análisis estadístico usando la Rho de Pearson y la t de Student, se demostró que la conducta ecológica influye directamente en el manejo de residuos. Los resultados confirmaron la hipótesis con una t calculada de 22,24, superando el valor teórico de 1,98, lo que indica una correlación directa y significativa a un nivel de 0,05.</p>
González	2019	<p>Esta tesis analiza las dimensiones política, económica, social y ecológica del CF, implementado para formalizar la actividad de recuperadores en el manejo de residuos sólidos urbanos y promover su inclusión social. Los hallazgos revelan desafíos significativos en la inclusión social y la eficiencia económica, identificando una baja eficacia en la gestión de recursos y protección ambiental. Económicamente, el CF se muestra con poco control y poder dentro de la cadena de valor, limitando su potencial de fortalecimiento y escalabilidad. Socialmente,</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Moreno	2020	<p>se identifican dinámicas sociotécnicas que afectan el funcionamiento del sistema desde 2004. Ecológicamente, se destaca la reducción en la huella de residuos y papel/cartón, aunque esta es modesta. La tesis concluye que el diseño y la integración del CF necesitan una revisión profunda para mejorar su efectividad y contribución a la gestión sostenible de residuos.</p>
Ly, y otros.	2020	<p>El manejo inadecuado de residuos sólidos en el Distrito Especial de Barrancabermeja ha llevado a una crisis ambiental, exacerbada por malas prácticas en los sitios de disposición final y la falta de una cultura de reciclaje efectiva. Esta situación ha motivado una investigación académica que busca identificar estrategias para mejorar la gestión de residuos. La propuesta integra marcos normativos internacionales y regulaciones colombianas, y recomienda el desarrollo tecnológico para reducir la generación de desechos y el volumen de residuos en los rellenos sanitarios.</p> <p>Este estudio propone un modelo de optimización genérico para diseñar sistemas de gestión de residuos sólidos (SGRS) que integran recolección, reciclaje, incineración y disposición final, con el objetivo de minimizar los costos y mejorar la sostenibilidad. Mediante un modelo de programación lineal entera mixta (PLEM), se busca optimizar la ubicación y el número de instalaciones, así como el flujo de residuos. Aplicado en Fayoum, Egipto, este modelo ofrece una solución práctica y teórica para mejorar la gestión de residuos en regiones similares.</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Barthélemy, y otros.	2019	En el contexto urbano de Australia, la política de manejo de bloqueos de drenajes, como alcantarillas y puentes, del Consejo de la Ciudad de Wollongong es la única guía formal para diseñar teniendo en cuenta los bloqueos causados por escombros. No obstante, esta política se basa en inspecciones visuales posteriores a las inundaciones, lo cual se critica por no reflejar fielmente el bloqueo hidráulico real. Este estudio intenta vincular los términos "bloqueo visual" y "bloqueo hidráulico" mediante el uso de aprendizaje automático, proponiendo un sistema que procesa imágenes de alcantarillas para predecir el bloqueo hidráulico a través de modelos de regresión basados en características visuales profundas. El modelo propuesto demostró una correlación significativa entre las características visuales y los bloqueos hidráulicos, sugiriendo una nueva metodología potencial para prevenir inundaciones urbanas mediante tecnologías avanzadas de análisis de imágenes.
Snowdon, y otros.	2020	Este estudio analiza el impacto de incorporar poli (tereftalato de etileno) reciclado (RPET), biocarbón sostenible y un extensor de cadena en biocompuestos de PET modificados para mejorar su desempeño mecánico. Utilizando un diseño factorial completo, las muestras fueron procesadas por extrusión-inyección y evaluadas en pruebas de tensión e impacto. Se descubrió que la combinación de extensor de cadena y biocarbón generaba una interacción sinérgica que aumentaba significativamente la rigidez y la resistencia a la tensión, así como la tenacidad al impacto en un 278% comparado con muestras sin extensor de cadena. El extensor

Autor	Año de publicación	Aporte
Cadena y Muñoz	2017	<p>de cadena resultó ser el factor más influyente, seguido por el biocarbón. La investigación permitió seleccionar una formulación óptima de biocompuesto que contenía un 28% de materiales sostenibles, balanceando adecuadamente rigidez y resistencia al impacto dentro de los parámetros del diseño estadístico.</p> <p>La competencia actual entre empresas se centra en la eficacia de sus cadenas de abastecimiento. Para alcanzar una competitividad destacada en distribución, es crucial integrar actividades y definir políticas que conecten recursos, consumidores y mercados. En este contexto, los programas educativos modernos están incorporando tecnologías avanzadas que mejoran la capacidad analítica y decisional de los estudiantes. Un ejemplo de esto es el simulador SIMPRO, una herramienta que permite a los usuarios enfrentarse a escenarios reales de gestión, potenciando su capacidad para tomar decisiones estratégicas efectivas. Este tipo de formación prepara a los estudiantes para roles gerenciales o de ingeniería, permitiéndoles experimentar directamente las consecuencias de sus decisiones en un entorno controlado y simulado, lo cual es fundamental para su desarrollo profesional futuro.</p>
Orjuela, y otros.	2016	<p>Para abordar la problemática de la GRSU, se ha desarrollado un modelo de programación lineal entera mixta (PLEM) que busca optimizar los sistemas de gestión de residuos sólidos (SGRS). Este modelo integra componentes críticos como fuentes de generación, recolección, reciclaje, incineración y vertederos, con el objetivo de minimizar los costos operativos diarios. Aplicado en un caso de estudio, el modelo ha</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Arango, et. al	2010	<p>permitido diseñar una red de suministro que optimiza tanto la ubicación de las instalaciones como el flujo de residuos. Este trabajo contribuye significativamente al diseño eficiente de SGRS en países en desarrollo, mejorando la gestión de residuos y reduciendo su impacto ambiental.</p> <p>Este artículo analiza los sistemas de indicadores de desempeño en cadenas de abastecimiento bajo condiciones de incertidumbre, diferenciando entre los conceptos de riesgo e incertidumbre y explorando sus principales fuentes y estructuras. Se examinan los indicadores de desempeño y su aplicación en modelos matemáticos que utilizan lógica difusa para evaluar el desempeño en estos ambientes inciertos. Un estudio de caso aplicado al sector panificador en Palmira evalúa los sistemas administrativos, de talento humano y operativos en 36 panaderías, demostrando cómo estos indicadores pueden ser efectivos en contextos donde la precisión y la predictibilidad son limitadas.</p>
Bányai, y otros.	2019	<p>Este artículo explora la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 en la recolección de residuos, tratando el proceso como un sistema ciber-físico y proponiendo un modelo matemático que integra problemas de enrutamiento, asignación y programación de camiones de basura para optimizar la recolección. Los objetivos incluyen la asignación eficiente de fuentes de residuos y la programación de rutas para minimizar costos operativos, manteniendo la confiabilidad y considerando impactos ambientales significativos en la salud pública. Se introduce un algoritmo binario de murciélagos para validar el modelo, cuyo</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Cruz y Lara	2018	<p>rendimiento se prueba en varios escenarios para mejorar la rentabilidad y conciencia ambiental del proceso.</p> <p>Este estudio evalúa el impacto socioeconómico de una nueva alternativa logística en el altiplano cundiboyacense, centrada en la construcción de un área logística en Puerto Salgar (Cundinamarca). Se propone aprovechar el Río Magdalena como eje central de un sistema intermodal de transporte, potenciando a Puerto Salgar como un nodo clave para el crecimiento económico de la región. Mediante la metodología de Simulación de Eventos Discretos (SED) y utilizando datos de entidades gubernamentales como el Ministerio de Transporte y la Dirección Nacional de Planeación, se desarrolló un modelo conceptual en el software Rockwell Arena. El estudio busca demostrar cómo esta infraestructura podría aliviar el sistema de transporte de carga y fomentar la producción en el sector astillero, impulsando significativamente la economía del altiplano.</p>
Le Pira, y otros.	2017	<p>Este documento examina las decisiones de múltiples partes interesadas en la política de transporte de mercancías urbanas, proponiendo un enfoque de modelización para facilitar su participación en la toma de decisiones. Se integran modelos de elección discreta (DCM) con modelos basados en agentes (ABM) para capturar tanto las preferencias estáticas como las dinámicas interacciones entre las partes. Este método no solo proporciona una comprensión profunda del comportamiento de las partes interesadas, sino que también permite probar la aceptabilidad de las políticas antes de su implementación. La metodología se valida a través de un caso de estudio real,</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Patarroyo y Bermúdez	2018	<p>demostrando su utilidad en la construcción de consenso y en la toma de decisiones participativa dentro de la formulación de políticas de transporte de mercancías urbanas (UFT). El enfoque propuesto combina análisis conductuales y técnicos, ofreciendo una herramienta valiosa para los responsables de la formulación de políticas, facilitando decisiones informadas y efectivas en la planificación del transporte urbano.</p> <p>Este documento examina el reciclaje y su evolución tecnológica, destacando las tasas de reciclaje en la Unión Europea, Estados Unidos y América Latina, y específicamente el progreso en Colombia. Se ilustra cómo la tecnología facilita la gestión de residuos a través de aplicaciones y dispositivos usados global y localmente para la separación, almacenamiento y clasificación de materiales. Además, se enfatiza la importancia de diseñar rutas eficientes para optimizar recursos en el reciclaje. Un caso de estudio concluyente es la Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín RECIMED, presentando un ejemplo práctico de la aplicación de estas tecnologías y estrategias en el contexto colombiano.</p>
Díaz, y otros.	2018	<p>Este trabajo de grado aborda el análisis, diseño, implementación y pruebas de un sistema de control automático diseñado para identificar y clasificar residuos sólidos reciclables como plástico, vidrio, papel y metal en forma de envases. El principal objetivo de este proyecto es automatizar el proceso de segregación de residuos en su origen.</p>

Autor	Año de publicación	Aporte
Tovar	2018	Este artículo investiga las estrategias de integración y los desafíos principales para las organizaciones de recicladores en Bogotá, proponiendo una perspectiva ampliada que considera estos procesos desde la economía popular. Este enfoque busca reconocer y valorar no solo la actividad de reciclaje, sino también la participación activa de los recicladores en la formulación y ejecución de políticas públicas que mejoren sus condiciones de trabajo y calidad de vida.

Ante la creciente necesidad de encontrar soluciones sostenibles y eficaces para la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) en las ciudades, la innovación tecnológica resulta como una herramienta clave. Este imperativo surge en un contexto donde la producción creciente de residuos, junto con prácticas de manejo deficientes, representa un riesgo para el medio ambiente y la salud pública. En este panorama, el papel del reciclador cobra una importancia notable, no solo en términos de recolección y separación de desechos reciclables, sino también como actor clave en la adopción de tecnologías que permitan una recuperación y aprovechamiento más eficiente y sostenible de los residuos.

De allí la necesidad de explorar y desarrollar un modelo de proceso que mejore la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en áreas urbanas. Este esfuerzo investigativo no solo pretende revalorizar la función de los recicladores dentro del sistema de gestión de residuos, sino también identificar y fomentar la adopción de tecnologías innovadoras que amplíen sus capacidades operativas. Mediante la integración de soluciones tecnológicas en el proceso de reciclaje, se busca promover un manejo de residuos más efectivo y

sostenible, beneficiando tanto al ambiente como a las comunidades involucradas en esta actividad fundamental. En este sentido, aquí se abarcan una amplia gama de tecnologías, procesos y enfoques que pueden servir como fundamentos sólidos para mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos.

Para desarrollar una visión global e integradora de la información presentada en los resúmenes abordados, es esencial conectar los diferentes enfoques y tecnologías para resaltar cómo pueden contribuir conjuntamente al modelo de proceso para mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos. Este modelo integrador debe considerar la innovación tecnológica, la formalización y organización de los recicladores, y la participación comunitaria como pilares fundamentales para la sostenibilidad urbana y la gestión efectiva de residuos. En este universo académico de la gestión de residuos sólidos urbanos, la tesis en cuestión busca romper moldes con una propuesta singularmente enfocada en optimizar la eficiencia de los recicladores en los centros urbanos densamente poblados de Colombia. Dicha propuesta se distingue por su enfoque práctico, en contraste con los enfoques más teóricos o integrados socialmente de otros estudios.

En este sentido, Cavallin (2019) utiliza sofisticadas técnicas estadísticas y de inteligencia artificial para mejorar la eficiencia general en municipios de Buenos Aires y Cataluña, un enfoque altamente técnico y analítico. A diferencia de Cavallin, la presente tesis propone un modelo de proceso que interviene directamente en las prácticas laborales de los recicladores, centrando su mejora en la eficiencia operativa sin el uso intensivo de tecnologías avanzadas. Por otro lado, Whittembur y García (2021) exploran un modelo de gestión sostenible en el distrito de la Banda de Shilcayo, destacando la importancia de la interacción social y la implementación de

políticas inclusivas y educativas. Este enfoque contrasta con nuestra tesis, que se enfoca exclusivamente en la eficiencia operativa, dejando de lado las dinámicas sociales más amplias.

El estudio de González (2019) en Mar del Plata comparte preocupaciones similares en términos de la valorización de materiales, pero desde una perspectiva de inclusión social de los recuperadores. En contraste con esto, la tesis se centra en pulir el proceso de recuperación mismo para mejorar la eficiencia sin integrar formalmente a los recicladores en sistemas más estructurados. Además, Orjuela, et., al. (2016) presentan un modelo que, aunque enfocado en la gestión de residuos sólidos, ofrece principios aplicables al modelo de nuestra tesis, como la integración de funciones y la optimización de costos. Esta integración podría ser útil en el contexto de la recogida y tratamiento de residuos urbanos, sugiriendo una posible área de aplicación más amplia para la metodología propuesta.

En el caso de Arango, y otros. (2010) discuten respectivamente la importancia de adaptarse a la incertidumbre y la aplicación de tecnologías de la logística 4.0. Estos estudios resaltan la relevancia de adaptar las operaciones logísticas a contextos cambiantes y tecnológicamente avanzados, un aspecto que nuestra tesis podría considerar para futuras mejoras o ampliaciones del modelo. Por último, Cruz y Lara (2018) y Díaz, y otros. (2018) abordan la logística desde perspectivas de sostenibilidad y eficiencia tecnológica, respectivamente. Aunque la tesis no incorpora directamente estos enfoques, ambos estudios ofrecen una visión complementaria que podría enriquecer la comprensión y aplicación del modelo propuesto en contextos más amplios o diferentes.

La investigación, presenta un enfoque específico y práctico que se centra en mejorar directamente las operaciones de reciclaje urbano. Aunque se diferencia de otros estudios que incorporan elementos de tecnología avanzada, políticas sociales o integración formal, ofrece una

contribución significativa a la eficiencia operativa, lo cual es crucial para el desarrollo de prácticas de reciclaje más efectivas y ágiles en entornos urbanos densos. Dicho lo anterior, a continuación, se sintetiza una visión global de estas tecnologías y cómo pueden interconectarse:

Sistemas de Separación y Recolección Selectiva: La eficiencia en la recuperación de residuos comienza con una efectiva separación en la fuente. Sistemas innovadores que faciliten la recolección selectiva, tanto a nivel de hogares como de comunidades, son cruciales. Esto incluye desde soluciones tecnológicas para la clasificación y recolección de residuos hasta programas de educación y sensibilización ciudadana que fomenten la separación adecuada de residuos.

Adopción de Marcos Normativos y Políticas Públicas Favorables: Aunque no es una tecnología per se, el desarrollo e implementación de políticas públicas y marcos normativos que apoyen la adopción de tecnologías innovadoras y la integración de los recicladores en el sistema formal de gestión de residuos es esencial. Esto puede incluir incentivos para la adopción de prácticas sostenibles, regulaciones que promuevan la economía circular, y programas de apoyo para la profesionalización y el mejoramiento de las condiciones laborales de los recicladores.

Innovación Tecnológica: Los avances tecnológicos presentados, como las "Canecas inteligentes" y el "Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables", representan herramientas cruciales para optimizar la recogida y separación de residuos. Estas tecnologías no solo facilitan el proceso de clasificación en la fuente, mejorando la calidad de los materiales reciclables, sino que también contribuyen a educar a la comunidad sobre la importancia del reciclaje y a minimizar el esfuerzo físico de los recicladores, permitiéndoles enfocarse en tareas de mayor valor.

Formalización y Organización de los Recicladores: La formalización de las organizaciones de recicladores, es fundamental para reconocer y valorar el papel de los

recicladores en la gestión de residuos. La integración de los recicladores en sistemas formales mejora sus condiciones laborales, les proporciona acceso a derechos y beneficios, y facilita su participación en la planificación e implementación de políticas públicas relacionadas con el reciclaje. Esto no solo empodera a los recicladores, sino que también mejora la eficiencia del sistema de gestión de residuos al aprovechar su experiencia y conocimiento local.

Participación Comunitaria: La inclusión de la comunidad en el proceso de reciclaje es vital para su éxito. Educando a los ciudadanos sobre la importancia del reciclaje y cómo pueden contribuir a través de la separación de residuos en la fuente, se pueden mejorar significativamente la cantidad y calidad de los materiales reciclables recogidos. Esto, a su vez, beneficia a los recicladores al proporcionarles materiales más limpios y mejor clasificados para su procesamiento.

La eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos se maximiza mediante un enfoque holístico que combina innovación tecnológica, formalización y organización de los recicladores y participación comunitaria. La integración de tecnologías avanzadas para la clasificación y recolección de residuos, junto con políticas que formalicen el sector del reciclaje y promuevan la participación activa de los recicladores y la comunidad, puede transformar la gestión de residuos urbanos.

Este enfoque no solo mejora las condiciones laborales y la eficiencia de los recicladores, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y la inclusión social. Al trabajar juntos, tecnólogos, policymakers, recicladores, y la comunidad pueden co-crear sistemas de gestión de residuos que sean sostenibles, eficientes y equitativos. Por ello, la integración de tecnologías innovadoras en la GRSU representa una oportunidad crucial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de recuperación y reciclaje. En este contexto, el rol de los recicladores

se revaloriza, pasando de ser actores poco reconocidos a ser pilares fundamentales en la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas. Al empoderar a los recicladores con herramientas y conocimientos sobre estas tecnologías, se fomenta su inclusión en una economía circular más amplia, donde su trabajo contribuye directamente a la conservación ambiental, la generación de energía renovable y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles (Vargas 2022).

Este modelo de proceso no solo busca optimizar la gestión de RSU en centros urbanos, sino también reconocer y dignificar la labor de los recicladores, asegurando que su contribución esencial sea valorada y apoyada dentro del marco de desarrollo urbano sostenible. La adopción de un enfoque integral, que combina innovación tecnológica con inclusión social, según Rodríguez y Hernández (2018), ofrece un camino prometedor hacia la resolución de los desafíos ambientales contemporáneos, marcando un hito en la relación con los residuos y en la construcción de ciudades más resilientes y sostenibles.

Al converger estas tecnologías en un enfoque sistémico de gestión de residuos, se facilita la transición hacia modelos más sostenibles y resilientes en centros urbanos. En este paradigma, los recicladores juegan un rol indispensable, no solo en la fase de recuperación y reciclaje, sino también como agentes de cambio hacia prácticas de gestión de residuos más eficientes y sostenibles. La adopción e implementación de estas tecnologías, con el apoyo y la inclusión activa de los recicladores, pueden marcar una diferencia significativa en la eficiencia del manejo de residuos sólidos urbanos, contribuyendo a la conservación ambiental, la seguridad energética y el bienestar social.

La adopción de sistemas de inteligencia artificial y visión por computadora para la clasificación automatizada de residuos promete incrementar la pureza de los materiales reciclables, reduciendo la carga laboral sobre los recicladores y permitiendo que se concentren en

tareas de mayor valor. Paralelamente, la optimización de rutas de recolección mediante IoT y software de simulación puede disminuir significativamente los costos operativos y el impacto ambiental asociado al transporte de residuos, evidenciando un claro alineamiento con los principios de sostenibilidad y eficiencia (Díaz, y otros., 2018).

Las plataformas de gestión y colaboración se encontraron como herramientas clave para la integración de los recicladores en los sistemas formales de gestión de residuos, facilitando el acceso a información, recursos y mercados. La transparencia y trazabilidad aportadas por tecnologías como el blockchain refuerzan la confianza entre todos los actores involucrados, desde los recicladores hasta los consumidores finales, abriendo paso a una economía circular real y efectiva (Huartos, 2019). La capacitación y el empoderamiento de los recicladores a través del uso de realidad aumentada y virtual constituyen un avance notable en la forma en que estos trabajadores adquieren nuevas habilidades y conocimientos, asegurando su adaptación a las tecnologías resultantes. Este enfoque no solo mejora su seguridad y eficiencia, sino que también eleva su rol dentro de la cadena de valor del reciclaje, promoviendo un reconocimiento más justo de su labor esencial (Banyai, y otros., 2019).

La tendencia de estas tecnologías dentro del modelo de GRSU propuesto en la tesis no solo es factible sino necesaria para enfrentar los desafíos ambientales, sociales y económicos de la gestión de residuos en centros urbanos. La implementación efectiva de estas soluciones tecnológicas, en conjunto con políticas públicas inclusivas y modelos de negocio sostenibles, puede catalizar un cambio significativo hacia sistemas de gestión de residuos más eficientes, inclusivos y sostenibles. La clave del éxito reside en un enfoque holístico que reconozca y valore el rol crítico de los recicladores, asegurando que la tecnología actúe como un facilitador de mejoras sustanciales en su calidad de vida y en la salud de los ecosistemas urbanos.

En el corazón de esta transición hacia una gestión más eficiente y sostenible de los residuos sólidos urbanos se encuentran los recicladores, cuya labor es esencial en el ciclo de vida de los residuos. La inclusión y el empoderamiento de estos actores no solo es un imperativo ético y social, sino también una estrategia efectiva para maximizar el potencial de recuperación y reciclaje de materiales. Al adoptar e integrar tecnologías innovadoras que faciliten y amplíen las capacidades operativas de los recicladores, se puede lograr una gestión de residuos más efectiva y resiliente.

5.3.2 Marco regulatorio de recolección RSU

La GRSU en Colombia enfrenta desafíos crecientes debido a la expansión urbana y al incremento en la generación de residuos. Esta problemática demanda soluciones integrales que no solo contemplen la eficiencia en la recolección y disposición final, sino también la recuperación y el reciclaje de materiales, incorporando a los recicladores como actores clave en el proceso. En este escenario, el marco regulatorio nacional, en conjunción con los compromisos internacionales asumidos por Colombia, establece las bases para una gestión de residuos más sostenible y responsable. Estos se presentan en la matriz que se presenta en la tabla 18.

Tabla 18

Matriz de marco regulatorio de GRSU

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
Internacional	Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos	Este convenio incluye disposiciones sobre la minimización de la generación de desechos

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
	Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (1992)	<p>peligrosos y la promoción de una gestión ecológicamente racional de dichos desechos. Este convenio contribuye a la investigación, enfocándose en la minimización de la generación de residuos peligrosos y su manejo responsable. Para los recicladores, implica la necesidad de sistemas de segregación y manejo que eviten la exposición a materiales peligrosos y promuevan su adecuado tratamiento. El estudio explora cómo integrar a los recicladores en prácticas seguras y efectivas de manejo de residuos peligrosos, incluyendo la capacitación y el uso de tecnologías apropiadas para la identificación y separación de estos residuos.</p>
	Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (2001)	<p>Este convenio se centra en la eliminación o reducción de la liberación de contaminantes orgánicos persistentes (COP), que pueden estar presentes en los residuos sólidos urbanos. Desde esta perspectiva, se encuentra en el desarrollo de prácticas y tecnologías que permitan a los recicladores identificar y manejar adecuadamente los residuos que contienen COP, minimizando su liberación al ambiente. Investigar cómo mejorar la segregación en la fuente y la capacitación de los recicladores en el reconocimiento de estos contaminantes puede ser crucial.</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
	<p data-bbox="391 302 803 394">Convenio de Minamata sobre el Mercurio (2013)</p>	<p data-bbox="829 302 1421 892">Este convenio aborda la reducción y eliminación del uso y liberación de mercurio, un elemento altamente tóxico que puede estar presente en algunos residuos electrónicos y lámparas fluorescentes. La investigación explora formas de integrar a los recicladores en el proceso de recolección y manejo seguro de residuos que contengan mercurio, promoviendo prácticas que prevengan la exposición al mercurio y su liberación al ambiente.</p>
	<p data-bbox="391 905 803 1052">Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - Agenda 2030</p>	<p data-bbox="829 905 1421 1829">El compromiso de Colombia con la Agenda 2030 y, en particular, con el ODS 12 sobre producción y consumo sostenibles, subraya la importancia de implementar prácticas que minimicen la generación de residuos y promuevan el reciclaje y la reutilización. En este sentido, la tesis puede enfocarse en cómo la mejora en el proceso de reciclaje, con un enfoque especial en el rol de los recicladores, contribuye a alcanzar estos objetivos globales. La integración efectiva de los recicladores en los sistemas formales de gestión de residuos puede servir como un mecanismo para:</p> <ul data-bbox="829 1732 1421 1829" style="list-style-type: none"> -Reducir la cantidad de residuos generados y destinados a los rellenos sanitarios.

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
	<p data-bbox="391 909 797 1272">Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos en el Comercio Internacional (1998)</p> <p data-bbox="391 1675 797 1766">Nacional Constitución Política de Colombia, promulgada en 1991</p>	<p data-bbox="829 300 1430 447">-Aumentar las tasas de reciclaje y reutilización de materiales, contribuyendo a la economía circular.</p> <p data-bbox="829 468 1430 615">-Promover prácticas de consumo y producción sostenibles a nivel local y nacional.</p> <p data-bbox="829 636 1430 888">La investigación podría explorar estrategias para fortalecer la inclusión social y económica de los recicladores, reconociendo su contribución a la sostenibilidad ambiental y al logro de los ODS</p> <p data-bbox="829 909 1430 951">El Convenio de Rotterdam promueve:</p> <p data-bbox="829 972 1430 1161">-Implementar prácticas de segregación en la fuente y sistemas de recolección que minimicen la exposición de los recicladores y la comunidad a estos químicos.</p> <p data-bbox="829 1182 1430 1329">-Promover la capacitación y el equipamiento adecuado de los recicladores para manejar estos materiales de forma segura.</p> <p data-bbox="829 1350 1430 1654">La investigación de acuerdo con los principios del Convenio de Rotterdam puede mejorar las prácticas de gestión de residuos y la seguridad de los recicladores, enfocándose en la identificación, segregación y manejo seguro de residuos peligrosos.</p> <p data-bbox="829 1675 1430 1877">Establece las bases fundamentales sobre las cuales se desarrollan todas las políticas, leyes y reglamentaciones en el país, incluyendo aquellas relacionadas con la gestión de</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
		<p>residuos sólidos y el rol de los recicladores.</p> <p>Aunque la Constitución no menciona explícitamente la gestión de residuos o el reciclaje, varios de sus artículos proporcionan el marco fundamental para el desarrollo de políticas ambientales sostenibles y la inclusión social y económica de grupos marginados, como los recicladores. En este sentido, el Artículo 79, se establece el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano. Este artículo es la base para la implementación de políticas de gestión de residuos que busquen minimizar el impacto ambiental de los residuos sólidos urbanos, promoviendo prácticas sostenibles y tecnologías que reduzcan la generación de residuos y mejoren su manejo.</p> <p>En el Artículo 80, obliga al Estado a planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, menciona específicamente la prevención y control de factores de deterioro ambiental. Este artículo respalda el desarrollo de modelos de gestión de residuos que incluyan tecnologías de reciclaje y recuperación, alineándose con los objetivos de la tesis de</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
		<p data-bbox="829 304 1377 394">mejorar la eficiencia en la recuperación de residuos.</p> <p data-bbox="829 415 1409 888">Mientras que en el Artículo 333, se garantiza la libertad de empresa, comercio y trabajo, dentro de los límites del bien común. Este artículo apoya la formalización y el reconocimiento de los recicladores como actores clave en la economía circular, promoviendo su integración en el sistema de gestión de residuos y garantizando sus derechos laborales y sociales.</p> <p data-bbox="829 909 1419 1436">En este orden de ideas, La Constitución Política de Colombia provee un marco legal sólido que fomenta el desarrollo de un sistema de gestión de residuos que sea sostenible, inclusivo y eficiente. Al reconocer el derecho a un ambiente sano y el deber del Estado de proteger los recursos naturales, la Constitución respalda la implementación de políticas y prácticas que reduzcan el impacto ambiental de los residuos sólidos.</p> <p data-bbox="829 1457 1406 1766">Simultáneamente, al garantizar la libertad de empresa y promover la inclusión social, ofrece una base legal para mejorar la situación económica y social de los recicladores, reconociendo su papel crucial en el manejo sostenible de los residuos.</p> <p data-bbox="829 1787 1386 1877">Partiendo de esto, la presente investigación sobre la mejora en la eficiencia del rol del</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
	Ley 99 de 1993	<p>reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos se alinea con estos principios constitucionales, buscando no solo avanzar en soluciones técnicas y prácticas para el reciclaje y la gestión de residuos, sino también en promover la equidad, la inclusión y el reconocimiento de los recicladores como parte fundamental del sistema de gestión de residuos y actores claves en la promoción de una economía circular.</p> <p>Se establecen los principios que deben contemplarse en las políticas ambientales colombianas siendo el Ministerio del Medio Ambiente el organismo delegado para la adecuada gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, por ello, es el encargado de definir políticas para hacer efectiva la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medioambiente de la Nación.</p> <p>En esta Ley también se presenta la importancia de crear estrategias para gestionar adecuadamente los residuos bajo los principios constitucionales y legales del país, además de hacer referencia de la importancia de la incorporación de investigaciones científicas que aporten valor a los procesos de aprovechamiento y la</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
		<p>adopción de herramientas tecnológicas para optimizar la eficiencia del uso de los recursos aprovechables.</p>
	<p>Ley 1259 de 2008 - Código Nacional de Policía y Convivencia</p>	<p>Esta ley impone medidas para el manejo adecuado de residuos y sanciona las prácticas inadecuadas de disposición. Su relación con la tesis radica en la importancia de establecer un entorno normativo que promueva prácticas responsables por parte de los ciudadanos y las empresas en la generación y manejo de residuos, destacando el papel de los recicladores como agentes claves en la sensibilización y educación sobre la correcta segregación de residuos desde la fuente.</p>
	<p>Ley 1715 de 2014</p>	<p>Promoción de Fuentes No Convencionales de Energía: Esta legislación busca fomentar el uso de fuentes de energía alternativas, incluida la generada a partir de residuos. En el contexto de la tesis, esta ley es particularmente relevante al explorar tecnologías, las cuales pueden transformar los residuos en energía. La ley abre la puerta a modelos de negocio innovadores que podrían integrar a los recicladores en la cadena de valor de la producción de energía a partir de residuos, proporcionándoles nuevas oportunidades de empleo y reconocimiento.</p>

Contexto	Documento regulatorio	Aporte
	Ley 1801 de 2016 - Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana	Aunque esta Ley se centra en la seguridad y convivencia, contiene disposiciones relevantes sobre la gestión adecuada de residuos y la responsabilidad de los ciudadanos en la preservación del espacio público. Desde la perspectiva de la investigación, promueve un marco de actuación que respalda la importancia de una gestión integrada de residuos, en la que los recicladores desempeñan un rol crucial en el mantenimiento de la limpieza y orden en los espacios urbanos.

Los convenios internacionales descritos en la tabla 17 junto con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, proporcionan un marco integral que respalda y profundiza la importancia de la tesis sobre la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos. En el ámbito, nacional, la gestión y manejo de RSU se encuentra regulada bajo un marco normativo que busca no solo la protección del medio ambiente, sino también la inclusión social y la promoción de la economía circular.

Estas leyes, en conjunto, crean un ecosistema normativo que apoya la transición hacia prácticas de gestión de residuos más sostenibles y responsables. En el marco del estudio, este entorno legislativo no solo reconoce el valor económico, social y ambiental del reciclaje y la recuperación de residuos, sino que también destaca la importancia de integrar a los recicladores en estos procesos, asegurando su participación efectiva y el reconocimiento de su contribución a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo social.

Capítulo VI. Resultados Fase II. Formulación de la idea de solución

Una vez identificada la necesidad de mejora en las etapas del proceso de aprovechamiento de los RSU, es necesario determinar la viabilidad de la idea de solución, es decir, del modelo de proceso de logística inversa que se adapte al contexto colombiano y aumente la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos, para ello, se llevó a cabo una evaluación de prefactibilidad técnica, política y legal, aspectos que permitieron establecer la viabilidad del modelo, y posteriormente el diseño del modelo a partir de técnicas de simulación y modelación, lo que permitió el alcance del objetivo específico de diseñar un modelo de proceso de logística inversa que se adecue al contexto colombiano y que permita aumentar la eficiencia del rol del reciclador.

6.1 Viabilidad

En este apartado se hace una evaluación que abarca aspectos técnicos, políticos y legales para determinar la viabilidad del modelo de proceso de logística inversa propuesto, actividad crucial para asegurar que el modelo sea factible y efectivo en la práctica, considerando las condiciones y regulaciones específicas del contexto colombiano en la gestión de residuos sólidos urbanos. La actividad de viabilidad permite identificar posibles desafíos, evaluar soluciones alternativas y tomar decisiones informadas para garantizar el éxito y la sostenibilidad del modelo en su implementación.

6.1.1 Prefactibilidad técnica

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos sobre los diferentes equipos, maquinaria, tecnologías y conocimientos técnicos que se deben contemplar en el diseño del modelo, esto con el propósito de incorporar de forma adecuada los elementos que componen cada una de las etapas del proceso de aprovechamiento de los RSU para incrementar la eficiencia del rol del reciclador. El mapeo sistemático realizado en este apartado de la investigación, basado en datos primarios obtenidos a través de entrevistas y encuestas a recicladores y líderes del sector, así como en datos secundarios provenientes de revisiones bibliográficas y vigilancia tecnológica, permitió identificar cuáles son los requerimientos técnicos que debe contener el modelo a lo largo de las etapas de recuperación, separación, almacenamiento, clasificación y transporte (tabla 19).

Tabla 19

Resumen requerimientos técnicos asociados a la gestión de RSU.

Año	Proceso	Solución	Hallazgos
2019	Transporte y recuperación	App	El usuario solicita el servicio de recolección de RSU, permite manejar los pedidos en tiempo real por medio de FCM de firebase. Permite encontrar los puntos de reciclaje más cercanos,
2018	Separación y almacenamiento	App	brinda información de lo que se debe reciclar en el hogar, cómo clasificarlo y su precio en kilo, no tiene articulación con los recicladores. Permite contactarse con el reciclador más cercano, por
2018	Recuperación	App	medio del servicio de mensajería firebase, requiere que el reciclador tenga dispositivo móvil.
2018	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	Permite seleccionar el tipo de residuo, se puede conectar a cualquier smartphone vía bluetooth, posee sistema de

Año	Proceso	Solución	Hallazgos
			indicación para la apertura y cierre de las tapas, calibración frecuentemente y es costoso.
2018	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	Permite clasificar los residuos que se van a depositar en los puntos ecológicos. En las pruebas realizadas, se encontró que el sistema tiene un 87% de acierto, no tiene articulación con el reciclador de oficio, requiere calibración frecuentemente y es costoso.
2017	Separación y almacenamiento	App	Usa georreferenciación para que los usuarios puedan marcar la ubicación de las instalaciones y contenedores de reciclaje en tiempo real, no tiene articulación con el reciclador de oficio.
2017	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	Permite clasificar y pesar los residuos. La información se transmite de manera inalámbrica al usuario, la cual queda registrada en una App.
2017	Separación y almacenamiento	Puntos para recolección y separación de RSU	Están ubicados en Laureles, La Floresta y Ciudad del Río. Allí se entregan cartillas educativas para los niños y bolsas para las heces de las mascotas.
2016	Almacenamiento y transporte	Contenedor	Monitorea peso, capacidad y tiempo de permanencia de los RSU para dar aviso de cuándo debe vaciarse.
2016	Separación, y almacenamiento	Contenedor	El sistema tiene conexión ethernet y wifi, interfaz HDMI, autonomía de 21 días, absorbe olores, limpia y desinfecta, no tiene articulación con el reciclador de oficio, requiere calibración frecuentemente y tiene costo elevado.
2016	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	El sistema almacena y pesa, puede incorporar rodillos u otro aparato que facilite el movimiento, requiere de calibración frecuentemente y es costoso.

Año	Proceso	Solución	Hallazgos
2015	Transporte	App	Permite conocer los horarios de recolección de basuras, no tiene articulación con el reciclador de oficio.
2015	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	El sistema permite registrar, clasificar y almacenar los RSU, los materiales que no reconoce van todos al mismo espacio, requiere de calibración frecuentemente y es costoso.
2015	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	Procesa diferentes tipos de RS por medio de trituración, posee cámara de recogida con medios de aspiración de humedad y calentador para secar los residuos triturados. El material no llega al reciclador.
2014	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	El sistema pesa y clasifica los RS, genera una BD organizada según el peso y código QR de la bolsa que se va a almacenar. El material no llega al reciclador.
2012	Separación, clasificación y almacenamiento	Contenedor	El sistema identifica, separa y clasifica los residuos sólidos y orgánicos, y calcula la factura que debe pagar cada usuario por el servicio.

Si bien se evidencia el uso de tecnología en los diferentes procesos asociados a la gestión de RSU, estas tienen sus propias restricciones como lo son: el alto costo de las estructuras, la mantenibilidad e infraestructura necesaria para garantizar la operabilidad. Así mismo, se observa que el material recuperado no llega al reciclador, lo que en el contexto colombiano se convertiría en menor cantidad de material disponible para población recicladora. Es por ello, que la revisión permitió comprender que durante todas las etapas del proceso de aprovechamiento de RSU es necesario realizar ajustes para optimizar las actividades que se llevan a cabo sin afectar el rol del reciclador.

La viabilidad técnica se fundamenta en varios aspectos clave que han sido abordados en la literatura científica. En este sentido, la infraestructura tecnológica es un pilar fundamental, donde se destaca la importancia de contar con un sistema de información robusto que permita la gestión y seguimiento de las actividades de reciclaje, haciendo uso de tecnologías como el IoT y sistemas de geolocalización para optimizar la recolección y clasificación de residuos (Guerrero et al., 2013).

En cuanto a la capacitación del personal, se resalta la necesidad de una formación continua y específica para los recicladores en el uso de nuevas herramientas tecnológicas, adaptándose a las necesidades cambiantes y asegurando la comprensión y eficaz utilización de las tecnologías (Guerrero et al., 2013). En relación con el mantenimiento y soporte, se destaca la importancia de contar con un plan para la infraestructura tecnológica, asegurando su operatividad continua mediante la actualización regular de equipos y sistemas. Asimismo, la disponibilidad de un equipo de soporte técnico para resolver problemas, de manera tal que se garantice la continuidad y eficiencia del proceso de reciclaje (Guerrero et al., 2013).

Dicho lo anterior, esta prefactibilidad técnica comprende que, para la implementación de un modelo de proceso para la GRSU en los centros más poblados de Colombia se requiere una integración estratégica de tecnologías de bajo costo y aplicaciones móviles, considerándose un aspecto clave el uso de apps que permiten la optimización de rutas de recolección, mediante la utilización de algoritmos avanzados para determinar rutas eficientes, lo que disminuye los costos operativos y los tiempos de traslado, así como mejorar la puntualidad y la eficiencia del servicio de recolección, que contribuyen a la reducción de la huella de carbono asociada con el transporte de residuos.

Además, a través de estas apps, los usuarios pueden solicitar servicios de recolección en tiempo real y localizar los puntos de reciclaje más cercanos, facilitando la comunicación directa entre los recicladores y los usuarios (generadores en fuente). Equipados con Smartphone, los recicladores pueden recibir notificaciones instantáneas sobre nuevos pedidos y gestionar su trabajo de manera más organizada. Otro componente esencial del modelo de proceso es el sistema de pesaje integrado en los contenedores, que no solo clasifican y almacenan los residuos, sino que también pesan los materiales depositados y transmiten los datos a una base centralizada.

Esta funcionalidad permite un seguimiento detallado de la cantidad de residuos reciclados y facilita la planificación logística y, por lo tanto, los datos precisos sobre el peso de los residuos ayudan a mejorar la eficiencia operativa y proporcionan información valiosa para la elaboración de informes sobre el rendimiento del sistema de reciclaje, que basado en datos es primordial para identificar áreas de mejora y asegurar una gestión sostenible de los residuos.

La integración de tecnologías de bajo costo y aplicaciones móviles es fundamental para la implementación del modelo de proceso propuesto, debido a que la optimización de rutas de recolección mediante apps, la conectividad y coordinación entre usuarios y recicladores a través de smartphones, y el uso de sistemas de pesaje en contenedores inteligentes son elementos clave que mejoran la eficiencia y sostenibilidad del sistema de gestión de residuos, debido a que estos requerimientos técnicos potencian el rol del reciclador y contribuyen significativamente a la sostenibilidad y eficiencia del manejo de residuos en las áreas urbanas más densamente pobladas de Colombia.

6.1.2 Prefactibilidad política y legal

A continuación, se presenta una evaluación de la viabilidad política y legal actual, incluyendo políticas públicas y legislación colombiana que soportan el diseño e implementación del modelo de procesos para optimizar la eficiencia del rol del reciclador en el aprovechamiento de los RSU. A continuación, se detallan en la tabla 20 los documentos de índole político y legal consultados para determinar la viabilidad del modelo en dichos términos.

El entrelazamiento de estos decretos y resoluciones con las leyes mencionadas, fundamentadas en los acuerdos y convenios internacionales identificados en el capítulo anterior, crean un marco regulatorio robusto que no solo aboga por un manejo ambientalmente sostenible de los residuos, sino que también promueve la justicia social al reconocer y mejorar el rol de los recicladores. Este marco normativo y político provee el soporte necesario para la investigación propuesta, subrayando la importancia de adoptar tecnologías y modelos de proceso que mejoren la eficiencia del reciclaje en centros urbanos, al tiempo que se fortalece la participación y el bienestar de los recicladores.

Tabla 20

Resumen requerimientos políticos y legales asociados a la gestión de RSU.

Documento	Aporte
Resolución 0754 de 2014	Establece los procedimientos para la inclusión de los recicladores en los sistemas de gestión de residuos, mediante la definición de los criterios para la selección de recicladores y organizaciones de recicladores que pueden ser contratadas por los municipios y distritos, enfatizando la necesidad de reconocer y formalizar su

Documento	Aporte
Decreto 1077 de 2015	<p>trabajo. Lo cual respalda es esta investigación la oportunidad de incorporar tecnologías que optimicen la segregación y recolección de residuos, facilitando así la integración efectiva de los recicladores en el sistema.</p> <p>Este decreto reglamenta la Ley 142 de 1994 y la Ley 632 de 2000 en lo relacionado con los servicios públicos domiciliarios de aseo y es vital para la inclusión de los recicladores de oficio en el sistema de gestión de residuos, mediante el establecimiento de los mecanismos para su participación en la prestación del servicio de aseo, garantizando condiciones dignas y equitativas. Este decreto es fundamental, porque destaca la importancia de integrar tecnologías que faciliten la labor de los recicladores y mejoren su eficiencia operativa.</p>
Decreto 596 de 2016	<p>-Recolección y aprovechamiento: Se estipulan los requisitos mínimos para la recolección y transporte de residuos sólidos aprovechables, incluyendo las frecuencias, horarios y métodos de presentación según lo estipulado en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de cada entidad territorial. Además, se destaca la importancia de mantener la limpieza durante la recolección y se menciona la posibilidad de hacer trasbordo a vehículos motorizados desde vehículos de tracción humana en lugares designados por la entidad territorial.</p> <p>-Censo de recicladores: Un censo preciso permite planificar y diseñar políticas públicas efectivas, identificar áreas con alta densidad de recicladores y distribuir recursos de manera eficiente, facilitando la integración de los recicladores mejorando sus condiciones laborales y reconocimiento social. De igual manera, permite monitorear y evaluar el impacto de las políticas</p>

Documento	Aporte
Resolución 2184 de 2019	<p>implementadas, asegurando que los esfuerzos se alineen con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia.</p> <p>-Aportes bajo condición: Se definen como la entrega de bienes o derechos en infraestructura y equipos relacionados con la actividad de aprovechamiento de residuos están específicamente destinados a mejorar las capacidades operativas y logísticas de los recicladores y otras entidades involucradas en la recuperación de residuos, para asegurar que los recursos se utilicen de manera óptima además de ampliar y mejorar las capacidades del sistema de aprovechamiento de residuos. Cabe destacar que, los aportes bajo condición representan una herramienta estratégica para fortalecer la infraestructura y capacidades del sistema de aprovechamiento de residuos.</p> <p>-Vigilancia y Control: La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) es responsable de la inspección, vigilancia y control para asegurar que los prestadores de servicios públicos cumplan con lo establecido en el decreto, especialmente en lo que respecta al pesaje y registro de residuos aprovechados. De esta manera, La SSPD garantiza la transparencia y precisión en el registro de residuos, asegurando que los recicladores reciban una compensación justa y proporcional a su trabajo.</p> <p>En términos de impacto en la eficiencia de la recuperación de residuos, el decreto resalta la importancia de una gestión organizada y regulada de las actividades de reciclaje, incluyendo el papel fundamental que juegan los recicladores y la necesidad de su integración formal en el sistema de gestión de residuos sólidos</p> <p>Esta resolución actualiza y unifica criterios para la gestión integral de residuos sólidos, incluyendo lineamientos específicos para el aprovechamiento y la valorización de residuos, proponiendo</p>

Documento	Aporte
Plan nacional de desarrollo 2022-2026	<p>esquemas de recolección selectiva y fortalece el papel de los recicladores en el sistema de gestión de residuos, cuya relevancia reside en el impulso hacia tecnologías que permitan un aprovechamiento más efectivo de los residuos, desde la separación hasta la valorización final,</p> <p>Dentro de sus líneas se abordan aspectos como gestión ambiental, seguridad humana y justicia social y expansión de capacidades, las tres directamente relacionados con la investigación, debido a que sus directrices se enfocan en una adecuada gestión de residuos, generar mejores oportunidades para que la población pueda lograr sus proyectos de vida, transformación de las estructuras productivas a sistemas eficientes con menor impacto ambiental y la reducción de desigualdades para las poblaciones más vulnerables a través de acciones de equidad e inclusión.</p> <p>Aunado a ello este plan en su artículo 227 estipula la creación del Programa Basura Cero, que articula las instancias de Gobierno Nacional, las entidades territoriales, las empresas de servicios públicos y la sociedad civil; garantiza la participación de la población recicladora y sus organizaciones, impulsando su inclusión e inserción socioeconómica.</p> <p>En este sentido, desde una mirada política el diseño del modelo de procesos se soporta en el plan nacional de desarrollo vigente porque contiene elementos para mejorar la eficiencia del proceso del reciclaje al optimizar la labor de los recicladores como elemento fundamental en la cadena productiva.</p>
CONPES 3874	<p>Esta política define una jerarquía en lo que respecta a la GRSU que contempla la prevención en la generación y la optimización del uso de los recursos aprovechables, considerando un enfoque integral en donde se definen acciones que persiguen un mejor desempeño</p>

Documento	Aporte
	<p>ambiental e institucional. Esta política se rige por 12 principios que contemplan protección a la salud humana, jerarquía de la gestión integral de los residuos sólidos, gestión diferencial, educación y cultura en el manejo adecuado de residuos, análisis del ciclo de vida del producto, responsabilidad extendida del productor, el que contamina paga, gradualidad, inclusión, suficiencia financiera, regionalización y estrategias diferenciales en la prestación del servicio público de aseo. Todos ellos direccionados hacia el diseño de acciones y estrategias para una gestión adecuada de los RSU, a través de análisis del ciclo de vida, alternativas de manejo y tratamiento, mitigación y responsabilidad de la generación en la fuente, cultura ambiental, incentivos y multas por el impacto en el ambiente, inclusión de los recicladores de oficio, entre otros aspectos medulares para una adecuada GRSU.</p> <p>En cuanto a las acciones del plan se cuenta con cuatro acciones concretas que se alinean a los ejes de la política, estas son la promoción a la economía circular que persigue prevenir la generación de RSU y promover el aprovechamiento, reutilización y tratamiento de residuos. Consolidado en las metas de sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos consolidados, sostenibles e inclusivos que favorezcan a aprovechar el 30% de los residuos generados de manera efectiva.</p> <p>La política resalta la importancia de la adaptación de mejores instrumentos en términos técnicos, económicos, sociales, sanitarios y ambientales que permitan la internalización de los costos requeridos para el alcance de una GRS eficiente. En síntesis, esta política establece la relevancia para el territorio colombiano de la GRS y desde allí se presentan acciones para el alcance de un mejor uso y disposición final de los residuos, en este sentido se comprende que el</p>

Documento	Aporte
CONPES 3934	<p data-bbox="532 306 1419 449">modelo de procesos que se propone se encuentra soportado y alineado al CONPES 3874 y por ello cuenta con viabilidad política que lo respalda.</p> <p data-bbox="532 470 1419 1220">Esta política fue diseñada con el propósito de impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima. Para ello, se describe la relevancia de la mitigación ambiental a través del desarrollo de negocios verdes cuyos procesos sean eficientes. Esta política cuenta con 7 principios que dan soporte político al diseño e implementación del modelo de procesos para la mejora de la eficiencia del rol del reciclador, ya que, se alinea a los objetivos de sostenibilidad de la política desde el punto de vista de productividad a través de un proceso de aprovechamiento más eficiente, la adaptación de herramientas digitales como estrategia de innovación, su aporte para favorecer a la mitigación del cambio climático y su aporte para la inclusión social de los recicladores.</p> <p data-bbox="532 1241 1419 1709">Esta política cuenta con un total de 39 líneas de acción que están diseñadas para mitigar el impacto ambiental y promover los proyectos verdes que favorezcan a mejoras económicas, sociales y ambientales, seis de estas líneas dan soporte a la creación del modelo de proceso que se diseñó en esta tesis doctoral, donde se contemplan aspectos como el ecodiseño y la ecoinnovación, proyectos logísticos, reducción de brechas laboras y la inversión en proyectos que impulsen la mitigación del impacto ambiental por medio de un uso sostenible de los recursos disponibles.</p> <p data-bbox="532 1730 1419 1875">En líneas generales, este documento presenta lineamientos políticos que buscan promover proyectos que se destinen a mejorar la productividad del crecimiento verde, en términos económicos,</p>

Documento	Aporte
Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS municipio de Medellín 2016-2027	<p>sociales y ambientales, lo cual, se contempla en el diseño del modelo propuesto como idea de solución.</p> <p>Documento estratégico que establece una serie estructurada de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos destinados a gestionar adecuadamente los residuos sólidos en la ciudad. Este plan se inscribe dentro de la política de gestión integral de residuos sólidos, alineándose con los principios de sostenibilidad ambiental y eficiencia operativa. El PGIRS aborda los actuales desafíos en la gestión de residuos y propone soluciones innovadoras para mejorar la recolección, separación, clasificación y disposición final de los residuos, con especial énfasis en promover la inclusión social y adoptar prácticas de economía circular.</p> <p>El plan establece un sistema continuo de evaluación y monitoreo para medir el desempeño y los resultados de las acciones implementadas, mediante indicadores específicos, se evalúa el progreso hacia los objetivos y metas establecidos, permitiendo ajustes y mejoras en el proceso de gestión de residuos.</p>
Plan de desarrollo distrital 2024-2027 “Medellín te quiere”	<p>Representa una iniciativa estratégica para el desarrollo urbano de Medellín, enfocada en mejorar la calidad de vida de sus residentes y fortalecer la inclusión social, con especial atención al rol crucial de los recicladores en el sistema de gestión de residuos. A través de políticas específicas y programas de apoyo, este plan busca mejorar las condiciones laborales de los recicladores, integrándolos de manera efectiva en el sistema formal de gestión de residuos.</p> <p>También, impulsa la adopción de tecnologías avanzadas para la recolección y valorización de residuos, optimizando así los recursos disponibles y reduciendo el impacto ambiental de las actividades urbanas.</p>

Documento	Aporte
	<p>El Plan de Desarrollo Distrital se integra con los objetivos y metas del PGIRS, asegurando coherencia y complementariedad en las acciones, por lo que se propone un enfoque integral para fortalecer la gestión de residuos sólidos, abordando cuatro áreas fundamentales de integración: sostenibilidad ambiental, inclusión social, innovación y tecnología y participación ciudadana. En conjunto, estas áreas de integración no solo buscan mejorar la gestión de residuos en Medellín, sino también promover un desarrollo urbano más sostenible, inclusivo y tecnológicamente avanzado.</p>

En este sentido, el estudio no solo se presenta como una contribución académica relevante sino como una respuesta práctica y estratégica a los retos impuestos por las normativas y políticas vigentes. Al buscar mejorar la eficiencia del rol de los recicladores, este trabajo se posiciona como un eslabón crítico en la cadena de esfuerzos necesarios para cumplir con las exigencias regulatorias y los objetivos de sostenibilidad.

6.1.3 Requisitos técnicos, legales y políticos mínimos viables

El desarrollo e implementación efectiva de cualquier estrategia de GRSU requiere establecer requisitos técnicos, legales y políticos mínimos viables, porque estos requisitos proporcionan el marco necesario para asegurar que las iniciativas diseñadas sean eficientes desde el punto de vista operativo y tecnológico y cumplan con las normativas ambientales y de salud pública vigentes, abordando los elementos esenciales que deben considerarse para garantizar la viabilidad y efectividad de los programas y proyectos relacionados con la gestión integral de residuos sólidos.

Desde este contexto, los requisitos técnicos incluyen la adopción de tecnologías accesibles y económicas en la gestión de residuos que es fundamental para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas urbanos. En este caso, el uso extendido de smartphones entre operadores y recicladores permite una comunicación fluida y en tiempo real, optimizando la coordinación de las actividades de recolección y facilitando la respuesta rápida ante cambios en las condiciones operativas. Estos dispositivos móviles también ofrecen acceso directo a plataformas digitales especializadas, donde se pueden gestionar rutas de recolección de manera eficiente y recopilar datos en tiempo real sobre la generación y disposición de residuos.

Por otro lado, la implementación de infraestructura de medición precisa, como sensores en contenedores y sistemas de pesaje integrados, es fundamental para monitorizar de manera efectiva la cantidad y composición de los residuos gestionados, porque estos sistemas proporcionan datos detallados y actualizados que son fundamentales para la evaluación del rendimiento del sistema de gestión de residuos, la optimización de rutas y la planificación estratégica a largo plazo. De igual manera, la información obtenida de estas tecnologías permite identificar patrones de generación de residuos, áreas de concentración y oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y ambiental del sistema. Estas herramientas tecnológicas mejoran la operatividad diaria, sentando las bases para una gestión integral y sostenible de los residuos urbanos en contextos urbanos complejos como los centros más poblados de Colombia.

En lo concerniente a los requisitos legales, la gestión adecuada de los residuos sólidos requiere cumplir con una serie de requisitos legales que establecen el marco normativo esencial para regular todas las actividades relacionadas con la recolección, clasificación, tratamiento y disposición final de los residuos. Estas regulaciones son fundamentales para asegurar que todos

los actores involucrados en el manejo de residuos, incluidos los recicladores informales, cumplan con las normas ambientales y de salud pública establecidas.

En el contexto de los recicladores, estas normativas son especialmente relevantes, porque refieren las normas de clasificación y almacenamiento establecen criterios claros para separar los residuos según su tipo y nivel de riesgo ambiental y aseguran que los recicladores puedan identificar y manejar adecuadamente los materiales reciclables, contribuyendo así a la eficiencia del proceso de reciclaje. Así como también, las regulaciones de transporte definen los métodos y condiciones seguras en las que los residuos pueden ser transportados desde los puntos de recolección hasta las instalaciones de tratamiento o disposición final. Esto no solo protege a los recicladores en su labor diaria, sino que también asegura que los residuos sean gestionados de manera segura y eficiente a lo largo de toda la cadena de manejo.

Las normativas para la disposición final de residuos también son importantes, ya que establecen los estándares ambientales y técnicos que deben cumplir las instalaciones donde se destinan los residuos, garantizando la protección de la salud de los recicladores y la comunidad en general, asegurando que las prácticas de disposición final sean ambientalmente responsables y seguras. También, al definir claramente las responsabilidades y obligaciones legales de cada actor en la gestión de residuos, desde los generadores hasta los gestores y recicladores, las regulaciones promueven la formalización de los recicladores.

Estos requisitos legales son fundamentales para garantizar un manejo responsable, seguro y sostenible de los residuos sólidos, contribuyendo así a la protección del medio ambiente, la salud pública y al fortalecimiento del rol de los recicladores como actores clave en el proceso de reciclaje y gestión de residuos. En este contexto, es esencial adoptar políticas que no solo reconozcan, sino que también apoyen y formalicen la labor de los recicladores, lo cual, implica

establecer marcos normativos claros que protejan sus derechos laborales, aseguren su seguridad social y promuevan su inclusión económica. Además, es fundamental que las políticas locales y regionales asignen recursos financieros adecuados para programas de capacitación, equipamiento y acceso a tecnologías que mejoren las condiciones de trabajo de los recicladores y aumenten su eficiencia operativa.

Al involucrar activamente a los recicladores en la planificación y toma de decisiones, se fortalece la gobernanza local y se asegura que las políticas adoptadas respondan verdaderamente a las necesidades y realidades de quienes están en la primera línea del manejo de residuos sólidos, mediante la implementación efectiva de cualquier sistema de gestión de residuos sólidos requiere cumplir con requisitos técnicos, legales y políticos mínimos que garanticen su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

Y, por último, un compromiso político sólido es importante para asignar recursos financieros, promover la inclusión social de los recicladores y coordinar acciones efectivas entre diferentes sectores para lograr una gestión integral y eficiente de los residuos sólidos. Estos requisitos fortalecen la infraestructura y operatividad del sistema, contribuyendo significativamente a la mejora del entorno ambiental y social en las comunidades donde se implementen.

6.2 Diseño del Modelo

Dado que, la pregunta de investigación a resolver se centra en el diseño de un modelo de proceso que permita mejorar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de RSU, además de que se adapte al contexto colombiano considerando las condiciones socioeconómicas y tecnológicas de los recicladores, marco regulatorio local, factores culturales e infraestructura y recursos

existentes. Es así como el esquema se desagrega en tres componentes principales: modelar el proceso de recuperación de RSU actual para identificar áreas de mejora; simular el comportamiento individual de los recicladores en el proceso de recuperación y definir el stack tecnológico que asegurara la escalabilidad de la solución.

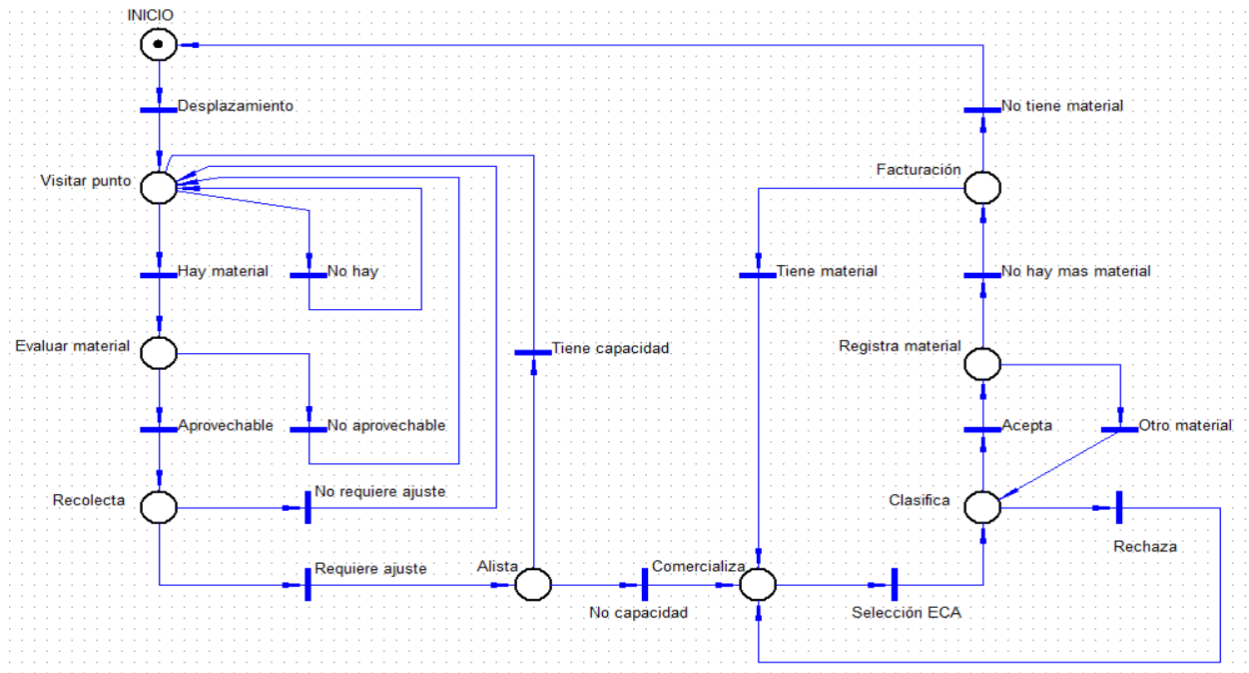
6.2.1 Modelamiento bajo redes de Petri

La relevancia de este apartado radica en su capacidad para convertir las necesidades y desafíos identificados en soluciones operativas y efectivas, mediante el incremento de la eficiencia de los recicladores en su labor diaria, contribuyendo al bienestar económico y social de estas comunidades, promoviendo un entorno urbano más sostenible. En este contexto, la modelación con Redes de Petri se presenta como una herramienta para diseñar el modelo de proceso, debido a que permiten mapear y analizar la dinámica del proceso de recuperación de residuos sólidos urbanos (RSU) en sus diversas etapas, destacando la interacción entre estados, transiciones y arcos que representan el flujo del proceso. A partir de esto se asegura que el modelo de proceso esté alineado con las necesidades prioritarias, los actores clave, y el entorno económico y social estudiado. Al integrar Redes de Petri en el diseño del modelo de proceso, se facilita una representación detallada y precisa de las operaciones de reciclaje, lo que permite optimizar los procesos y mejorar las prácticas actuales de recuperación de residuos.

Para lograr este propósito de modelar la dinámica del proceso de recuperación en sus diferentes etapas, se utilizan las Redes de Petri. En la figura 19 se presenta de manera detallada la relación entre los diferentes estados, transiciones y los arcos que relacionan el proceso de recuperación de RSU realizado por los recicladores.

Figura 19

Representación gráfica del comportamiento dinámico del proceso de recuperación.



El proceso se inicia con un token en el lugar de inicio, que activa la transición hacia el desplazamiento al punto de acopio de material. Este desplazamiento (microruta) es fundamental para la etapa de recolección, la cual, está asociada a los días de recolección del sistema formal (macroruta) de cada centro urbano. Una vez en el sitio, el sistema evalúa la presencia de material. Si el reciclador no encuentra el material debe desplazarse al siguiente punto de acopio reiniciando el proceso, sugiriendo un posible ciclo ineficiente que podría mitigarse con una planificación más exacta, si se encuentra material, se procede a su evaluación para determinar si es aprovechable.

En este caso, el material que se determina como aprovechable es recolectado y el reciclador debe evaluar si se requiere algún tipo de ajuste dando paso a la etapa de alistamiento donde él realiza actividades de acondicionamiento del material (aplastar, amarrar, cortar, limpiar,

preseleccionar, beneficiar) para asegurar los materiales recolectados. Al detectar que el material sea aprovechable y no se requiera ningún tipo de preparación, el reciclador se debe desplazar al siguiente punto de acopio de material.

Finalizada la etapa de alistamiento, el reciclador verifica la capacidad disponible del medio de recolección, si aún hay capacidad el proceso puede reiniciarse para visitar un nuevo punto de recolección. En el caso no tener capacidad, el proceso avanza hacia la siguiente etapa donde el reciclador se desplaza hacia las estaciones de clasificación y almacenamiento (ECAs) para la comercialización de los materiales recuperados. En la ECAs se hace una evaluación de los materiales por tipo, si este es aceptado se procede a realizar el registro por tipo y peso de cada material, en el caso de que el material sea rechazo por causas como falta de capacidad de almacenamiento, mala calidad del material o por falta de interés de compra de algún material, este es devuelto al reciclador quien debe definir el destino de dicho material.

Al culminar el registro de todos los materiales por parte de la ECA, el siguiente paso es la facturación y pago al reciclador por los materiales recuperados. El flujo termina cuando el reciclador no tiene más material, retornado al inicio. La red de Petri ilustra la secuencia y dependencia de cada paso dentro del proceso de gestión de RSU. Cada transición en la red representa una decisión o acción que impacta directamente en el flujo del proceso. Los lugares en la red representan estados que acumulan o liberan tokens basados en la disponibilidad y las acciones tomadas, proporcionando una base para analizar la eficiencia del sistema, componentes críticos, interacciones dentro del sistema y prever las eventualidades que podrían surgir en cada etapa del proceso. Asimismo, permite una evaluación clara de las variables que influyen directamente en la eficiencia y efectividad del proceso de gestión de residuos.

En la tabla 21 se presenta un resumen de las eventualidades identificadas a través de la modelación por redes de Petri, así como las variables relevantes que deben ser consideradas en cada etapa del proceso. Este análisis tiene como objetivo facilitar la comprensión de los desafíos potenciales y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de mejoras en la eficiencia del rol del reciclador en el proceso de recuperación de RSU.

Tabla 21

Cuadro resumen de eventualidades y variables para cada etapa del proceso de recuperación de RSU.

Etapa	Eventualidad	Variables
Recolección	Cambios en la macroruta.	Distancia al punto de acopio.
	No encontrar material.	Condición del material.
	Incertidumbre de los RSU.	Disponibilidad del material.
	Dificultad para acceder al material.	Eficiencia en la recolección.
Alistamiento	Error en la evaluación del material.	Capacidad del medio de recolección.
	Medio de recolección inadecuado.	Disponibilidad del material.
	Falta de espacios para alistamiento.	Calidad del material.
	Condiciones del tráfico vehicular.	Eficiencia en el alistamiento.
	Material requiere ajuste no previsto.	Precios de compra y venta de materiales.
Comercialización	Clasificación incorrecta.	Distancia a las ECA.
	Falta de demanda para ciertos materiales.	Capacidad de almacenamiento de la ECA.
	Problemas logísticos en la entrega del material.	Calidad del material.
	Rechazo de material por calidad insuficiente.	Eficiencia en la comercialización.

Etapa	Eventualidad	Variables
	Cambio en los precios de los materiales.	

La modelación mediante redes de Petri demostró ser una herramienta efectiva para analizar detalladamente el proceso de recuperación de RSU. Esta metodología permitió identificar los nodos críticos y evaluar la eficiencia de las diversas etapas del proceso. La claridad en la visualización de estados y transiciones ha facilitado la identificación de ineficiencias operativas y ha sugerido puntos de intervención que podrían mejorar tanto la eficiencia del rol del reciclador como el impacto socioeconómico en los centros urbanos.

En la siguiente sección, se involucra la implementación de la simulación por agentes. Esta técnica avanzada permite modelar y simular las interacciones dinámicas relacionando a los usuarios, recicladores, tasa de recuperación, cobertura y duración de la jornada laboral. Esta simulación es particularmente útil para probar hipótesis en entornos complejos y heterogéneos, proporcionando una plataforma para evaluar la viabilidad y la eficacia de las mejoras propuestas antes de su implementación en escenarios reales. Esta etapa es esencial para validar la adaptabilidad del modelo propuesto y mejorarlo de acuerdo con las necesidades y restricciones específicas del contexto estudiado.

6.2.2 Simulación del Modelo

La eficiencia en los sistemas de gestión de residuos se ha abordado desde diferentes alternativas como la clasificación y reciclaje, reducción en los costos de logísticos, aprovechamiento de residuos, interacción de los agentes, comportamiento resultante, entre otros. Los autores Araya,

(2020) investigaron sobre el modelamiento de la interacción entre múltiples agentes que conducen a comportamientos emergentes, basado en el modelo en múltiples agentes (MBA), por otro lado, Nguyen y Kin. (2024) integraron optimización lineal con MBA para modelar diferentes escenarios del sistema de transporte de RSU encontrando una reducción del 11.3% de los costos de operación.

Desde el contexto en estudio y con el objetivo de favorecer la eficiencia del proceso de aprovechamiento de RSU, en esta sección, se plantea un modelo de simulación basada en agentes con tres escenarios. En el primero se pretende establecer un modelo que relacione la tasa de recuperación de RSU (12%) con la cantidad de material recuperado. En el segundo se quiere establecer el área máxima de trabajo de un reciclador para garantizar una cobertura del 90% de los hogares y, por último, se pretende disminuir la jornada laboral de los recicladores y a su vez aumentar la recuperación de material del reciclador en un 50% con respecto al valor de referencia (80 Kg/día), siendo esto el insumo para el diseño del modelo.

6.2.2.1 Métodos y variables

De acuerdo con la información recopilada sobre la producción de RSU en la capital del país se generan 6.300 ton/día, que en un 38,5% corresponden a RSU, con una tasa de recuperación del 12% y el número de hogares se estima alrededor de 2.45 millones de hogares (DANE, 2019). De acuerdo con los indicadores se puede inferir que un reciclador podría recolectar aproximadamente 119 g de RSA por hogar. Por otra parte, según datos de la caracterización socioeconómica de recicladores de oficio (Alianza EFI-2019), se estimó que en promedio la jornada laboral de los recicladores de oficio es de 7.15 horas con una desviación estándar de 2.38 horas.

Teniendo en cuenta la información presentada y de acuerdo al protocolo Overview, Design Concepts, Details (ODD) se procede a describir la finalidad del modelo, entidades, variables de estado y escalas capturadas, así como la descripción general del proceso, conceptos de diseño, descripciones detalladas del estado inicial del modelo y los datos de entrada requeridos. El software utilizado para la simulación es NetLogo en su versión 6.2.0, este permite la simulación basada en agentes en dos dimensiones.

6.2.2.2 Escenarios de simulación y resultados

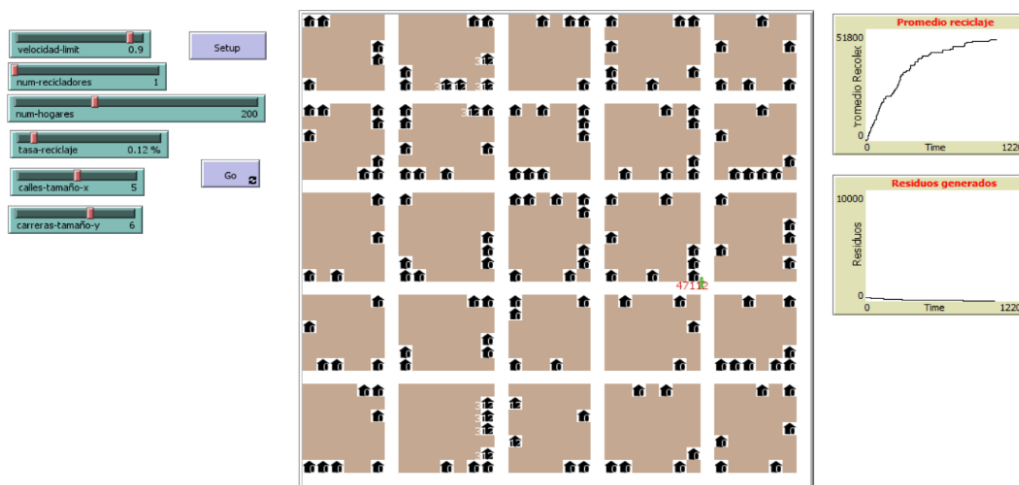
El problema de la recuperación de RSU involucra tres criterios: (a) encontrar un modelo que relacione la tasa de recuperación y el material recuperado, (b) asegurar la prestación del servicio por parte de los recicladores en términos de atender la mayor cantidad de hogares en un área urbana definida (cantidad de calles y carreras) y (c) disminuir la jornada laboral de los recicladores. El objetivo es ilustrar el comportamiento de todas las funciones propuestas del modelo en diferentes escenarios.

La figura 20 muestra la simulación por agentes diseñada para modelar la recogida de RSJU en una cuadrícula que representa un área urbana, donde cada punto negro indica un hogar generador de residuos. Los agentes, representados como recicladores, navegan por esta cuadrícula recolectando el material aprovechable. En la parte superior derecha, dos gráficos ilustran el avance temporal de la simulación: uno muestra el "Promedio reciclaje", indicando el aumento progresivo en la cantidad de material reciclado, y el otro rastrea los "Residuos generados", reflejando la acumulación continua de residuos. Los controles que se muestran en la

parte superior izquierda permiten ajustar variables como la velocidad y el número de recicladores y hogares para optimizar la simulación.

Figura 20

Modelo simulado para evaluar la eficiencia de los agentes y la generación de RS en centros urbanos.



Escenario 1: Primero se definen los siguientes parámetros como constantes:

- Ticks = 1000 (equivalente a 7.15 horas)
- Velocidad-limit = 0.9
- Núm.-recicladores = 1
- Núm.-hogares = 200
- Calles-tamaño-x = 5
- Carreras-tamaño-y = 6

Posteriormente, se varia la tasa de recuperación de material teniendo como valor inicial el 12% y se incrementó en este mismo porcentaje hasta llegar al 96%. Las variables registradas fueron promedio de material recuperados en gramos y promedio de hogares no atendidos a partir de 10 réplicas para nivel de recuperación como se reporta en la tabla 22.

Tabla 22

Variables simuladas en el escenario 1.

Tasa de recuperación (%)	Promedio material recuperado (g)	Promedio hogares no atendidos (unidad)
12	47518	4.85
24	95078	5.65
36	140774	5.55
48	187574	5.60
60	230412	7.40
72	291283	3.45
84	323608	6.20
96	386880	3.75

Con la variación de la tasa de recuperación se observa una relación directamente proporcional con el promedio de material recuperado, sin embargo, el promedio de hogares no atendidos pareciera no tener cambios significativos en la cobertura de los hogares. Asumiendo que el 90% de cobertura es aceptable, se puede inferir que un solo reciclador es capaz de garantizar la cobertura y la prestación del servicio de recuperación en la zona como se muestra en la figura 22.

El modelo lineal que representa el escenario es:

$$(Material\ recuperado = 3980.7 * Tasa\ de\ recuperación - 2067.1) (9)$$

Por otra parte, de acuerdo con los hallazgos de la fase de caracterización y análisis, la eficiencia promedio de recuperación de los recicladores es de 80kg/día, para que el reciclador cumpla con el indicador, la tasa de recuperación debería ser del 18.67% según lo estimado por el modelo.

Escenario 2: Se pretende determinar el tamaño de la zona urbana donde un reciclador es capaz de garantizar la cobertura del 90% de los hogares con un valor constante de 200. Para responder esta pregunta inicialmente se incrementó en una calle la zona urbana con respecto al Escenario 1 y se mantuvo la misma variación de la tasa de recuperación, sin embargo, no se observaron cambios significativos por lo que se decidió aumentar también una carrera lo que significó una disminución en la cobertura. Por esta razón se realizó la simulación teniendo como constantes los siguientes parámetros:

- Ticks = 1000 (equivalente a 7.15 horas)
- Velocidad-limit = 0.9
- Núm.-recicladores = 1
- Núm.-hogares = 200
- Calles-tamaño-x = 7
- Carreras-tamaño-y = 8

La variable registrada fue cobertura (cantidad hogares no atendidos). Se realizaron 10 réplicas por cada nivel de tasa de recuperación encontrando que en promedio se dejó de prestar el servicio a 28.5 hogares, lo que significa una reducción en la cobertura del 4.25% con respecto al valor permitido (12%).

Escenario 3: Con este escenario se quiere analizar la disminución de la jornada laboral (ticks) y a su vez aumentar en un 50% la eficiencia de recuperación de un reciclador, pasando un promedio de 80 kg/día a 120 kg/día. Los parámetros constantes son:

- Ticks = 1000 (equivalente a 7.15 horas)
- Velocidad-limit = 0.9
- Núm.-recicladores = 1
- Núm.-hogares = 200
- Calles-tamaño-x = 7
- Carreras-tamaño-y = 8

Adicionalmente, el reciclador tiene la regla de parar su labor cuando llegue al valor deseado de recolección de 120 kg/día de material aprovechable. Para estimar la tasa deseada se utilizó el modelo calculado en el Escenario 1, encontrando que la tasa de recuperación debería ser del 30.66%. Se realizaron 10 réplicas con esta tasa, encontrando que en promedio la jornada laboral se podría reducir aproximadamente en una hora.

Se encontró un modelo lineal que relaciona las variables. Se logró determinar que para asegurar la prestación del servicio por parte de los recicladores en términos de atender la mayor cantidad de hogares en un área urbana definida y asumiendo una cobertura del 90%, el área de trabajo debe de ser menor a 7 calles y 8 carreras. Se estableció que para aumentar la cantidad de material recuperados por un reciclador en un 50% ($\bar{X} = 120 \left[\frac{Kg}{día} \right]$), es necesario aumentar la tasa de recuperación del 12% al 30.66%, logrando una reducción aproximadamente en una hora la jornada laboral. Al lograr reducir el tiempo de trabajo y aumentar la cantidad de material recuperado significaría un impacto positivo en la eficiencia del rol del reciclador.

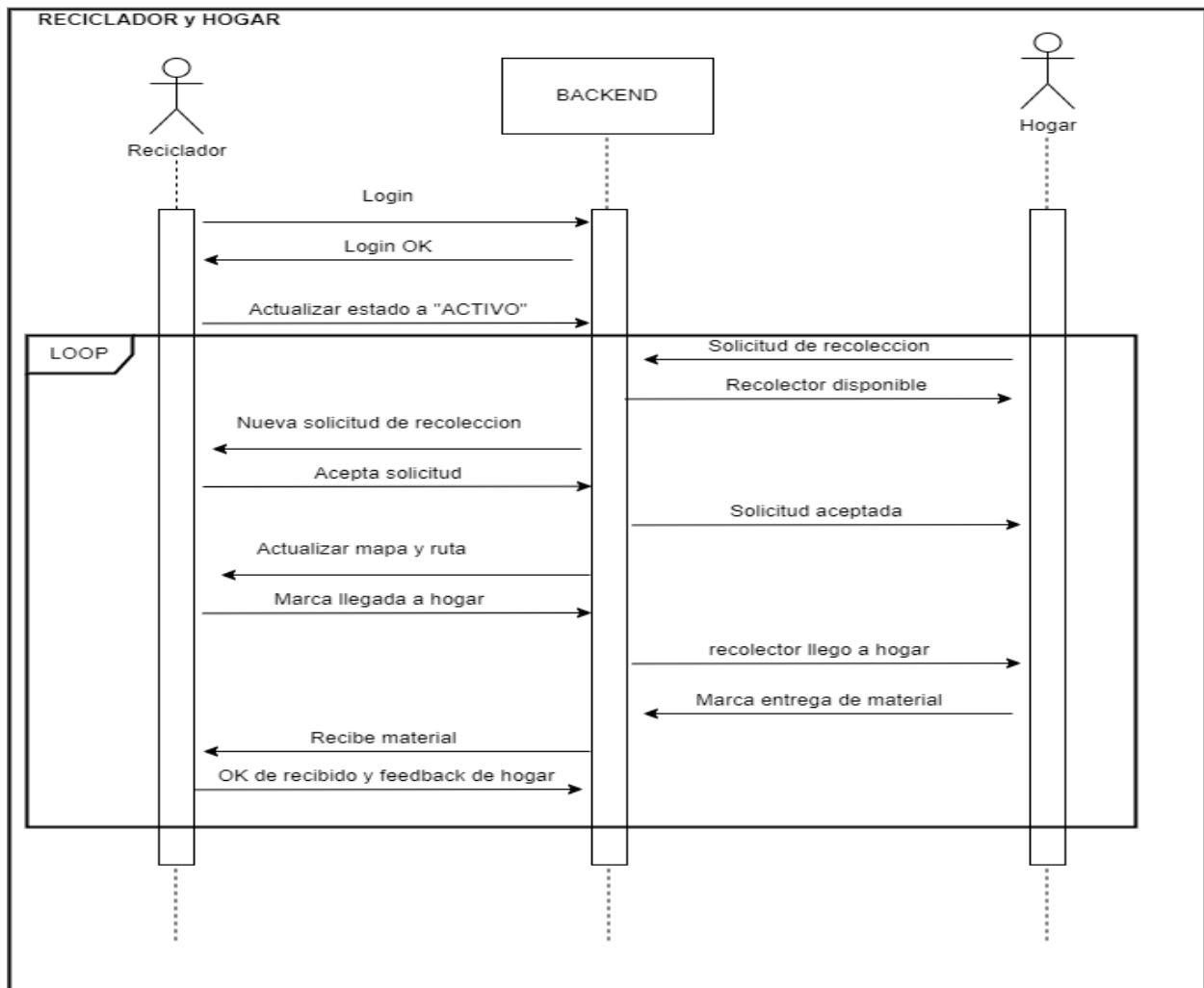
6.2.3 Stack tecnológico

En esta sección, se procede a describir detalladamente los componentes que integran el stack tecnológico, arquitectura y funcionalidades que ofrecen, para comprender la infraestructura tecnológica necesaria para implementar el modelo propuesto, así como identificar las herramientas y plataformas clave que respaldan su funcionamiento, mediante una exploración detallada de estas características, se sentarán las bases para el desarrollo efectivo del modelo de proceso de logística inversa para su posterior validación en la fase de ejecución en el contexto colombiano.

6.2.3.1 Diagrama de secuencia. El modelo cuenta con dos secuencias para gestionar el adecuado desarrollo de las etapas del proceso de aprovechamiento de RSU. La primera secuencia diseñada es entre “Reciclador y Hogar” (figura 21) que contempla la conexión entre ambos actores para optimizar el proceso de recolección.

Figura 21

Secuencia entre el reciclador y el hogar



La secuencia se da después de que exista un reciclador disponible, para ello, es necesario que los recicladores se encuentren conectados a la aplicación y actualizar su estado a activo. Además, el usuario tipo hogar puede solicitar el servicio y se le asignará un reciclador y este podrá aceptar y detallar el lugar de destino en su microrruta y llegar al punto para recoger el material. El reciclador puede rechazar la solicitud de forma justificada por algunas de las siguientes causas:

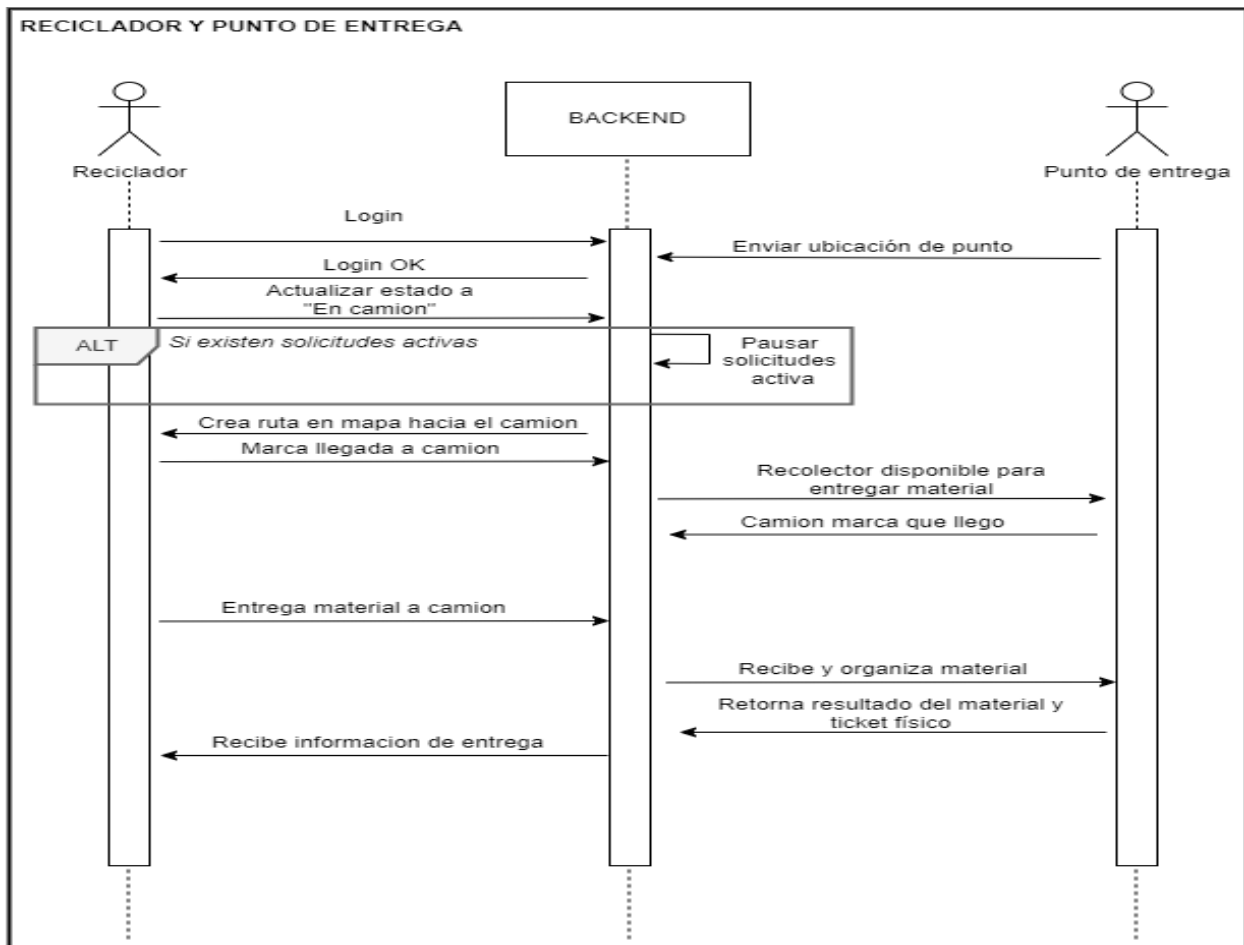
- El material a recoger no cuenta con los requisitos (cantidad, tipo de material o estado del material).

-El reciclador no cuenta con el espacio suficiente para recibir el material. Para ello debe cambiar su estado de “activo” a “en camión” para dirigirse al punto de entrega disponible más cercano.

La segunda secuencia diseñada es entre el “Reciclador y punto de entrega” (figura 22). En este segundo caso se puede llevar a cabo la conexión entre ambos actores siempre y cuando el punto de entrega notifique al servidor su ubicación actual.

Figura 22

Secuencia entre el reciclador y el punto de entrega




Cuando el reciclador actualiza su estado el sistema automáticamente pausa las solicitudes que tiene activas y recibe una nueva ruta óptima para dirigirse al punto de entrega, que a su vez también es notificado para realizar las operaciones logísticas necesarias para recibir el material aprovechable que es transportado por el reciclador. Al llegar al punto de entrega se hacen las operaciones de recepción, clasificación, pesaje y registro del tipo y peso del material entregado. Para finalizar el proceso se genera un ticket físico con la información del material que es entregado al reciclador y de igual manera el punto de entrega notifica al servidor la misma información del ticket, la cual, se estará cargada en la aplicación para que el reciclador pueda verla reflejada en su historial de entregas.

6.2.3.2 Implementación cloud

Existen varias opciones cloud actuales en donde desplegar la solución, como lo son Azure, GCP o Amazon Web Services (AWS), sin embargo, se opta por la última por la gama de servicios que presta como: control de costos, disponibilidad, seguridad y compromiso con la sostenibilidad ecológica que se pueden visualizar en la tabla 23.


Tabla 23

Servicios AWS a utilizar en el stack tecnológico

Servicio	Icono
Route 53: (Sistema de Nombres de Dominio) administra el tráfico de internet y lo monitorea y redirecciona para garantizar la	


Servicio	Icono
disponibilidad y el rendimiento de las aplicaciones en la nube de AWS.	
APIGateway: puerta de enlace entre las aplicaciones y los servicios en la nube de AWS o en el backend, permitiendo el acceso a funcionalidades específicas de manera controlada y eficiente.	
Fargate: es un servicio de contenedores completamente administrado que permite ejecutar contenedores de Docker en la nube de AWS.	
Amazon Simple Queue Service (SQS): Servicio de mensajería, es confiable y escalable que permite el almacenamiento temporal de mensajes.	
Virtual Private Cloud (VPC): Permite crear red virtual en la nube con un alto nivel de control y seguridad sobre la infraestructura en la nube.	
Lambda: es un servicio de computación sin servidor que permite ejecutar código sin tener	

Servicio	Icono
<p>que administrar servidores que simplifica el desarrollo de aplicaciones.</p>	
<p>Elastic Kubernetes Service (EKS) es un servicio que permite ejecutar contenedores de Kubernetes en la nube de AWS sin tener que administrar la infraestructura subyacente.</p>	
<p>Elastic Compute Cloud (EC2): permite lanzar y administrar servicios virtuales en la nube.</p>	
<p>Simple Storage Service (S3): servicio de almacenamiento en nube que se utiliza para almacenar datos de aplicaciones, archivos multimedia, copias de seguridad, y como origen para distribuir contenido estático a través de la red de entrega de contenido de AWS.</p>	
<p>MongoDB Atlas: servicio de base de datos en nube diseñado para simplificar la implementación, operación y escalabilidad de bases de datos MongoDB en AWS y otras nubes. Con MongoDB Atlas, se puede desplegar y gestionar clústeres de MongoDB</p>	

Servicio	Icono
<p>con facilidad, sin tener en cuenta la configuración y el mantenimiento de la infraestructura subyacente. Ofreciendo características como copias de seguridad automáticas, escalabilidad elástica⁷, monitorización integrada ⁸y seguridad avanzada para garantizar un rendimiento óptimo y disponibilidad de bases de datos en la nube de AWS.</p>	
<p>Identity and Access Management (IAM): es el servicio de gestión de identidades de AWS, constituye un componente en la administración de accesos y permisos dentro del entorno de computación en la nube. IAM, posibilita la creación y gestión de usuarios,</p>	

⁷ La escalabilidad elástica es una propiedad de los sistemas informáticos y los servicios en la nube que posibilita la adaptación automática de los recursos de cómputo y almacenamiento según las necesidades actuales. Esta habilidad garantiza que los recursos se agreguen o eliminen de manera dinámica, sin requerir intervención manual, para preservar un rendimiento óptimo y la eficiencia del sistema.

⁸ La monitorización integrada consiste en la supervisión y análisis constante del rendimiento, la disponibilidad y la seguridad de un sistema o aplicación utilizando herramientas y soluciones que están directamente incorporadas en la infraestructura o el software. Este método proporciona una visión global y en tiempo real del funcionamiento del sistema, lo que facilita la detección y solución de problemas antes de que impacten a los usuarios finales.

Servicio	Icono
<p>grupos y roles, permitiendo una asignación exacta y precisa de permisos.</p>	
<p>CloudFormation: - es un servicio para crear y gestionar recursos de AWS usando código. Con plantillas se describe la configuración de los recursos y sus relaciones, permitiendo la creación y actualización automatizada de la infraestructura. Así mismo, simplifica el aprovisionamiento y la gestión de recursos mejorando la agilidad y la confiabilidad de las aplicaciones desplegadas en nube.</p>	
<p>CloudWatch: es un servicio de monitoreo y observabilidad que permite recopilar y visualizar métricas, registrar logs y configurar alarmas para los recursos en la nube de AWS.</p>	

Además de los servicios descritos en la tabla 23 para implementar la solución se requieren algunos servicios externos de la nube de AWS, como lo son: API de Google Maps que es una herramienta de ubicación para mostrar mapas personalizados, obtener direcciones, calcular distancias y tiempos de viaje, entre otras, que permite mejorar la experiencia del usuario y agregar funcionalidades basadas en la su ubicación. Otro servicio externo necesario para el

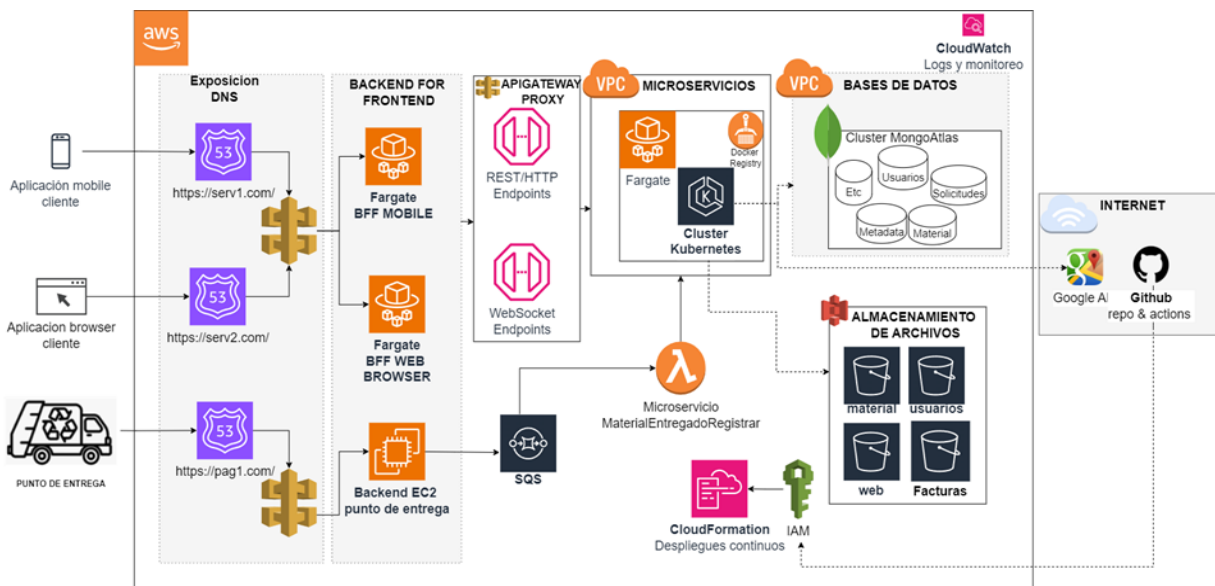
modelo es GitHub plataforma de desarrollo colaborativo que aloja repositorios de código utilizando el sistema de control de versiones Git.

6.2.3.2.1 Arquitectura de la solución propuesta

En la figura 23 se presenta la arquitectura del modelo de proceso de logística inversa propuesto, que define la organización de componentes tecnológicos, interfaces de usuario, bases de datos y protocolos de comunicación, y permite conocer qué componentes y servicios se utilizarán en la nube de AWS y qué servicios externos se implementarán, con el objetivo de mejorar la eficiencia, escalabilidad y seguridad en la gestión de residuos sólidos urbanos en el contexto colombiano.

Figura 23

Arquitectura del modelo de proceso de logística inversa propuesto.



La nube estará expuesta bajo tres DNS con Route 53⁹, este servicio permitirá crear o registrar dominios¹⁰ para cada cliente (mobile, web y api). La idea es segmentar y diferenciar las operaciones que se pueden realizar en cualquiera de estas aplicaciones. La app mobile está orientada a solo dos tipos de usuarios: “hogar” que crea las solicitudes y “recolector” que atiende las solicitudes. La app web tiene funcionalidades de gestión, administración y auditoría, los usuarios son los administradores de los usuarios de la app de mobile y la API¹¹. Finalmente, el tercer dominio expuesto en la nube será para la API, que permitirá utilizar esta interfaz programable bajo protocolo HTTP REST y expondrá algunos servicios a agremiaciones para realizar algunas operaciones como registrar material entregado por recolector o indicar la ubicación de la macro ruta.

Cuando una petición ingrese por cualquiera de los tres dominios pasará por una capa de *API Gateway* que permite identificar la petición y enrutarla al backend for frontend (BFF)¹² correspondiente el cual está expuesto en un *Fargate*. Este BFF el cual opera con protocolo HTTP REST¹³ y WebSocket permite conectar las aplicaciones web y mobile con los

⁹ Route 53 es un servicio de Sistema de Nombres de Dominio (DNS) administrado por Amazon Web Services (AWS) que permite a los usuarios registrar dominios, dirigir tráfico de Internet a recursos específicos y supervisar el estado de sus aplicaciones.

¹⁰ Los dominios en internet son identificadores únicos que forman parte de una dirección web, como ".com", ".org" o ".net", y ayudan a localizar sitios web en la red.

¹¹ Una API (Application Programming Interface) es un conjunto de definiciones y protocolos que permite que diferentes softwares se comuniquen entre sí. Las APIs proporcionan una manera estandarizada para que las aplicaciones interactúen y compartan datos, independientemente de cómo estén implementadas internamente.

¹² Backend for Frontend (BFF) es un patrón de diseño arquitectónico en el desarrollo de software que consiste en crear un backend específico para cada tipo de frontend (interfaz de usuario). El objetivo principal del BFF es optimizar y personalizar la comunicación entre el frontend y los servicios backend, mejorando así el rendimiento, la seguridad y la experiencia del usuario.

¹³ HTTP REST (Representational State Transfer) es un estilo de arquitectura para diseñar servicios web que interactúan con recursos usando operaciones HTTP estándar. REST no es un protocolo, sino un conjunto de principios que utiliza HTTP para realizar estas interacciones de una manera simple y escalable.

microservicios y su función es la de ser un middleware¹⁴. Las peticiones que se realizan en el cliente mobile tienen estructuras (contratos¹⁵) de request y response distintas a las del cliente web, también cómo las funcionalidades expuestas, por ejemplo desde la app mobile no se pueden crear o eliminar usuarios.

Esta capa BFF se desarrollará con NodeJS¹⁶ usando express, socket io y otras librerías requeridas para la implementación. Se elige JavaScript¹⁷ ya que es un lenguaje que permite trabajar de forma sencilla la comunicación con sockets. El BFF de web y mobile para poder ejecutar la petición depende de los microservicios¹⁸ los cuales estarán desplegados en un cluster¹⁹ de kubernetes²⁰ con *EKS* y administrado con *FARGATE*, este cluster estará también dentro de una *VPC*. El cluster contará con pods²¹ los cuales podrán escalar de forma horizontal dependiendo de la volumetría de peticiones además de ofrecer alta disponibilidad. Para el caso de la API se opta por utilizar una máquina *EC2*, el cual será un servidor expuesto en linux y con servicios creados con el lenguaje de programación Golang²².

¹⁴ Middleware se refiere a software que actúa como un intermediario entre aplicaciones y sistemas operativos o entre diferentes aplicaciones en una red. Funciona como una capa de software que proporciona servicios y funcionalidades adicionales sin cambiar el núcleo de las aplicaciones principales.

¹⁵ Contratos se refieren a acuerdos formales o especificaciones que establecen los términos, condiciones, derechos y obligaciones entre dos o más partes.

¹⁶ Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript basado en el motor V8 de Google, diseñado para construir aplicaciones escalables en el servidor.

¹⁷ JavaScript es un lenguaje de programación ligero, interpretado y orientado a objetos, utilizado principalmente para desarrollo web interactivo.

¹⁸ Microservicios son arquitecturas de software que descomponen aplicaciones en servicios pequeños e independientes, favoreciendo la escalabilidad y mantenimiento modular.

¹⁹ Un cluster es un conjunto de computadoras interconectadas que trabajan juntas para resolver problemas complejos o ejecutar aplicaciones distribuidas.

²⁰ Kubernetes es una plataforma de código abierto para la gestión automatizada y escalable de contenedores, facilitando la implementación y operación de aplicaciones.

²¹ Los pods son la unidad más pequeña en Kubernetes, conteniendo uno o más contenedores que comparten recursos y redes, gestionados conjuntamente.

²² Go (también conocido como Golang) es un lenguaje de programación de código abierto desarrollado por Google, conocido por su eficiencia y concurrencia para construir software escalable.

El backend (capa de microservicios) contiene todas las funcionalidades de la solución y es la capa que se comunica con las bases de datos, gestores de almacenamiento y proveedores. Las imágenes de los contenedores serán linux alpine y su lenguaje de programación Golang por su eficiencia, tamaño y operaciones asincrónicas. Estas imágenes serán alojadas en ECR y utilizadas por el cluster para desplegar los deploys²³ y pods. Las bases de datos que se utilizan son un cluster de *Atlas mongo*. Se opta por esta base de datos NoSQL ya que, ofrece operaciones de lectura más rápida, mientras que las operaciones de escritura para la nube del modelo serán inferiores.

El backend también puede acceder al gestor de almacenamiento de archivos de S3 en donde se podrán registrar y consultar imágenes y archivos relacionados con las peticiones de los usuarios, como puede ser imágenes del material a recolectar, fotos de perfil o recibos de pago. Toda la nube será orquestada con *CloudFormation* como infraestructura como código, esto para poder escalar y migrar de forma sencilla. Cada pieza, componente o servicio estarán definidos en un manifiesto YAML²⁴, este servicio se configura con los pipelines²⁵ de github actions²⁶ y cada que se detecte una modificación será ejecutada de forma automática con CI/CD²⁷ de github. Adicionalmente de forma transversal se almacenan los logs y métricas con ayuda de *CloudWatch*. De este servicio se pueden crear dashboard para conocer la salud de los componentes en la nube.

²³ "Deploy" es un término informático que se refiere al proceso de implementar y lanzar una aplicación o servicio en un entorno operativo, como un servidor o una plataforma en la nube.

²⁴ Un manifiesto YAML es un archivo de configuración utilizado en entornos de desarrollo y sistemas de gestión de infraestructuras como Kubernetes.

²⁵ "pipelines" se refiere a procesos automatizados que facilitan la integración continua (CI) y la entrega continua (CD) de aplicaciones, asegurando la calidad del código y su despliegue eficiente.

²⁶ GitHub Actions es un servicio de automatización proporcionado por GitHub que permite configurar flujos de trabajo (workflows) para automatizar tareas dentro del ciclo de vida de desarrollo de software, como pruebas, compilaciones y despliegues.

²⁷ CI/CD (Continuous Integration/Continuous Deployment) es una práctica de desarrollo de software que combina la integración continua (CI) y la entrega continua (CD).

Casos de uso

Para conocer el flujo de cómo interactúan los componentes se expondrán cuatro casos de uso. Cada uno de ellos tiene diseñado un diagrama y la descripción de los pasos que deben llevarse según sea el caso de uso, los cuales, se presentan a continuación:

1er Caso de uso: Hogar solicita servicio de recolección. El diagrama de secuencia que se expone en la figura 24 presenta los servicios de AWS que se utilizan y cómo interactúan entre sí para poder realizar la creación y asignación de una solicitud de recolección, también se incluye servicios en internet como la API de Google Maps. Toda esta secuencia incluye la utilización de algunos servicios tanto del dispositivo móvil (GPS, Cámara, texto, etc) como de la nube de AWS y Google maps. Los pasos para este caso de uso y su explicación se presentan en la tabla 24.

Tabla 24

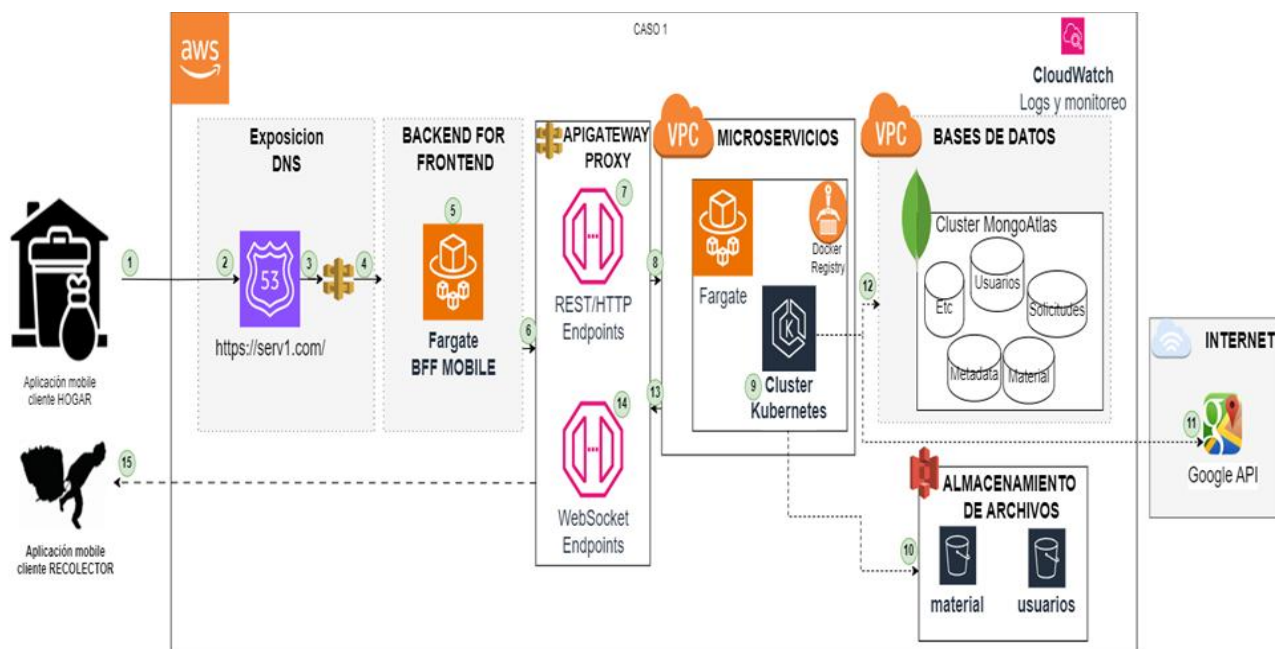
Secuencia de pasos primer caso de uso

Paso	Descripción
1	Hace referencia al cliente mobile del usuario HOGAR creando una solicitud donde se debe enviar información del usuario como el identificador en base de datos encriptada en un Json Web Token (JWT), la ubicación actual del dispositivo móvil, fotos del material y comentarios.
2	Una vez la solicitud viaje a la nube de AWS en este paso se muestra como el servicio de Route 53 expone un DNS para atender las peticiones por un dominio específico el cual puede ser https://myserver-mobile-bff.com/ (este dominio puede cambiar de acuerdo al ambiente expuesto, sea de pruebas o de producción).
3	Se ejecuta un API Gateway el cual funciona como proxy y determina cómo debe dirigirse la solicitud de acuerdo al método y al path , en este paso POST y “/reqs” respectivamente.
4	Se envía el request HTTP al servidor que funciona como backend for frontend (BFF).

-
- 5 El BFF procesa y realiza algunas validaciones, como de contenido y formato, después transforma o enriquece el mensaje.
 - 6 El mensaje se envía hacia otra capa de de API Gateway.
 - 7 Se determina con su path y método que microservicios invocar
 - 8 Se envía el request HTTP a los microservicios correspondientes
 - 9 Los requests del Backend for Frontend se procesan utilizando los microservicios (desplegados con Fargate, ECR y EKS) como el que obtiene la información de los usuarios,
 - 10 El servicio de S3 se encarga de cargar u obtener archivos (fotos de material, fotos de perfil del Reciclador y Hogar, etc).
 - 11 Es invocado el microservicio encargado de calcular la ruta óptima y obtener la nueva microruta usando la API Google Maps.
 - 12 La solicitud del Hogar es guardada en base de datos usando un microservicio dedicado
 - 13 Después de que sean exitosos estos últimos pasos se retorna la respuesta a la capa de API Gateway
 - 14 Existe un servicio expuesto de WebSockets que tiene una conexión con el cliente mobile del usuario RECOLECTOR asignado.
 - 15 El reciclador recibe la notificación. En paralelo la segunda capa responde al cliente mobile del usuario HOGAR indicando la creación exitosa del servicio de recolección y brindando información del recolector, como el primer nombre y la foto, también algunas recomendaciones y los tiempos y distancia estimada
-

Figura 24

Diagrama de secuencia primer caso de uso

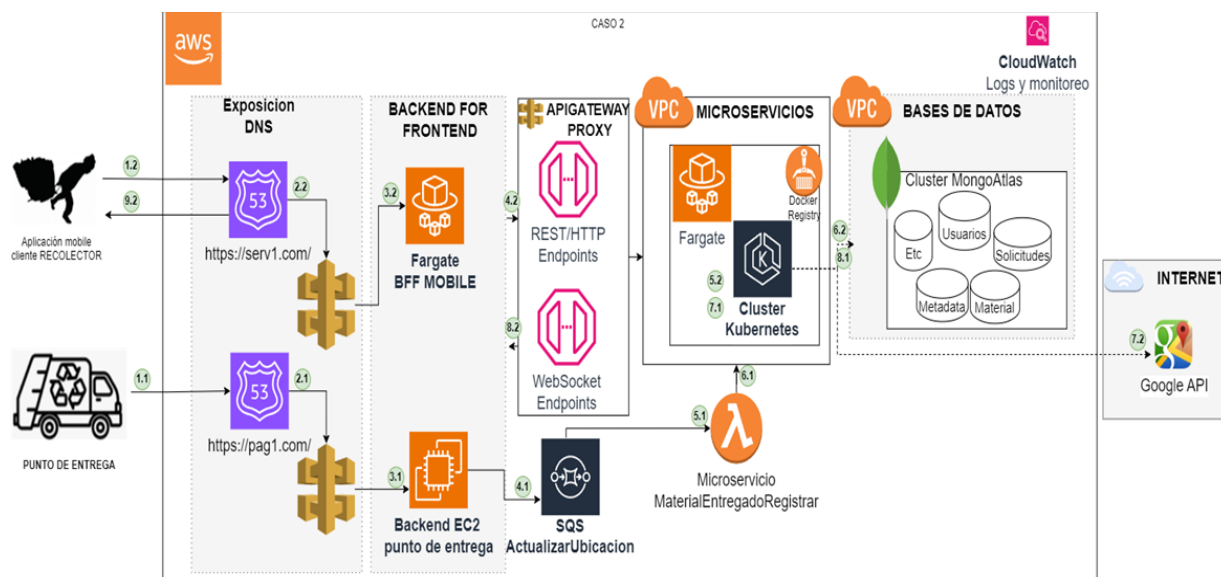


2do caso de uso: Un reciclador marca el cambio de estado para dirigirse al punto de entrega ²⁸de material. La secuencia de este segundo caso de uso se presenta en la figura 25:

Figura 25

Diagrama de secuencia primer caso de uso

²⁸ Punto de entrega puede ser un camión, container o ECA



Existe en este segundo caso de uso un actor es el “punto de entrega de material” quien debe enviar su ubicación a la nube para que esta sea actualizada en las bases de datos. Mientras tanto el recolector al cambiar de estado “Activo” a “Hacia el camión” para conocer la ruta óptima hacia el punto de entrega y pausar las solicitudes activas asignadas. Para este segundo caso pueden existir dos escenarios que dependen de la existencia de la ubicación donde se entregará el material, por ello, los pasos para el uso del modelo pueden variar, así como se presenta en la tabla 25.

Tabla 25

Secuencia de pasos segundo caso de uso

Pasos	Escenario: No existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material.	Escenario: Existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material
1	El Punto de entrega de material, se le conoce como macroruta y debe primero enviar su ubicación cada fracción de tiempo, ya sea cada	A través del cliente mobile de usuarios RECOLECTOR

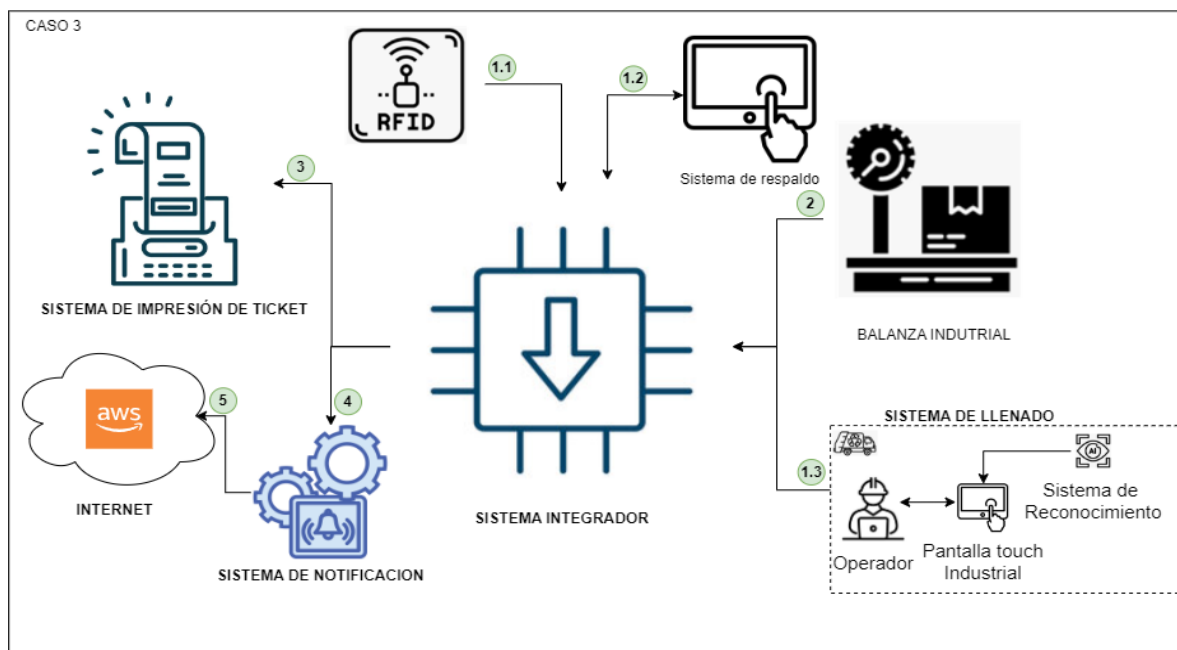
Pasos	Escenario: No existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material.	Escenario: Existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material
	minuto, hora o día (dependiendo de si es una estación móvil o estática) hacia la nube y esta será recibida por un componente Route 53 que expone un dominio como puede ser https://myserver-puntoentrega.com/ (este dominio puede cambiar de acuerdo al ambiente expuesto, sea de pruebas o de producción).	cambia su estado y cuando esto ocurre se envía un request HTTP a la nube.
2	Un API Gateway toma la petición y de acuerdo al path y método se envía el request HTTP.	De acuerdo al método y path se procesa la petición
3	Una máquina EC2 toma el request HTTP y lo procesa validándolo y enriqueciendo el mensaje.	La capa BFF invoca los microservicios correspondientes
4	La máquina EC2 envía un mensaje a una cola SQS destinada a recibir la localización de los puntos de entrega.	Las peticiones pasan por la capa de API Gateway de los microservicios de acuerdo al método y path.
5	Una lambda toma los mensajes de la cola con una estrategia FIFO (First In First Out)	Los microservicios de actualización de estado, obtención de ubicación de “punto de entrega” y cálculo de ruta óptima son invocados
6	Se envía al cluster de microservicios	Se interactúa con la base de datos.
7	Un servicio del cluster es destinado a actualizar la ubicación del punto de entrega en base de datos	Se calcula la ruta óptima.
8	Esta base de datos está desplegada en un cluster de Mongo Atlas.	La capa de microservicios (backend) responde al BFF

Pasos	Escenario: No existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material.	Escenario: Existe una ubicación donde el recolector pueda depositar el material
9	NA	La capa de backend for frontend responde enviando la información de la nueva ruta óptima al Recicladador.

3er caso de uso: El recolector llega al punto de entrega de material. En este caso se hace la entrega de la materia aprovechable recolectado por el reciclador, el cual, debe ser registrado en la aplicación y se emite un ticket con la información correspondiente a dicha entrega, tal y como se ilustra en la figura 26 y cuyos pasos se describen en la tabla 26.

Figura 26

Proceso de entrega del material



Una vez desarrollados los pasos que se presentan en la tabla 26 internamente en la nube pasa lo expuesto en la figura 27 cuyos pasos se describen en la tabla 27:

Tabla 26

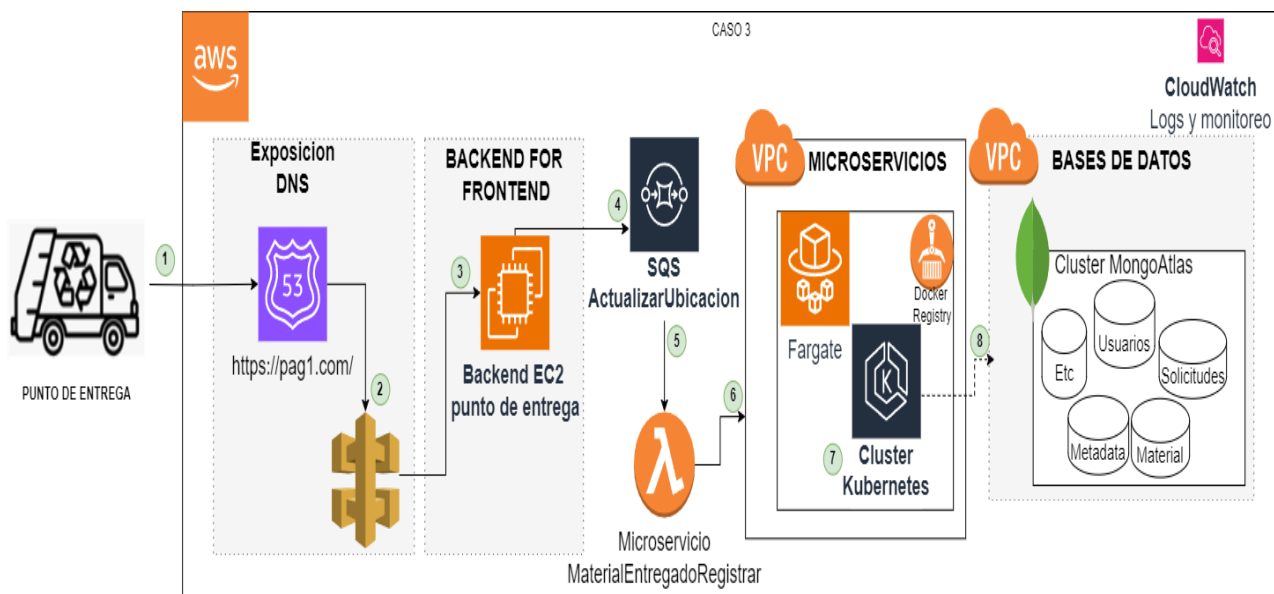
Secuencia de pasos entrega del material

Pasos	Descripción
1	<p>El RECOLECTOR debe portar una tarjeta con la cual podrá identificarse en los puntos de recolección de material, esta tarjeta se pasa a través de un lector de radiofrecuencia</p> <p>El sistema integrador brinda la información a través de una pantalla touch industrial, la cual sirve como sistema de respaldo en caso de que algún sistema, como el de reconocimiento o el de identificación del material fallen. En este caso, el operador podrá realizar el ingreso de información manualmente.</p> <p>En paralelo, se censa la capacidad de almacenamiento constantemente del punto de entrega. Si se acerca al punto límite de capacidad se debe enviar una alerta a los actores implicados en el proceso de gestión para ajustar la logística, a través de una comunicación asíncrona con la nube.</p>

- 2 Una vez el RECOLECTOR es identificado y se validó la disponibilidad para recibir más material este es pesado en una báscula industrial. La información capturada como el peso o volumen y el tipo de material es enviado al sistema integrador.
- 3 Se realiza la impresión del ticket con la información del material recibido.
- 4 Esta información de que RECOLECTOR y que material entregó es enviada a un sistema de notificación.
- 5 El sistema de notificación envía la información a la nube de AWS.

Figura 27

Diagrama de secuencia tercer caso de uso

**Tabla 27**

Secuencia de pasos tercer caso de estudio

Pasos	Descripción
1	El punto el sistema integrador a través del sistema de notificación del punto de entrega envía la notificación de material recibido por medio de una petición HTTP.

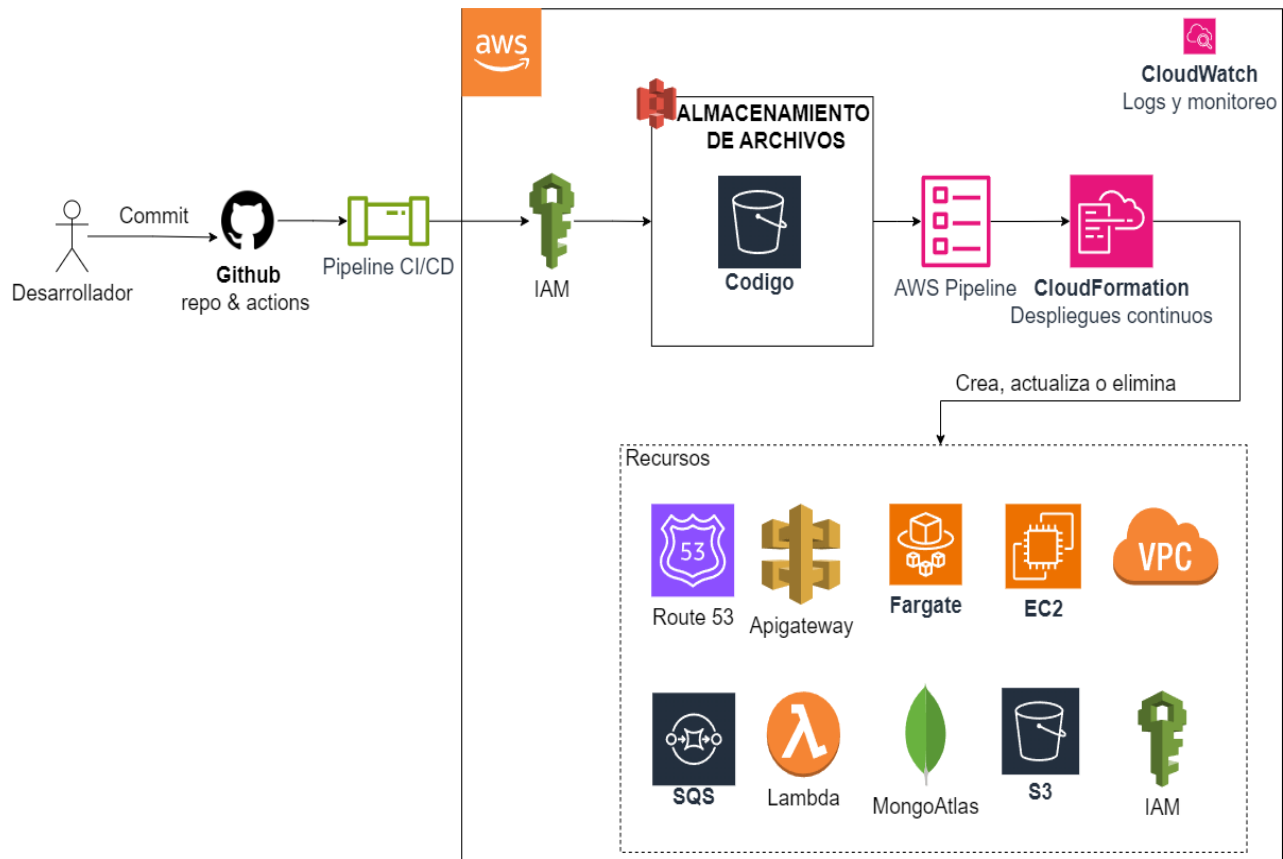
Pasos	Descripción
2	Esta petición HTTP es recibida por un API Gateway que determina de acuerdo al método y path que operación ejecutar.
3	Un servidor EC2 es designado como backend para los puntos de entrega, quien procesa el mensaje de notificación validándolo y enriqueciendo.
4	Esta notificación es depositada en una cola SQS.
5	Una función lambda escucha los mensajes de la cola SQS
6	Se envía el mensaje de notificación a la capa de microservicios.
7	Existe un servicio encargado de guardar esta información en base de datos.
8	Es guardado el mensaje en la base de datos.

Proceso de despliegue

Los recursos en la nube son gestionados y desplegados a través de infraestructura como código (IAS) usando Cloud Formation y pipelines de CI/CD (figura 28). Esto permite que se pueda tener una versión de cada cambio, además de facilitar una migración de forma sencilla entre nubes de AWS. Los archivos son alojados en un repositorio de GitHub.

Figura 28.

Gestión y despliegue de la información



Cuando un miembro del equipo de desarrollo quiere crear, modificar o eliminar un recurso en la nube de AWS primero debe cargar el cambio deseado en un repositorio de Github, posteriormente un pipeline de Github Actions debe cargar el archivo en un bucket de S3 usando IAM destinado a ello. Cuando el bucket detecta el cambio se dispara un pipeline que activa las funcionalidades de CloudFormation quien interactúa con los recursos asociados al cambio. La trazabilidad y salud de los recursos son capturados por CloudWatch.

Capítulo VII. Resultados Fase III. Implementación del modelo

Los elementos contemplados en los capítulos anteriores permitieron obtener una idea preliminar del modelo de procesos diseñado para optimizar la labor del rol del reciclador en el proceso de aprovechamiento de RSU, desde allí se requiere entonces definir cuáles son los recursos en términos de bienes y talento humano para poner en práctica de manera eficiente el modelo propuesto. En función de ello, se desarrolló el presente capítulo que contiene la descripción de los bienes y servicios y el personal de apoyo necesarios para la implementación del modelo, así como también se presenta la interoperabilidad del modelo con su correspondiente validación.

7.1 Adquisición de bienes y servicios

La ejecución del modelo requirió la adquisición de equipos y la contratación de personal de apoyo para garantizar el éxito de la implementación del modelo. A continuación, se describen los elementos contemplados para implementar el modelo.

7.1.1 Definición del personal de apoyo, perfiles y responsabilidades

Para la implementación del modelo, se contó con la colaboración de personal de apoyo especializado para la captura de información primaria; gestión documental; análisis de información cualitativa y cuantitativa; desarrollo de aplicación móvil; integración tecnológica; redacción del documento técnico para la solicitud de patente. Consecuentemente, se seleccionaron candidatos con una formación en el campo amplio de la ingeniería y el derecho, y sus responsabilidades se presentan en la tabla 28:

Tabla 28

Responsabilidades y descripción de las actividades.

Responsabilidad	Descripción
Captura de información primaria	<ul style="list-style-type: none"> - Levantamiento de rutas para la recolección de residuos mediante técnicas de georreferenciación, cobertura y gestión de recursos. - Captura y procesamiento de datos utilizando herramientas cuantitativas y cualitativas.
Gestión de documentación	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de las actividades, gestión de la documentación necesaria para evaluar el progreso.
Análisis de información	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso de diseño, simulación, implementación y validación de los prototipos necesarios para la mejora en la eficiencia del reciclador.
Desarrollo de aplicación móvil	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar la arquitectura de la APP para implementación de las interfaces, con la integración de front-end y back-end. - Organizar el lanzamiento y ejecución de pruebas de la APP, las cuales se establecen por: casos de pruebas, pruebas unitarias, pruebas de performance y generación de reporte. - Hacer el despliegue en cloud implementando CI/CD con pipelines de infrastructure as code en los ambientes de desarrollo y productivo.
Integración tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar protocolos y mecanismos para el intercambio de información entre componentes (capa de comunicación) asegurando que se cumplieran los estándares técnicos y de calidad establecidos. - Llevar la puesta a punto los diferentes subsistemas de la estructura de medición (capa de información). - Análisis de requisitos de solicitud de patente y revisión del estado del arte.
Redacción solicitud de patente	<ul style="list-style-type: none"> - Recomendaciones técnicas orientadas a dar viabilidad a la obtención de patente. - Redacción técnica y construcción de documento.

7.2 Interoperabilidad del modelo

La fase de interoperabilidad se centró en la integración del nuevo modelo con los sistemas existentes, asegurando una comunicación fluida y efectiva entre todos los componentes del proceso de recolección y reciclaje.

Para tal finalidad, se desarrollaron las siguientes actividades:

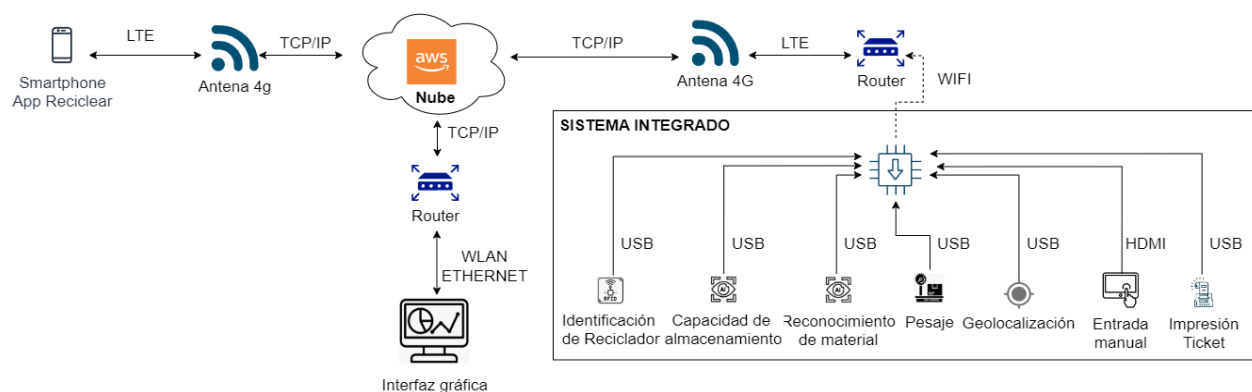
- Integración de sistemas: Se realizaron ajustes y configuraciones necesarias para que el sistema de gestión de residuos se integrara adecuadamente con las plataformas tecnológicas existentes.
- Capacitación en el uso de tecnologías: Se llevaron a cabo sesiones de capacitación para todo el personal involucrado, enfocándose en el uso de nuevas tecnologías y sistemas de información implementados.
- Desarrollo de protocolos de comunicación: Se establecieron protocolos claros y eficientes para la comunicación entre los diferentes actores involucrados en el proceso de recolección y recuperación de residuos.
- Pruebas de interoperabilidad: Se realizaron pruebas exhaustivas para asegurar que todos los componentes del sistema funcionaran de manera integrada.

7.2.1 Modelo de datos

Se definen los componentes, protocolos y variables relevantes que se utilizan en la solución (ver figura 29).

Figura 29

Modelo de datos



7.2.1.1 Componentes

-Smartphone: Dispositivos móviles (Android y IOS) cuentan con la aplicación de Reciclear, tanto para usuarios *Hogar* y *Reciclador*, adicionalmente existe una versión para los usuarios de tipo punto de entrega con la cual pueden sincronizar la ubicación de este. Estos dispositivos se conectan a internet a través de antenas 4G o 5G utilizando el protocolo LTE.

-Interfaz gráfica: Para gestionar la logística, observar trazabilidad, estado de usuarios y otras funcionalidades administrativas se crea una aplicación Web la cual puede ser abierta desde un browser de computador. Estos componentes pueden conectarse a internet a través de WLAN²⁹ o Ethernet³⁰.

-Sistema integrado: Esta pieza conecta varios componentes presentes en los puntos de entrega y cada uno tiene su forma de conectarse, ya sea a través de USB o HDMI. Para transmitir información a internet utiliza una antena WiFi la cual se conecta a un router.

²⁹ WLAN (Wireless Local Area Network) es una red inalámbrica que utiliza ondas de radio para la transmisión de datos entre dispositivos. Ethernet es una red cableada que utiliza cables físicos para la transmisión de datos.

³⁰ Ethernet es un estándar de red de área local (LAN) que define el cableado y los protocolos para la transmisión de datos entre dispositivos dentro de una red local mediante cables físicos.

7.2.1.2 Contratos y variables

Cada componente tiene sus propias variables que se transfieren a través de la nube (en formato JSON³¹), algunas que se comparten en común son: coordenadas de localización en latitud y longitud. identificadores de usuarios en bases de datos, imágenes de material en base 64³², tipo y peso. Esta información se define de acuerdo con contratos entre el front-end ³³(App mobile, web ó Sistema integrador) y back-end ³⁴(nube AWS) lo cual, incluye los códigos de respuesta esperados de cada operación. Existe otro conjunto de datos que navegan a la nube de acuerdo con las funcionalidades:

7.2.1.3 Funcionalidades principales App Mobile

-Registro de usuarios: Permite crear usuarios de tipo “Recolector” u “Hogar” en la base de datos, pero solo con un token especial tipo administrador³⁵ (ver tablas 29, 30).

³¹ JSON (JavaScript Object Notation) es un formato ligero de intercambio de datos que utiliza sintaxis legible para humanos y atributos clave-valor, ampliamente utilizado en APIs web y sistemas de almacenamiento de datos.

³² Base64 es un método de codificación que convierte datos binarios en texto ASCII legible, útil para transferir datos a través de canales que no admiten caracteres especiales.

³³ El front-end se refiere a la parte de un sistema o aplicación que los usuarios interactúan directamente, incluyendo la interfaz de usuario y la experiencia del usuario.

³⁴ El back-end se refiere a la parte de un sistema o aplicación que gestiona la lógica de negocio, la base de datos y la lógica de servidor, invisible para los usuarios finales pero crucial para el funcionamiento de la aplicación.

³⁵ un administrador se refiere a un usuario autorizado que tiene privilegios especiales para gestionar y configurar el sistema, controlar accesos, aplicar actualizaciones y mantener la integridad y seguridad del software y los datos.

Tabla 29*Entradas Registro de usuarios método POST*

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
Authorization	String	Header	Header con token de administrador	Si
user	JSON	Body	Objeto que contiene data del usuario	Si
name	String	User	Nombre completo del usuario	Si
age	Int	User	Edada el usuario	Si
cellPhone	String	User	Número telefónico del dispositivo móvil del usuario	Si
password	String	User	Contraseña del usuario	Si
typeUser	JSON	Body	Objeto que contiene el tipo de usuario	Si
collector	Bool	typeUser	Define si el usuario el tipo recolector	Sí, pero debe ser el único campo en el objeto "typeUser"
requestor	Bool	Body	Define si el usuario el tipo hogar	Sí, pero debe ser el único campo en el objeto "typeUser"
lastLocation	JSON	Body	Objeto que contiene información de la posición actual del usuario	Si

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
longitude	Int	lastLocation	Define la longitud	Si
latitude	Int	lastLocation	Define la latitud	Si

Tabla 30

Resultados de la Funcionalidad (salidas registro de usuarios)

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción
result	JSON	Body	Objeto que contiene el resultado de la funcionalidad
code	String	Result	Código de respuesta del servidor, por defecto “00” para una ejecución exitosa
description	String	Result	Descripción del código de respuesta.

Una respuesta exitosa es retornada con el código HTTP 200. Una respuesta fallida podría retornar con código HTTP 409 cuando exista un conflicto como puede ser utilizar el mismo número de teléfono, 400 cuando se incumpla con los campos requeridos o en su defecto un código de respuesta HTTP 500 para errores internos del servidor como puede ser conexiones a base de datos o proveedores.

-Login: La funcionalidad de login permite autenticar a un usuario de la aplicación a través del número de celular y la contraseña. Si la coincidencia existe en base de datos se retorna un JWT, además de información del usuario y una duración de expiración.

Tabla 31*Entradas Login- método POST*

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
user	String	Body	Número de celular del usuario	Si
password	String	Body	Contraseña del usuario	Si

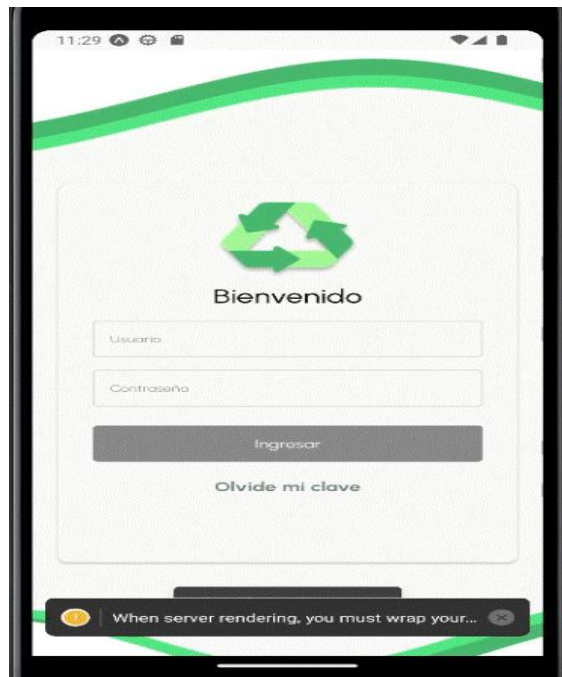
Tabla 32.*Resultados de la Funcionalidad (Salidas Login)*

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción
Token	String	Body	JWT para el usuario
Name	String	Body	Nombre del usuario
Age	Int	Body	Edad del usuario
Cellphone	String	Body	Número celular del usuario
Typeuser	String	Body	Tipo de usuario, puede ser requester o collector
currentStatus	String	Body	Estado actual del usuario
Duration	String	Body	Duración del JWT en minutos, este campo puede viajar vacío indicando que el token dura para siempre.

Una respuesta exitosa es retornada con el código HTTP 200. Una respuesta fallida podría retornar con código HTTP 401 cuando exista un conflicto en la autenticación, 400 cuando se incumpla con los campos requeridos o en su defecto un código de respuesta HTTP 500 para errores internos del servidor como puede ser conexiones a base de datos o proveedores (ver figura 30).

Figura 30

Vista de pantalla en la aplicación Recyclear.



-Crear solicitud (Hogar): El usuario tipo hogar puede crear una solicitud con el botón “Solicitar recogida” siempre y cuando no tenga ninguna activa. Posterior a crear la solicitud podrá ver en pantalla el identificador asignado y la opción de cancelar el servicio con el botón “Cancelar recogida”.

Tabla 33

Entradas crear solicitud- método POST

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
Authorization	String	Header	JWT de auth	Si

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
request	JSON	Body	Objeto que contiene la solicitud	Si
destiny	JSON	Request	Objeto que tiene datos del destino	Si
latitude	String	Destiny	Latitud de la ubicación	Si
longitude	String	Destiny	Longitud de la ubicación	Si

Tabla 34

Resultados de la Funcionalidad (Salidas crear solicitud)

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción
Id	String	Body	Identificador de la solicitud creada
collector	String	Body	Nombre del recolector
creation_date	String	Body	Fecha de creación
collectorLocation	JSON	Body	Objeto que contiene la ubicación del recolector
latitude	String	collectorLocation	Latitud de la ubicación del recolector
longitude	String	collectorLocation	Longitud de la ubicación del recolector
distance	String	Body	distancia en metros respecto a la ubicación del recolector
time	String	Body	Tiempo en minutos respecto a la ubicación del recolector
status	String	Body	Estado de la solicitud

Una respuesta exitosa es retornada con el código HTTP 200. Una respuesta fallida podría retornar con código HTTP 401 cuando exista un conflicto en la autenticación, 400 cuando se incumpla con los campos requeridos, 409 cuando exista un conflicto en la creación de la solicitud o en su defecto un código de respuesta HTTP 500 para errores internos del servidor como puede ser conexiones a base de datos o proveedores (ver figuras 31 y 32).

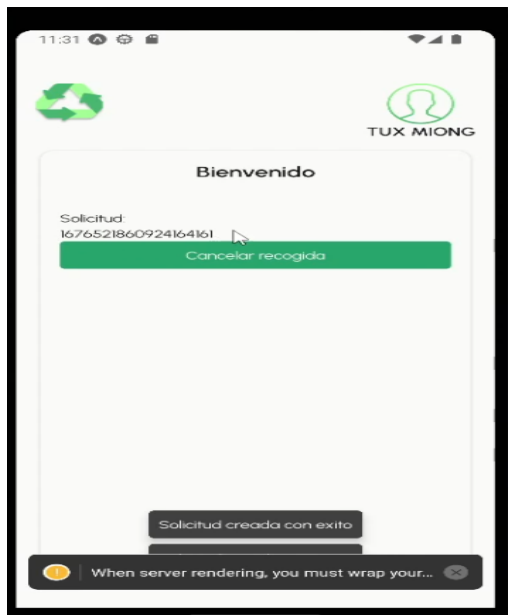
Figura 31

Vista de la aplicación Reciclear antes de crear la solicitud.



Figura 32

Vista de la aplicación Recyclear posterior de crear la solicitud.



-Obtener solicitudes activas y ruta absoluta (recolector): El usuario tipo recolector puede listar las solicitudes activas y también en el mismo llamado al backend retornar la ruta absoluta hacia el o los puntos de recogida. Esta lista se presenta después de conectarse a la aplicación. El usuario puede iterar entre la lista y el mapa con los botones inferiores.

Tabla 35

Entradas obtener solicitudes activas y ruta absoluta-método Get

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción	Requerido
Authorization	String	Header	JWT de auth	Si
latlon	String	query param URL	Contiene la latitud y longitud actual del recolector	Si

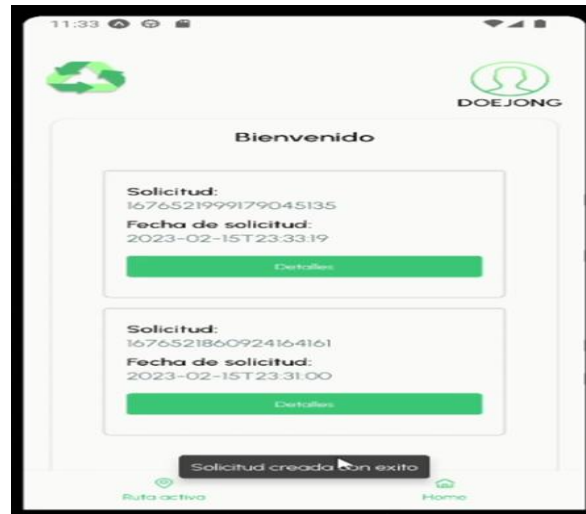
Tabla 36*Resultados de la Funcionalidad (Salidas obtener solicitudes activas y ruta absoluta)*

Nombre	Tipo	Ubicación	Descripción
Routes	JSON	Body	Contiene información de la ruta
distance_meters	String	Routes	Distancia total en metros
duration_minutes	String	Routes	Duración total en minutos
polyline	Array	Routes	Arreglo de latitud y longitud requerida para pintar el mapa
polylineEnc	String	Routes	Ruta encriptada en una polyline
requests	Array	Body	Arreglo con solicitudes activas
Id	String	requests[i]	Identificador de la solicitud
requester	String	requests[i]	Nombre del solicitante
creationDate	String	requests[i]	Fecha de creacion
Destiny	JSON	requests[i]	Objeto con datos de latitud y longitud
distance	String	requests[i]	distancia en metros
Time	String	requests[0]	tiempo en minutos

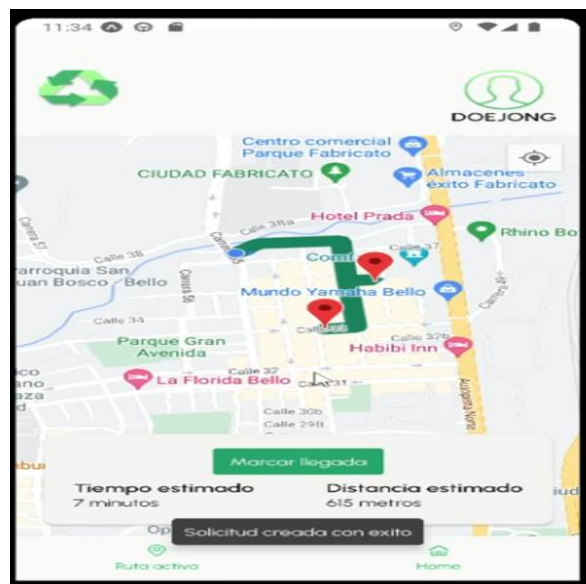
Una respuesta exitosa es retornada con el código HTTP 200. Una respuesta fallida podría retornar con código HTTP 401 cuando exista un conflicto en la autenticación, 400 cuando se incumpla con los campos requeridos, 409 cuando exista un conflicto en la obtención de la ruta y solicitudes activas HTTP 500 para errores internos del servidor como puede ser conexiones a base de datos o proveedores (ver figuras 33 y 34).

Figura 33

Vista de pantalla en la aplicación Recyclear - lista de solicitudes activas

**Figura 34**

Vista de pantalla en la aplicación Recyclear-ruta absoluta



7.2.2 Gestión de datos

En este apartado se presentan la forma como se organizó la gestión de los datos obtenidos en el modelo con el fin de contar con una fuente de información sólida y eficiente.

-Arquitectura General del modelado de datos: ver figura 35.

-Fuente de datos: Los datos son provenientes de la aplicación Mobile, aplicación web y sistema integrador de punto de entrega.

-Ingesta de datos: Los datos son ingestados en tiempo real y colas, cada vez que la fuente de datos transmite, el proceso de ingesta es inmediato al almacenamiento.

-Almacenamiento: Los datos son almacenados en una base de datos.

-Transformación y procesamiento: Los datos son transformados y estructurados en distintos formatos antes de llegar al almacenamiento.

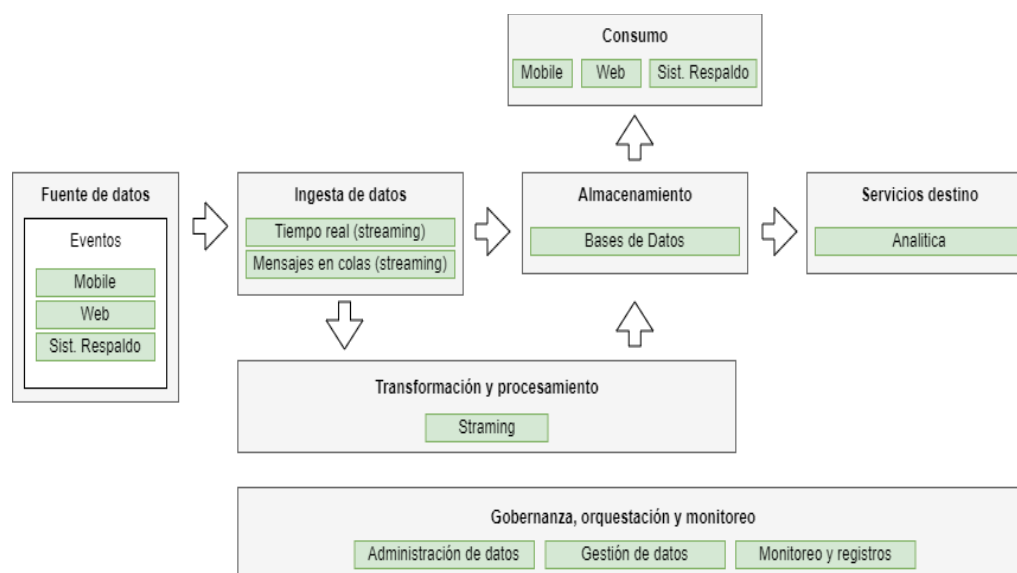
-Consumo: El usuario interesado tiene acceso a los datos de acuerdo con su rol ya sea en la App Mobile, Web (interfaz gráfica) o sistema de respaldo donde podrá visualizar los datos del proceso, así como recibir alertas.

-Servicios destino: Los datos estarán disponibles para los interesados en analítica de datos.

-Gobernanza, orquestación y monitoreo: Se tienen servicios que pueden monitorear los recursos y datos, almacenar logs del proceso y administrar el acceso a los datos.

Figura 35

Manejo de datos.



7.2.3 Validación del modelo del modelo de proceso

La validación del modelo de proceso constituye una etapa crucial para asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos en la tesis y la viabilidad del modelo en la práctica. En este sentido, se implementaron diferentes estrategias de validación para cada sistema como se describe a continuación. Aplicación “Recyclear” (*primer sistema*), esta aplicación relaciona al usuario con el reciclador permitiendo gestionar solicitudes de recolección y optimizar la interacción en tiempo real y se validó mediante un piloto. El *segundo sistema*, encargado de la asignación de puntos de entrega integrando la microrruta del reciclador con la macrorruta del vehículo motorizado para el caso de la cooperativa RECIMED, el cual también fue validado mediante un piloto. Por último, el sistema de reconocimiento de material, pesaje y capacidad de almacenamiento del vehículo (*tercer sistema*) validado en un ambiente de pruebas controlado, proporcionando datos precisos para la optimización de cargas y operaciones. Estas validaciones permitieron evaluar el rendimiento y la eficiencia del modelo, identificar problemas y áreas de mejora para su posterior despliegue.

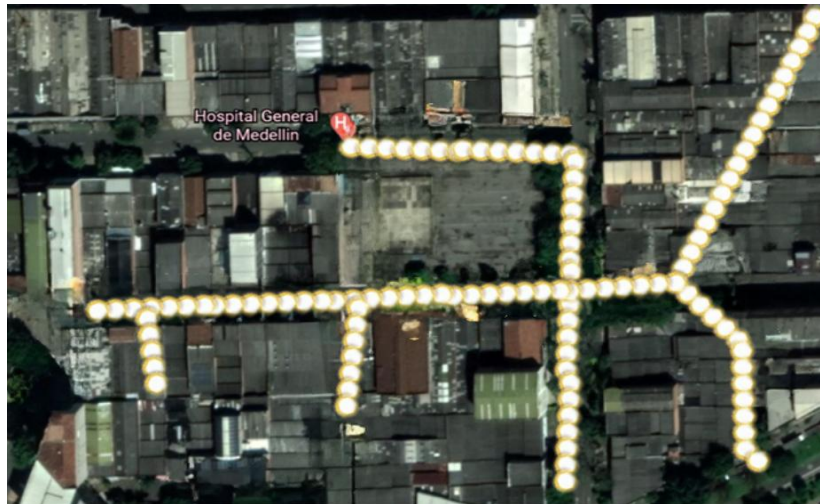
7.2.3.1 Pruebas piloto. La validación del modelo incluyó la ejecución de pilotos cuidadosamente diseñados con un grupo focal previamente seleccionado de seis recicladores y el conductor del vehículo de RECIMED. Durante un periodo de cuatro semanas, se realizó un seguimiento para registrar un total de 17 rutas (14 de recicladores y 3 del conductor). Dentro de este grupo, se seleccionaron dos recicladores (denominados reciclador 1 y reciclador 2) para validar el modelo debido a su cercanía y reconocimiento en los sectores seleccionados por la cooperativa RECIMED, así como su facilidad para adaptarse al uso de tecnologías como celulares inteligentes, gracias a programas previos de alfabetización digital.

El reciclador 1 trabajó en la comuna 15 (Guayabal), específicamente en los barrios Tenche y Trinidad, caracterizados por ser una zona industrial. En este sector no se lograron establecer puntos fijos debido a la incertidumbre en la generación de RSU; sin embargo, se contó con 22 usuarios que solicitaron el servicio de recolección a través de la aplicación "Recyclear". Por su parte, el reciclador 2 operó en la comuna 10 (Candelaria), en el barrio Colón, una zona comercial. En este caso, se establecieron 7 puntos fijos de recolección de RSU, en conjunto con la comunidad, la representación legal de RECIMED y su gerencia general. Los puntos fijos se ubicaron en 2 notarías, 2 clínica, 3 centros comerciales, permitieron centralizar el material, garantizar la calidad y continuidad del servicio para los usuarios, y optimizar el flujo de trabajo del reciclador, reduciendo sus desplazamientos y tiempo laboral. Estas estrategias de validación permitieron evaluar la operatividad del modelo y su impacto en la eficiencia de las actividades de recuperación de RSU como se describe en las siguientes secciones.

7.2.3.1.2 Medición reciclador 1, ruta optimizada. La ruta optimizada muestra una reducción significativa en la duración del recorrido y la distancia recorrida. La duración del recorrido es de 4 horas, con una distancia recorrida de 3.8 kilómetros y con una cantidad de 129 kilogramos de residuos recolectados. Aunque recolecta una menor cantidad de residuos en términos absolutos, la eficiencia en términos de cantidad de residuos recolectados por kilómetro y por hora muestra mejoras considerables (ver figura 37).

Figura 37

Modelo de datos Medición recuperadora 1. Ruta optimizada



7.2.3.1.3 Medición reciclador 2, ruta no optimizada. En esta ruta la duración del recorrido es 6 horas, con una distancia recorrida de 6.7 kilómetros y con una recolección de 71 kilogramos de residuos. Esta ruta presenta una alta duración del recorrido y una distancia significativa, con una cantidad moderada de residuos recolectados. Esto indica una baja eficiencia en la recolección de residuos por unidad de tiempo y distancia (ver figura 38).

Figura 38

Modelo de datos Medición recuperadora 2. Ruta no optimizada



7.2.3.1.4 Medición reciclador 2, ruta optimizada. La ruta optimizada muestra una mejora notable en la eficiencia del recorrido y en la cantidad de residuos recolectados por unidad de tiempo y distancia. Esto debido a que la duración del recorrido es de 3.5 horas, con una distancia recorrida de 2.7 kilómetros y con una recolección de 82 kilogramos de residuos durante todo el recorrido de la ruta optimizada (ver figura 39).

Figura 39

Modelo de datos Medición recuperadora 2. Ruta optimizada



7.2.3.2 Comparación y beneficios de la optimización del recorrido

7.2.3.2.1 Mejoras en el recorrido.

- **Eficiencia:** La eficiencia en términos de cantidad de residuos recolectados por hora ha mejorado significativamente. En la ruta no optimizada se recolectaron aproximadamente 16 kilogramos por hora, mientras que en la ruta optimizada se recolectaron aproximadamente 23.4 kilogramos por hora. En términos de residuos recolectados por kilómetro, en la ruta no optimizada se recolectaron aproximadamente 15.5 kilogramos por kilómetro, mientras que en la ruta optimizada se recolectaron aproximadamente 30.4 kilogramos por kilómetro.

-**Reducción del esfuerzo físico:** La reducción en la duración del recorrido y la distancia recorrida disminuye el esfuerzo físico requerido por los recicladores, mejorando sus condiciones laborales.

Ahorro de energía y recursos: Menor tiempo y distancia recorrida se traducen en un menor consumo de energía y recursos, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso.

-**Mayor productividad:** Los recicladores pueden completar más ciclos de recolección en el mismo período, aumentando la productividad general del sistema.

Reducción de la huella de carbono: La menor distancia recorrida contribuye a la reducción de emisiones de carbono, apoyando los objetivos de sostenibilidad ambiental.

7.2.3.3 Monitoreo y evaluación. Se utilizaron indicadores clave de rendimiento (KPI) para monitorear la eficacia del modelo. Los KPI seleccionados incluyeron la cantidad de residuos recolectados, la eficiencia del reciclaje, la reducción de costos operativos y la satisfacción de los recicladores. El monitoreo constante permitió realizar ajustes en tiempo real y optimizar el funcionamiento del sistema. Este monitoreo reveló mejoras significativas en la cantidad y calidad de los residuos recolectados, así como una mayor satisfacción entre los recicladores debido a la reducción de desplazamientos innecesarios.

-Retroalimentación y ajustes: Se recogió la retroalimentación de los recicladores y otros actores involucrados para identificar áreas de mejora. Basándose en esta retroalimentación, se realizaron ajustes necesarios en el modelo, lo que permitió una adaptación más precisa a las necesidades y condiciones del entorno operativo. Por ejemplo, los recicladores proporcionaron información valiosa sobre la usabilidad de la aplicación móvil y la efectividad de las nuevas rutas optimizadas.

-Documentación y reporte: Todo el proceso de validación fue documentado, incluyendo resultados, lecciones aprendidas y recomendaciones para la expansión del modelo a otras áreas. Se elaboraron reportes detallados que reflejaron los hallazgos y proporcionaron una base sólida para futuras implementaciones.

-Análisis de la mejora en el proceso de gestión de RSU: El análisis comparativo entre el proceso actual de gestión de RSU y el proceso mejorado muestra claramente las mejoras introducidas y los beneficios obtenidos con la implementación del nuevo modelo.

-Proceso actual de gestión de RSU: En el proceso actual de gestión de RSU, el reciclador selecciona su ruta y comienza el recorrido sin optimización específica. La recolección de material se evalúa en cada punto de recolección manualmente, lo cual implica altos tiempos de

desplazamiento y posibles duplicaciones de esfuerzo. Todo el material recolectado se lleva a la Estación de Clasificación y Almacenamiento (ECA) para su clasificación y posterior venta. El pesaje y registro del material son manuales, lo que puede llevar a errores y falta de datos precisos. Finalmente, se emite una factura por la venta del material reciclado.

7.2.3.4 Beneficios del modelo propuesto. La optimización de rutas y la reducción de desplazamientos aumentan la eficiencia operativa. La capacidad de los usuarios para solicitar servicios directamente y la asignación automática de recicladores mejoran la calidad y puntualidad del servicio. La incorporación de tecnologías modernas facilita la gestión y seguimiento del proceso, reduciendo errores y aumentando la transparencia. La reducción de desplazamientos no solo mejora la eficiencia, sino que también contribuye a la sostenibilidad al disminuir la huella de carbono. Además, la comunicación fluida entre usuarios, recicladores y agremiaciones asegura una mejor coordinación y colaboración.

Finalmente, la implementación del modelo propuesto para la mejora de la eficiencia del reciclador en la gestión de residuos sólidos urbanos demostró ser efectiva y beneficiosa. La integración de tecnologías avanzadas, la optimización de rutas y la mejora en la gestión de datos contribuyeron a una mayor eficiencia operativa, satisfacción de los recicladores y sostenibilidad ambiental.

Capítulo VIII. Resultados Fase de formalización y difusión

La presente tesis abordó el desarrollo e implementación de un modelo para mejorar la eficiencia del reciclador en la gestión de RSU en centros urbanos. A través de una serie de estudios y experimentaciones, se logró integrar tecnologías avanzadas y metodologías para optimizar el proceso de recolección, reconocimiento y registro de residuos. En este capítulo se presentan los activos obtenidos del proceso investigativo y las políticas de uso diseñadas para el modelo propuesto.

8.1 Identificación de activos

8.1.1 Activos intangibles

El modelo propuesto tuvo un impacto significativo en varias dimensiones clave del proceso de gestión de RSU:

Eficiencia operativa

- La optimización de rutas resultó en una disminución del 63% en el tiempo de recolección y del 72% en la distancia recorrida, lo que se tradujo en una mayor eficiencia operativa y una reducción de costos.
- La automatización del registro de datos y la utilización de tecnologías avanzadas permitieron una gestión más precisa y controlada de los residuos.
- Beneficios para los Recicladores:
- La reducción del esfuerzo físico y la mejora en la organización del trabajo aumentaron la satisfacción y el bienestar de los recicladores.

- La capacitación continua y la adopción de nuevas tecnologías mejoraron las competencias de los recicladores, preparándolos para enfrentar desafíos futuros y adaptarse a nuevas metodologías.

Sostenibilidad ambiental

- La disminución en la distancia recorrida y el tiempo empleado en la recolección de residuos contribuyeron a una menor emisión de gases contaminantes, promoviendo una gestión de residuos más sostenible.
- El modelo fomentó prácticas responsables y sostenibles en la gestión de RSU, alineándose con los objetivos globales de reducción de la huella de carbono y protección del medio ambiente.

Mejora en la calidad del servicio

- La implementación de una aplicación móvil para la interacción entre usuarios y recicladores mejoró la comunicación y coordinación, resultando en un servicio más eficiente y satisfactorio.
- La evaluación y retroalimentación constante permitieron ajustes continuos en el modelo, asegurando una mejora continua en la calidad del servicio.

8.1.2 Producción científica derivada de la Tesis

La tesis ha generado varios productos de generación de conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, así como de apropiación social del conocimiento. Estos productos dan cuenta del impacto del trabajo realizado en el ámbito académico y profesional, contribuyendo significativamente al avance de la investigación y la práctica en la gestión de residuos sólidos urbanos.

8.1.2.1 Productos de generación de nuevo conocimiento. La investigación ha dado lugar a la publicación de varios artículos científicos en revistas indexadas, la elaboración de libros y capítulos de libros, así como la producción de documentos de trabajo que han contribuido a la difusión del conocimiento y la promoción de nuevas prácticas en el campo de la gestión de residuos (ver tabla 37).

Tabla 37

Productos de generación nuevo conocimiento

Tipo	Titulo
Artículo tipo Q1	<p>Gallego, C. J., David, J. C., Gomez-Miranda, I. N., & Jaén, S. (2023). Quantitative Analysis of Colombian Waste Picker's Profile. <i>Sustainability</i>, 15(12), 9397. https://doi.org/10.3390/su15129397</p>
Artículo tipo Q3	<p>Alcaraz-Londoño, L. M., Ortiz-Clavijo, L. F., Duque, C. J. G., & Betancur, S. A. G. (2022). Review on techniques of automatic solid waste separation in domestic applications. <i>Bulletin of Electrical Engineering and Informatics</i>, 11(1), 128-133. https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.3448</p>
Artículo tipo Q3	<p>David, J. C., Ortiz-Clavijo, L. F., Gutiérrez, S. A., & Gállego, C. J. (2022). Robotics in solid waste handling: From science fiction to reality. <i>IEEE Potentials</i>, 41(3), 25-28. https://doi.org/10.1109/MPOT.2022.3150268</p>
Working paper	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="479 1396 1481 1564">1. Mora, V. V., Echeverri, G. I., & Gallego, C. J. (2020). Avances tecnológicos para la mejora del Reciclaje. Disponible en: https://alianzaefi.com/documento/avances-tecnologicos-para-la-mejora-del-reciclaje/ <li data-bbox="479 1585 1481 1732">2. Gallego D, C. J., Alcaraz L, L. M., Rojas, S. S., & Ortiz-Clavijo, L. F. (2022). Gestión de residuos: panorama mundial (WP-01-112022; Working Paper Series Grupo INGECO de UNAULA). https://doi.org/10.5281/zenodo.7336309 <li data-bbox="479 1753 1481 1873">3. Gallego, C. J., Colmenares, J. G., Gutiérrez, L. H., Ortiz, A. F., Rincón, J. M., Rodríguez-Lesmes, P., & Vivanco, J. (2020). Medición de capacidades empresariales e inclusión productiva en el sector del reciclaje en Colombia.

	Disponible en: https://alianzaefi.com/documento/medicion-de-capacidades-empresariales-e-inclusion-productiva-en-el-sector-del-reciclaje-en-colombia/
Libro resultado de investigación	Ortiz Zamora, A. F., Gallego Duque, C. J. , Gómez Colmenares, J. A., Mora Blandón, V. V., Rodríguez, M. A., Ruiz, E. L., ... & Gutiérrez Betancur, S. A. (2022). Reciclaje inclusivo: hacia una economía circular en Colombia. https://doi.org/10.12804/urosario9789587849653
Capítulos de libro resultado de investigación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zamora, A. F. O., Duque, C. J. G., Colmenares, J. A. G., Blandón, V. V. M., & Betancur, S. A. G. (2022). Capítulo 1. Economía circular. In Reciclaje inclusivo: hacia una economía circular en Colombia (p. 1). Universidad del Rosario. https://doi.org/10.12804/urosario9789587849653 2. Rodríguez, M. A., Alarcon, J. M. R., Azuero, B. A. G., Correa, L. F. V., Blandón, V. V. M., Betancur, S. A. G., & Duque, C. J. G. (2022). Capítulo 3.¿ Qué ha pasado en Colombia?. In Reciclaje inclusivo: hacia una economía circular en Colombia (p. 3). Universidad del Rosario. https://doi.org/10.12804/urosario9789587849653 3. Blandón, V. V. M., Betancur, S. A. G., & Duque, C. J. G. (2022). Capítulo 5. Avances tecnológicos para la mejora del reciclaje. In Reciclaje inclusivo: hacia una economía circular en Colombia (p. 5). Universidad del Rosario. https://doi.org/10.12804/urosario9789587849653

8.1.2.2 Productos de Desarrollo Tecnológico e Innovación. Los productos derivados de la tesis también incluyen solicitudes de patentes, diseños industriales y consultorías científico-tecnológicas, destacando la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos y su contribución al avance tecnológico en el sector de la gestión de residuos (ver tabla 38).

Tabla 38

Productos de desarrollo tecnológico e innovación

Tipo	Título	Descripción
Solicitud de patente	Sistema para la gestión de residuos sólidos	Patente de Invención Nacional NC2022/0018051
Diseño industrial	Porta embebidos	Resolución N° 44752 Ref. Expediente N° NC2022/0016993
Diseño industrial	Carcasa porta embebidos	Resolución N° 44751 Ref. Expediente N° NC2022/0016995
Consultoría científico-tecnológica	Diseño y despliegue de plataforma tecnológica para el proyecto Siembra Sostenible orientado a la gestión de residuos en unidades residenciales	Consultoría aplicada a la Fundación Conexión Artística NIT 900887783-1
Consultoría científico-tecnológica	Diseño y despliegue de plataforma tecnológica como sistema de gestión de contenido	Consultoría aplicada a la Asociación de Recicladores de Cajicá
Consultoría científico-tecnológica	Microlearning Adaptativo Basado en Herramientas Pedagógicas Modulares para la Aceleración de la Asociación de Reciclaje	Consultoría aplicada a la Cooperativa multiactiva de recicladores de Medellín – RECIMED
Consultoría científico-tecnológica	Aplicación Comunicativa Y Tecnológica De Integración Dinámica entre Web y Plataforma conforme al Decreto 596 para la aceleración de la Asociación de Reciclaje	Consultoría aplicada a la empresa Compromiso empresarial para el reciclaje – CEMPRE
Registro software	Software: W-Picker V1.0	Libro - Tomo - Partida Fecha Registro 13-98-274 30-abr.-2024

8.1.2.3 Productos de apropiación social del conocimiento. El impacto de la investigación también se extendió a la apropiación social del conocimiento, mediante la participación en eventos científicos y académicos, promoviendo la difusión y aplicación de los resultados de la investigación en la comunidad y el sector industrial (ver tabla 39).

Tabla 39

Productos de apropiación social del conocimiento

Tipo de producto	Nombre evento	Descripción
Alan		
Evento Científico	I congreso internacional y VIII Simposio nacional de formación con calidad y pertinencia 2023	Ponencia. Aspectos restrictivos en el proceso de separación de residuos sólidos y su impacto en el aprovechamiento.
Evento Científico	I encuentro internacional y académicos sobre negocios verdes 2023	Ponencia. Soluciones tecnológicas industriales para la consolidación de negocios verdes.
Evento Científico	Cumbre Alianza EFI	Divulgación de resultados.

8.1.4.4 Formación de capital humano. Otro de los activos de la investigación realizada fue lo correspondiente a la importancia del capital humano para que el modelo diseñado pueda favorecer a la eficiencia del rol del reciclador en el proceso de aprovechamiento de los RSU, a continuación, se presenta los productos diseñados para la formación del talento humano (ver tabla 40).

Tabla 40

Productos para la formación del talento humano

Tipo de producto	Nombre evento	Descripción
Evento Científico	I congreso internacional y VIII Simposio nacional de formación con calidad y pertinencia 2023	Ponencia. Aspectos restrictivos en el proceso de separación de residuos sólidos y su impacto en el aprovechamiento.
Evento Científico	I encuentro internacional y académicos sobre negocios verdes 2023	Ponencia. Soluciones tecnológicas industriales para la consolidación de negocios verdes.
Evento Científico	Cumbre Alianza EFI	Divulgación de resultados.

8.2 Políticas de uso del modelo de proceso de logística inversa propuesto

En el contexto actual de gestión de residuos sólidos urbanos en Colombia, la necesidad de un enfoque sistemático y eficiente para la recuperación y manejo de residuos es más urgente que nunca. La propuesta del modelo de proceso de logística inversa tiene como objetivo principal optimizar el rol del reciclador en la recuperación de residuos en los centros más poblados del

país, promoviendo la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental, para garantizar el éxito de esta propuesta y asegurar que el modelo sea implementado de manera efectiva, es fundamental establecer políticas claras y bien definidas.

Estas políticas están diseñadas para abordar las diversas dimensiones del modelo, desde la integración de tecnología y la optimización de rutas hasta la capacitación de recicladores y la implementación de prácticas sostenibles, mediante un enfoque integral, estas directrices buscan mejorar la eficiencia y la efectividad del proceso de recolección de residuos, así como también promover un entorno de trabajo más equitativo y responsable, que responda a las necesidades del entorno urbano colombiano.

A continuación, se presentan las políticas propuestas para la implementación del modelo de proceso de logística inversa, que servirán como marco para guiar la ejecución y adaptación del modelo en los diversos contextos y escenarios de gestión de residuos urbanos, las cuales están orientadas a asegurar que el modelo cumpla con los objetivos propuestos, y se adapte, desarrollándose de acuerdo con las necesidades y desafíos emergentes en el ámbito de la gestión de residuos.

8.2.1 La política de optimización de rutas y recursos

La política de optimización de rutas y recursos está orientada en mejorar la eficiencia en la recolección de residuos sólidos al reducir los tiempos de traslado y el consumo de recursos, utilizando tecnologías avanzadas y metodologías eficientes, centrada en la integración de herramientas tecnológicas y metodológicas que permitan una planificación precisa y una ejecución optimizada de las rutas de recolección. El uso efectivo de estas tecnologías no solo

incrementará la eficiencia operativa, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental al reducir las emisiones de carbono y el impacto energético de las operaciones de recolección.

El objetivo de esta política es lograr una recolección de residuos más eficiente, mediante la optimización de las rutas y el uso adecuado de los recursos, con el fin de maximizar la capacidad operativa y minimizar el impacto ambiental asociado con la recolección de residuos

8.2.1.1 Acciones clave

8.2.1.1.1 Utilización de sistemas de planificación de rutas basados en tecnologías de geolocalización y análisis de datos

-Implementación de Software Avanzado: Adoptar sistemas de planificación de rutas que utilicen tecnologías de geolocalización y análisis de datos para optimizar las rutas de recolección, que deben integrar información en tiempo real sobre el tráfico, las condiciones meteorológicas y la densidad de residuos para ajustar las rutas de manera dinámica.

-Análisis Predictivo: Aplicar técnicas de análisis predictivo para anticipar las variaciones en la cantidad de residuos y ajustar las rutas en consecuencia, que permitirá una mejor planificación y una respuesta más ágil a las fluctuaciones en la generación de residuos.

-Optimización continua: Establecer mecanismos para la revisión y actualización continua de las rutas de recolección, basados en el análisis de datos históricos y en tiempo real, asegurando que las rutas permanezcan optimizadas a medida que cambian las condiciones y las necesidades de recolección.

8.2.1.1.2 Implementación de herramientas de monitoreo en tiempo real para ajustar rutas y mejorar la eficiencia operativa

-Sistemas de monitoreo y control: Instalar herramientas de monitoreo en tiempo real, como sensores y sistemas GPS, en los vehículos de recolección para obtener datos precisos sobre el desempeño de las rutas y las condiciones de operación y permitirán realizar ajustes inmediatos y mejorar la eficiencia operativa.

-Alertas y notificaciones: Configurar alertas y notificaciones automáticas para informar a los operadores sobre desviaciones en el rendimiento de las rutas, problemas operativos o cambios en las condiciones del entorno, que facilitará una respuesta rápida y efectiva a cualquier incidencia.

-Evaluación de desempeño: Implementar un sistema de evaluación de desempeño que permita medir la efectividad de las rutas optimizadas y el impacto en el consumo de recursos y tiempos de traslado. Estos indicadores clave de rendimiento (KPI) ayudarán a identificar áreas de mejora y a ajustar las políticas según sea necesario.

8.2.1.1.3 Capacitación de los recicladores en el uso de tecnologías de optimización de rutas

-Programa de capacitación: Desarrollar un programa integral de capacitación para los recicladores que incluya formación en el uso de tecnologías de optimización de rutas, como aplicaciones móviles y sistemas de navegación avanzados con un enfoque en cómo utilizar estas herramientas para mejorar la eficiencia y la efectividad en la recolección de residuos.

-Soporte técnico: Proporcionar soporte técnico continuo a los recicladores para resolver problemas relacionados con las tecnologías de optimización de rutas y asegurar un uso adecuado de las herramientas implementadas.

-Actualización de conocimientos: Ofrecer actualizaciones periódicas sobre nuevas tecnologías y metodologías de optimización de rutas para mantener a los recicladores al día con las últimas innovaciones y mejores prácticas en la recolección de residuos.

8.2.1.2 Implementación y monitoreo. Para asegurar el éxito de esta política, es fundamental establecer un plan de implementación detallado que incluya la asignación de recursos, la programación de acciones y la definición de responsables, así como también, se debe implementar un sistema de monitoreo y evaluación para medir los resultados de las acciones implementadas y realizar ajustes según sea necesario. La colaboración entre las autoridades locales, los gestores de residuos y los recicladores será clave para la ejecución efectiva de esta política, asegurando una recolección de residuos más eficiente y sostenible.

8.2.2 Política de integración de tecnología y datos

La Política de Integración de Tecnología y Datos busca establecer un marco sólido para la incorporación de tecnologías digitales y sistemas de gestión de datos en el modelo de logística inversa propuesto. Este enfoque tiene como objetivo principal facilitar la recolección, análisis y utilización de datos para mejorar la eficiencia y efectividad del proceso de recuperación de residuos, mediante la integración tecnológica permitirá una gestión más ágil y precisa, optimizando la coordinación entre los distintos actores involucrados y garantizando una toma de decisiones informada y basada en datos.

El objetivo de esta política es potenciar la eficiencia del proceso de recuperación de residuos mediante la implementación de tecnologías digitales avanzadas y la integración de sistemas de gestión de datos. Esto se traduce en una mejora en la precisión de la recolección, el seguimiento en tiempo real y la optimización general del modelo de logística inversa.

8.2.2.1 Acciones Clave

8.2.2.1.1 Implementar plataformas digitales para la gestión de datos y el seguimiento de actividades

-Desarrollo e implementación de sistemas de gestión de datos: Crear e implementar plataformas digitales que centralicen la recolección y el análisis de datos relacionados con la gestión de , las cuales deben ser capaces de integrar datos de diferentes fuentes, como sensores en vehículos de recolección y sistemas de seguimiento de residuos, para proporcionar una visión integral del proceso.

-Monitoreo en tiempo real: Utilizar tecnologías de monitoreo en tiempo real para registrar y analizar datos operativos, como la cantidad de residuos recolectados, el tiempo de recolección y el rendimiento de los vehículos, que permitirá una gestión más eficiente y la identificación inmediata de áreas que requieren atención.

-Visualización de datos: Implementar herramientas de visualización de datos que faciliten el análisis y la interpretación de la información recolectada, con interfaces gráficas intuitivas permitirán a los gestores y recicladores comprender rápidamente los datos y tomar decisiones informadas.

8.2.2.1.2 Desarrollar aplicaciones móviles específicas para la comunicación y coordinación entre recicladores y centros de acopio

-Aplicaciones de coordinación: Desarrollar aplicaciones móviles que permitan una comunicación efectiva y en tiempo real entre recicladores y centros de acopio, que deben incluir funciones para el envío de datos sobre la cantidad de residuos, la ubicación de los recicladores y la programación de rutas de recolección.

-Interfaz de usuario amigable: Asegurar que las aplicaciones sean intuitivas y de fácil uso para los recicladores, facilitando su adopción y uso diario, que incluya una capacitación en el uso de estas aplicaciones debe ser parte integral del programa de formación para recicladores.

-Notificaciones y alertas: Integrar sistemas de notificación y alerta en las aplicaciones móviles para informar a los recicladores y centros de acopio sobre cambios en la programación, problemas operativos o necesidades específicas, que mejorará la coordinación y la eficiencia en la gestión de residuos.

8.2.2.1.3 Asegurar la interoperabilidad de los sistemas tecnológicos utilizados en el modelo.

-Estándares de interoperabilidad: Establecer estándares y protocolos para la interoperabilidad entre los diferentes sistemas tecnológicos utilizados en el modelo de logística inversa, incluyendo garantizar que los sistemas de gestión de datos, las plataformas digitales y las aplicaciones móviles puedan comunicarse y compartir información de manera efectiva.

-Integración de sistemas: Implementar soluciones tecnológicas que permitan la integración fluida de sistemas existentes y nuevos, con capacidad para intercambiar datos sin fricciones es fundamental para la eficiencia del proceso y la precisión en la gestión de residuos.

-Evaluación y actualización: Realizar evaluaciones periódicas de los sistemas tecnológicos para identificar posibles problemas de interoperabilidad y realizar actualizaciones necesarias, asegurando que el modelo de logística inversa se mantenga eficiente y actualizado con las últimas tecnologías.

8.2.2.2 Implementación y monitoreo. Para llevar a cabo esta política, es esencial desarrollar un plan detallado de implementación que incluya la asignación de recursos, el cronograma de acciones y la identificación de responsables y que debe establecer un sistema de monitoreo para evaluar la efectividad de la integración tecnológica y la gestión de datos, realizando ajustes basados en los resultados obtenidos.

La colaboración entre los desarrolladores de tecnología, los gestores de residuos y los recicladores será fundamental para el éxito de esta política, asegurando que todos los actores involucrados estén alineados y capacitados en el uso de las nuevas herramientas tecnológicas facilitará una transición fluida y mejorará la eficiencia general del modelo de logística inversa. La evaluación continua y la retroalimentación de los usuarios serán clave para perfeccionar la integración tecnológica y maximizar los beneficios del modelo.

8.2.3 Política de capacitación y desarrollo profesional

La Política de Capacitación y Desarrollo Profesional tiene como propósito fundamental establecer un programa integral de formación para recicladores y personal asociado al modelo de logística inversa, que busca garantizar que todos los involucrados estén adecuadamente capacitados en el uso de nuevas tecnologías y técnicas de recolección, mejorando así la eficiencia y efectividad del proceso de recuperación de residuos, proporcionando una formación continua y

actualizada, se optimizan los recursos y se asegura una mayor adaptación a los cambios y avances en el sector.

El objetivo de esta política es asegurar que recicladores y personal asociado al modelo de logística inversa reciban una formación exhaustiva en las nuevas tecnologías y procesos, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia y efectividad del modelo de gestión de residuos. Esta capacitación pretende fortalecer las competencias técnicas y operativas, facilitando una ejecución más eficiente del modelo propuesto.

8.2.3.1 Acciones clave

8.2.3.1.1 Desarrollar módulos de formación

-Contenidos técnicos: Crear módulos de formación que cubran el uso de tecnologías avanzadas en la recolección de residuos, incluyendo sistemas de geolocalización, aplicaciones móviles, y plataformas digitales para la gestión de datos, los cuales deben estar diseñados para cubrir desde lo básico hasta aspectos avanzados, adaptándose a las necesidades específicas de los recicladores y del personal.

-Técnicas de recolección: Incluir en los módulos técnicas de recolección eficientes y prácticas para la optimización de rutas, asegurando que la formación aborde también aspectos relacionados con la seguridad y el manejo adecuado de los equipos y materiales.

8.2.3.1.2 Organizar talleres y cursos de actualización periódicos

-Capacitación continua: Implementar un programa de talleres y cursos periódicos para mantener al personal actualizado sobre nuevas tecnologías, metodologías y cambios en el modelo de

logística inversa y que deben estar diseñados para proporcionar formación continua y adaptarse a las necesidades emergentes del sector.

-Evaluaciones de desempeño: Realizar evaluaciones periódicas de los conocimientos adquiridos durante la capacitación para asegurar que los recicladores y el personal estén aplicando correctamente las nuevas técnicas y tecnologías en el campo.

8.2.3.1.3 Evaluar el impacto de la capacitación

-Indicadores de Eficiencia: Establecer indicadores para medir el impacto de la capacitación en la eficiencia del proceso de recolección de residuos, estos indicadores deben evaluar tanto la mejora en la eficiencia operativa como la satisfacción del personal con la formación recibida.

-Retroalimentación y ajustes: Recoger retroalimentación de los participantes para identificar áreas de mejora en el programa de capacitación y realizar ajustes necesarios para optimizar la formación y su impacto en el proceso.

8.2.4 Política de incentivos y reconocimiento

La política de incentivos y reconocimiento se centra en la creación e implementación de un sistema que motive y recompense a los recicladores y otros actores involucrados en el proceso de logística inversa, con el propósito es fomentar el compromiso, la motivación y la mejora continua al reconocer y premiar las contribuciones individuales y colectivas al éxito del modelo.

El objetivo de esta política es incrementar el compromiso y la motivación de los recicladores mediante la implementación de un sistema de incentivos que reconozca su desempeño y logros.

8.2.4.1 Acciones clave

8.2.4.1.1 Establecer un programa de incentivos basado en el rendimiento

-Criterios de evaluación: Definir criterios claros y justos para la evaluación del rendimiento de los recicladores, que deben incluir indicadores de eficiencia, calidad del trabajo y cumplimiento de objetivos establecidos.

-Recompensas tangibles: Implementar un sistema de recompensas que incluya bonificaciones, premios y otros incentivos tangibles que reconozcan el buen desempeño y los logros alcanzados.

8.2.4.1.2 Reconocer públicamente los logros

-Eventos de reconocimiento: Organizar eventos de reconocimiento para celebrar los logros de los recicladores y destacar sus contribuciones al éxito del modelo, lo cual también pueden servir para compartir buenas prácticas y fomentar el espíritu de equipo.

-Comunicación de logros: Utilizar canales de comunicación internos y externos para dar visibilidad a los logros y mejoras alcanzadas por los recicladores, reforzando su valor y motivación.

8.2.4.1.2 Crear mecanismos de retroalimentación para ajustar el sistema de incentivos

-Encuestas y feedback: Implementar mecanismos para recoger retroalimentación de los recicladores sobre el sistema de incentivos, que permitirán identificar áreas de mejora y ajustar el sistema según las necesidades y expectativas de los participantes.

-Revisión y ajuste: Realizar revisiones periódicas del sistema de incentivos para asegurar que continúe siendo relevante y efectivo en la motivación y recompensas, adaptándose a cambios en el entorno y en el desempeño del personal.

8.2.5 Política de sostenibilidad y responsabilidad social

La Política de sostenibilidad y responsabilidad social se enfoca en integrar prácticas sostenibles y de responsabilidad social en el modelo de logística inversa. Su propósito es asegurar que la implementación del modelo no solo contribuya a la eficiencia operativa, sino también a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las comunidades locales.

El objetivo de esta política es garantizar que el modelo de logística inversa sea sostenible y socialmente responsable, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo el bienestar de las comunidades. La política busca alinear el modelo con prácticas que beneficien tanto al entorno como a la sociedad.

8.2.5.1 Acciones clave

8.2.5.1.1 Implementar prácticas de reducción de la huella de carbono y mejora de condiciones laborales

-Eficiencia energética: Adoptar prácticas que reduzcan la huella de carbono, como la optimización de rutas para minimizar el consumo de combustible y la incorporación de vehículos eléctricos o híbridos en la flota de recolección.

-Mejora de condiciones laborales: Asegurar condiciones laborales justas y seguras para los recicladores, proporcionando equipo adecuado y formación en salud y seguridad en el trabajo.

8.2.5.1.2 Promover Iniciativas que Beneficien a las Comunidades Locales

-Programas de educación ambiental: Desarrollar e implementar programas de educación ambiental en las comunidades locales para sensibilizar sobre la importancia del reciclaje y la gestión de residuos.

-Proyectos comunitarios: Apoyar iniciativas comunitarias relacionadas con la gestión de residuos, como jardines comunitarios o proyectos de reciclaje que beneficien a los residentes locales.

8.2.5.1.3 Realizar Auditorías y Evaluaciones Periódicas

-Auditorías de sostenibilidad: Realizar auditorías periódicas para evaluar el cumplimiento de los estándares de sostenibilidad y responsabilidad social, que deben identificar áreas de mejora y asegurar que el modelo se alinee con los objetivos ambientales y sociales.

-Evaluación de impacto social: Evaluar el impacto de las prácticas de responsabilidad social en las comunidades locales, asegurando que se logren beneficios tangibles y que se mantenga una buena relación con los residentes.

8.2.6 Política de adaptación y mejora continua

La política de adaptación y mejora continua se centra en establecer un marco para la adaptación y perfeccionamiento continuo del modelo de logística inversa, asegurando que el modelo se mantenga eficaz y relevante frente a los cambios en el entorno y en las necesidades del proceso.

El objetivo de esta política es garantizar que el modelo de logística inversa se ajuste y mejore continuamente para mantener su efectividad y relevancia a lo largo del tiempo. Esto incluye la adaptación a nuevos desafíos y oportunidades emergentes, basándose en la retroalimentación y los resultados obtenidos.

8.2.6.1 Acciones clave

8.2.6.1.1 Implementar un sistema de monitoreo y evaluación

-Indicadores de desempeño: Establecer indicadores clave de desempeño para monitorear la efectividad del modelo y detectar áreas que requieren ajustes. Estos indicadores deben ser específicos, medibles y alineados con los objetivos del modelo.

-Informes de evaluación: Crear informes periódicos sobre el desempeño del modelo, identificando éxitos y áreas de mejora, los cuales deben ser utilizados para informar a los gestores y permitir decisiones basadas en datos.

8.2.6.1.2 Ajustar el modelo y los procesos según la retroalimentación

-Recopilación de retroalimentación: Recoger retroalimentación continua de los recicladores, personal y autoridades locales sobre el funcionamiento del modelo, utilizando retroalimentación para identificar problemas y oportunidades de mejora.

-Implementación de Cambios: Realizar ajustes en el modelo y los procesos basados en la retroalimentación recibida y en los resultados de las evaluaciones, asegurando que los cambios sean implementados de manera efectiva y comunicados claramente a todos los involucrados.

8.2.6.1.3 Promover una cultura de mejora continua

-Revisión periódica: Establecer un calendario de revisiones periódicas del modelo para evaluar su relevancia y efectividad, incluyendo la actualización de procedimientos y la integración de nuevas mejores prácticas.

-Capacitación en mejora continua: Incluir en el programa de capacitación la formación en técnicas de mejora continua y gestión del cambio. Fomentar una cultura organizacional

La implementación efectiva del modelo de logística inversa para la recuperación de residuos sólidos urbanos en los centros más poblados de Colombia requiere un enfoque integral que aborde diversas dimensiones del proceso. Desde este contexto, las políticas propuestas son fundamentales para asegurar que el modelo no solo sea operativo y eficiente, sino también sostenible y adaptable a los desafíos emergentes.

Por lo tanto, la aplicación de estas políticas no solo fortalecerá la eficiencia del modelo de logística inversa, sino que también contribuirá a la creación de un sistema de gestión de residuos más efectivo y sostenible en Colombia, integrando tecnología, capacitación, incentivos, sostenibilidad y mejora continua, se asegura una implementación robusta y adaptable que puede enfrentar los desafíos del entorno urbano colombiano y avanzar hacia un futuro más sostenible.

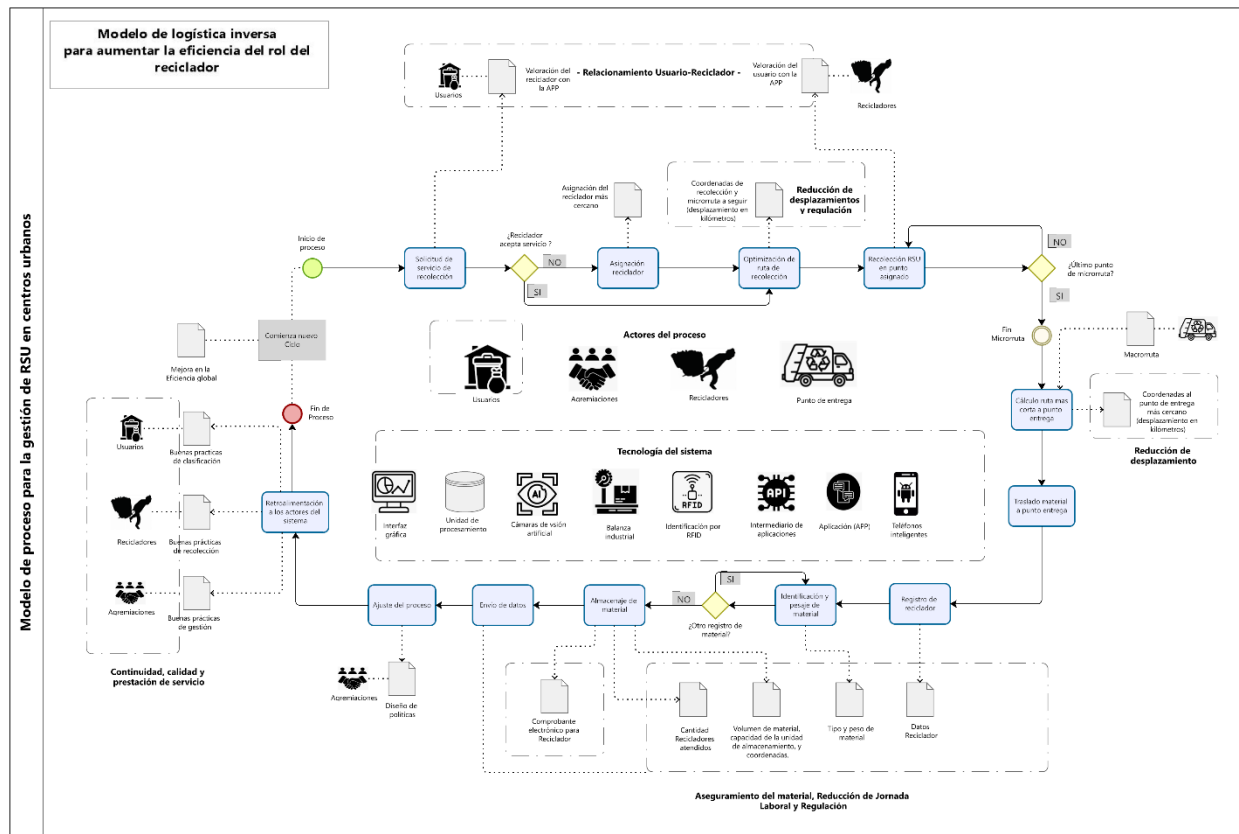
8.3 Modelo de proceso propuesto

Una vez culminado el proceso investigativo y realizados todos los análisis necesarios, se propone como solución al objetivo general “Proponer un modelo de proceso que, considerando el entorno de los centros más poblados en Colombia, permita aumentar la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos.” el modelo proceso de proceso descrito en la figura.

40. En este se relacionan todos los procesos con los diferentes actores claves, el stack tecnológico y las necesidades priorizadas.

Figura 40

Modelo de procesos para el aprovechamiento de RSU propuesto



El proceso comienza cuando el reciclador selecciona la microrruta (puntos a recorrer) que seguirá, utilizando información como: días y zonas de recolección del sistema formal de la ciudad, puntos en los que se suele encontrar mayores cantidades de material y donde es más posible que encuentre material útil para comercializar. Luego, inicia el recorrido por todos los puntos de su ruta planeada, ajustada por modificaciones que el reciclador hace a medida que surgen eventos durante su trabajo. Durante todo el recorrido el sigue un conjunto de acciones cíclicas: cuando llega a un punto de recolección (usuario), analiza si el material es aprovechable y si lo es, lo recoge, luego mira si la carga llevada hasta el momento requiere algún ajuste como prensar, amarrar, separar, etc., y finalmente si su ruta planeada (microrruta) ha finalizado se dirige a comercializar el material a un Estación de Clasificación y Almacenamiento (ECA).

Llegado a este punto, la ECA recibe el material del reciclador y determina si cumple con la calidad mínima para ser procesado posteriormente. Es posible que la ECA rechace el material por cuestiones de calidad, no disponer de capacidad de almacenamiento o por no tener interés para comprar el material. Todo aquel material aceptado por la ECA es pesado, clasificado y almacenado, y se procede a un registro de la compra del tipo y cantidad de material y los datos del reciclador. Finalmente, la agremiación a la que está vinculada la ECA emite una factura de compra al reciclador y le paga según tipo y cantidad de material entregado. Si al reciclador aún le queda material, se dirige a otra ECA para venderlo y repite este proceso hasta vender todo aquello que sea recibido. Todo material que no fue recibido por ninguna ECA queda acumulado en forma de RSU en puntos de la ciudad que posteriormente será recolectados por el sistema formal pero no ingresaran nuevamente al ciclo económico, se transforma en basura.

Capítulo IX. Discusión y conclusiones

Los hallazgos obtenidos a lo largo del proceso investigativo permitieron encontrar diversos aportes de la tesis doctoral que se presenta en este documento, en función de dichos hallazgos en este capítulo se presenta la discusión y se formulan las conclusiones obtenidas para cada uno de los objetivos específicos desarrollados.

9.1 Discusión

En esta sección se discuten los principales hallazgos del estudio, estructurados con base en los objetivos específicos de la investigación. Cada discusión analiza los resultados empíricos y metodológicos a la luz de la literatura existente, resaltando sus implicaciones frente a la eficiencia del reciclador en contextos urbanos colombianos. Se enfatiza el aporte del modelo propuesto en la comprensión y mejora del proceso de recuperación de residuos sólidos, considerando tanto las condiciones operativas como los desafíos estructurales del sistema.

En este sentido la caracterización del proceso de recuperación de residuos este estudio permitió identificar con claridad las etapas operativas de la recuperación de residuos sólidos urbanos (recolección, alistamiento y comercialización) en un contexto urbano colombiano. A través del análisis cualitativo y cuantitativo, se evidenciaron cuellos de botella particularmente en la etapa de recolección, donde el reciclador enfrenta condiciones de informalidad, desplazamientos innecesarios, y una baja articulación con otros actores del sistema. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Cortés y Gámez (2019), quienes destacan la desigualdad en la calidad del servicio entre zonas urbanas y rurales. Asimismo, la falta de integración entre infraestructura, normativa y operación ya evidenciada por Carvajal et al. (2022), refuerza la necesidad de modelos de proceso específicos que prioricen la eficiencia desde la base operativa

del reciclador. Este estudio aporta evidencia empírica contextualizada que profundiza en esa dimensión operativa, usualmente poco explorada en la literatura.

Sobre la relación entre variables operativas y eficiencia del reciclador, uno de los hallazgos más relevantes fue la correlación negativa entre la distancia recorrida y el rendimiento operativo del reciclador. A través del análisis multivariado, se demostró que la planificación adecuada de rutas y tareas no solo incrementa la eficiencia, sino que mejora la percepción del reciclador sobre su propio trabajo. Estos resultados complementan los estudios de Wang y Chen (2023), quienes argumentan que la tecnología aplicada a la logística puede tener impactos operacionales significativos incluso en contextos no empresariales. Si bien el modelo aquí presentado no se apoya en IoT o IA como en Zhu et al. (2020), sí representa un avance en la incorporación de herramientas digitales accesibles como trazabilidad con GPS, dashboards y simulaciones adaptadas al entorno informal. Así, este trabajo demuestra que incluso soluciones de bajo costo pueden generar mejoras operativas sustantivas cuando están bien alineadas con las condiciones del territorio.

Con respecto al diseño del modelo de proceso de logística inversa, los resultados evidencian que fue posible estructurar una propuesta técnicamente viable y tropicalizada al entorno urbano colombiano. El modelo integra componentes operativos clave como la planificación de rutas, la trazabilidad con herramientas digitales de bajo costo y la articulación con agremiaciones y usuarios, permitiendo reorganizar el trabajo del reciclador con criterios de eficiencia e inclusión. Su diseño fue fortalecido mediante modelaciones y simulaciones y validación participativa, lo cual garantizó su aplicabilidad en condiciones reales, respondiendo a las limitaciones tecnológicas y sociales identificadas. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Fernández y Sánchez (1997) y Kim y otros. (2022), al destacar que la incorporación de

tecnología accesible y procesos adaptados al entorno contribuyen tanto a la eficiencia como a la sostenibilidad operativa.

Asimismo, el modelo propuesto demuestra que es posible generar ventajas competitivas a partir de procesos organizativos optimizados, reforzando los planteamientos de Porter (1985) y Barney (1991). La interoperabilidad de sistemas, la mejora en la comunicación entre actores y la trazabilidad operativa permitieron reducir desplazamientos, optimizar tiempos y mejorar la calidad del servicio de recuperación. Estos resultados se alinean con estudios como los de Zhang et al. (2022) y Nguyen et al. (2024), que destacan la resiliencia y capacidad de adaptación como atributos clave en sistemas de gestión eficientes. Así, el modelo diseñado no solo aporta a la mejora del desempeño del reciclador, sino que también establece una base sólida para su escalabilidad en otros contextos urbanos con impactos positivos en sostenibilidad, formalización y gobernanza colaborativa.

Sobre la validación del modelo de proceso arrojó resultados sólidos tanto en pruebas de simulación como en el piloto con recicladores en campo. Se logró una reducción promedio del 63 % en los tiempos de recolección y del 72 % en la distancia recorrida, sin comprometer el volumen recolectado. Esta evidencia cuantitativa valida la hipótesis central del estudio que la eficiencia del reciclador puede incrementarse mediante el rediseño del proceso operativo con criterios técnicos. Además, se comprobó que la articulación del reciclador con cooperativas, herramientas tecnológicas y planificación logística repercute directamente en la continuidad, calidad y prestación del servicio. Estos hallazgos se alinean con los postulados de Kim & Lee (2023), Porter (1985) y Barney (1991), quienes afirman que la eficiencia organizativa y la sostenibilidad pueden construirse desde las operaciones, especialmente cuando estas se apoyan en herramientas de monitoreo y mejora continua.

La formulación de políticas para el uso del modelo permitió traducir los resultados del piloto en directrices aplicables a escala institucional. Estas políticas abordan de manera concreta los aspectos críticos identificados como: geolocalización y ajustes dinámicos de tráfico, orientados a la reducción de recorridos ineficientes; interoperabilidad tecnológica, clave para garantizar trazabilidad y gestión coordinada de datos; alfabetización digital y actualización continua de recicladores, como soporte a la apropiación tecnológica; la mejora de condiciones laborales y el perfilamiento de actores, indispensables para consolidar un sistema justo y eficiente. Estos ejes se derivan directamente de los logros alcanzados en las pruebas piloto, donde se demostró que una mejor planificación, acompañada de herramientas tecnológicas accesibles, mejora significativamente el rendimiento del reciclador y la coordinación

Además, estas políticas proporcionan un marco habilitante para la escalabilidad del modelo en el contexto colombiano, al integrarse con instrumentos como los PGIRS y fortalecer la sinergia entre actores públicos, privados y comunitarios. Coincidiendo con estudios como los de Kim et al. (2022), Barney (1991) y Nguyen et al. (2024), se demuestra que la implementación de políticas bien orientadas no solo optimiza procesos, sino que genera capacidades organizacionales sostenibles. En consecuencia, el modelo propuesto va más allá de una solución técnica: establece las bases para una gobernanza colaborativa, con enfoque en economía circular, inclusión social y sostenibilidad ambiental, validada en campo y fundamentada en evidencia empírica.

Consecuentemente, la sostenibilidad y responsabilidad social los resultados del modelo también deben ser interpretados desde una perspectiva ambiental y social. La disminución de desplazamientos y la planificación de tareas generan no solo mejoras operativas, sino también impactos positivos sobre la huella de carbono y la salud de los recicladores. Así, la eficiencia

propuesta por el modelo se traduce en beneficios múltiples: técnicos, ambientales, sociales y económicos. En este sentido, los resultados se alinean con estudios como los de Holliday et al. (2020), Schaltegger y Wagner (2021), Boiral y Heras (2022), y Dangelico y Vocalelli (2023), que argumentan que los modelos de gestión ambiental deben incorporar indicadores integrados de desempeño. Adicionalmente, se refuerza el planteamiento de que un modelo organizativo contextualizado, cuando incorpora principios de sostenibilidad, puede generar valor colectivo más allá de su eficacia operativa inmediata.

A pesar de los resultados positivos obtenidos, deben reconocerse algunas limitaciones. En primer lugar, la validación empírica se centró en un entorno urbano controlado, por lo que su aplicabilidad en zonas rurales o municipios con baja infraestructura aún requiere evaluación, como también lo advierten Muñoz et al. (2023) respecto a las limitaciones estructurales de la gestión de residuos en territorios periféricos. Segundo, el modelo no incorpora tecnologías emergentes como sensores IoT o inteligencia artificial, limitando su escalabilidad automatizada, lo que ha sido señalado por Zhu et al. (2020) como un componente clave en sistemas avanzados de monitoreo y control. Además, aunque se consideraron elementos económicos y sociales, no se realizó un análisis financiero profundo sobre los retornos de inversión o mecanismos de financiamiento, aspecto también resaltado como crítico por Fonseca (2023) y López y Franco (2021) en el contexto colombiano. Finalmente, tal como señala Tröger et al. (2023), la subvaloración del rol del reciclador informal y la falta de políticas que reconozcan su experiencia sigue siendo una barrera estructural en la transición hacia una economía circular justa.

9.2 Conclusiones

En esta sección se presentan las principales conclusiones del trabajo, organizadas en función de los objetivos específicos planteados en la investigación. Cada conclusión sintetiza los hallazgos empíricos y metodológicos obtenidos a lo largo del estudio, articulándolos con el contexto colombiano y con la problemática identificada en torno a la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos urbanos.

Respecto al objetivo “Caracterizar las etapas del proceso de recuperación de residuos sólidos”, el modelo permitió identificar y describir de forma estructurada tres etapas operativas fundamentales: recolección, alistamiento y comercialización. A través del trabajo de campo y la interacción directa con recicladores, representantes de agremiaciones y otros actores, se confirmó que la etapa de recolección presenta las mayores ineficiencias, debido a la ausencia de rutas definidas, la variabilidad en la disponibilidad de residuos y la falta de coordinación entre los actores.

Por su parte, los recicladores manifestaron que las condiciones actuales generan incertidumbre operativa y sobrecarga física, mientras que las agremiaciones señalaron deficiencias en la trazabilidad y en la articulación institucional como limitantes para la formalización del oficio. El análisis permitió establecer una comprensión profunda del proceso, no solo desde su secuencia técnica, sino también desde sus dimensiones sociales y organizativas, evidenciando los puntos críticos que deben ser intervenidos para avanzar hacia un sistema de recuperación más eficiente, justo y sostenible.

En relación con el objetivo “Determinar las relaciones entre las variables asociadas a las etapas del proceso de recuperación”, se logró identificar interacciones clave entre variables operativas como tiempo de recolección, distancia recorrida, volumen recolectado, tipo de residuo

y frecuencia de generación. El análisis de los datos e información obtenidos a través del piloto y el modelado del proceso permitió establecer que existe una relación inversa entre la distancia recorrida y la eficiencia del reciclador: a mayor desplazamiento, menor rendimiento logístico. Esta correlación negativa fue consistente en distintos escenarios y respaldada por la experiencia de los recicladores participantes, quienes señalaron que la dispersión geográfica y la falta de planificación previa afectaban directamente su productividad diaria.

De igual manera, se confirmó que es posible mantener o incluso incrementar el volumen recolectado cuando se optimizan las rutas y se asignan tareas de forma planificada. Por su parte, los representantes de agremiaciones destacaron que la reorganización operativa no solo mejora el desempeño logístico, sino que también permitiría reducir la exposición a riesgos en vía pública y facilitar la gestión de tiempos. En cuanto a las relaciones funcionales entre variables resultaron fundamentales para sustentar las decisiones de diseño del modelo, orientando las mejoras hacia una recuperación de residuos más eficiente, estructurada y adaptada a centros urbanos.

En relación con el objetivo de “Diseñar un modelo de proceso de logística inversa adaptado al contexto colombiano que permita aumentar la eficiencia del reciclador”, esta investigación logró estructurar una propuesta que responde tanto a las condiciones técnicas como a las limitaciones operativas del sistema actual. El modelo fue concebido desde un enfoque sistémico e incluyó elementos claves como la trazabilidad de rutas, la planificación operativa, la asignación de tareas y el uso de herramientas digitales de bajo costo que pueden ser implementadas progresivamente en escenarios de informalidad.

Además, el proceso de diseño fue soportado en simulaciones, redes de Petri y un enfoque participativo que incorporó la visión de recicladores y cooperativas, garantizando su adaptabilidad a entornos reales y su pertinencia social. El modelo no se limitó a replicar buenas

prácticas internacionales, sino que fue contextualizado al entorno urbano colombiano, teniendo en cuenta la informalidad del oficio, la variabilidad en la generación de residuos y las restricciones tecnológicas existentes. Estos elementos permiten afirmar que el modelo propuesto representa una herramienta viable para reorganizar la logística inversa con criterios de eficiencia, inclusión y sostenibilidad.

Con respecto al objetivo de “Validar el modelo de proceso de logística inversa propuesto para el contexto colombiano”, se demostró que el modelo es técnica y operativamente viable, al haber sido sometido a pruebas piloto en campo y simulaciones en entornos controlados. La validación empírica arrojó mejoras cuantificables: una disminución del 63% en los tiempos de recolección, una reducción del 72% en la distancia recorrida y un aumento significativo en el rendimiento por kilómetro y por hora, sin comprometer el volumen total de residuos aprovechables recolectados. Estos resultados evidencian un avance sustancial en términos de eficiencia logística y organización del trabajo del reciclador.

Los recicladores que participaron en la fase piloto reportaron una mayor claridad en sus recorridos, menor esfuerzo físico y mayor aprovechamiento del tiempo, mientras que las agremiaciones destacaron la utilidad del modelo para mejorar la trazabilidad y facilitar procesos de formalización. De igual forma, los responsables logísticos valoraron la escalabilidad del sistema, al observar su capacidad de adaptarse a distintas configuraciones urbanas sin perder eficiencia. En consecuencia, el modelo validado se consolida como una solución replicable y escalable, con alto potencial para transformar la gestión de residuos sólidos en contextos urbanos de alta densidad, articulando tecnología, planeación y conocimiento del territorio.

En relación con el objetivo “Diseñar políticas para el uso del modelo de proceso de logística inversa”, se formularon lineamientos estratégicos orientados a facilitar la adopción e

institucionalización del modelo en el marco de políticas públicas locales y regionales. Estas directrices incluyen incentivos para la digitalización de los procesos, esquemas de acompañamiento técnico y social para los recicladores, mecanismos de financiación sostenibles y articulación con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) municipales.

La elaboración de estas políticas se fundamentó en los resultados obtenidos durante la validación del modelo y en el análisis del contexto normativo colombiano, así como en los aportes de los actores institucionales y comunitarios que participaron en el proceso. Se confirma que estas políticas son clave para escalar el modelo, generar sinergias efectivas entre los sectores público, privado y comunitario, y promover una gestión de residuos que combine eficiencia operativa, inclusión social y sostenibilidad ambiental. De este modo, el modelo propuesto no solo aporta una solución técnica viable, sino también una plataforma para la construcción de gobernanza colaborativa en torno a la economía circular.

Como trabajos futuros, se identifican diversas líneas de trabajo que permitirán consolidar y expandir el modelo propuesto en nuevas dimensiones. En el ámbito técnico, se recomienda avanzar en la integración de herramientas de inteligencia artificial que permitan predecir la generación de residuos y realizar su clasificación automatizada, así como desarrollar algoritmos de optimización multiobjetivo de rutas que consideren variables dinámicas como el tráfico y la disponibilidad de materiales. En el plano social, es necesario profundizar en el análisis del impacto del modelo sobre las condiciones laborales, la seguridad ocupacional y el bienestar del reciclador, además de diseñar estrategias que favorezcan la aceptación comunitaria del nuevo esquema operativo. Desde una perspectiva regulatoria, se plantea revisar los marcos normativos existentes para habilitar jurídicamente plataformas digitales de gestión de residuos aprovechables, reconociendo legalmente esquemas colaborativos de recolección informal. Finalmente, en el

componente económico, se considera prioritario realizar estimaciones del retorno de inversión tanto para entes territoriales como para asociaciones de recicladores, así como explorar mecanismos de financiación público privado que aseguren la escalabilidad del modelo de procesos en centros urbanos.

Referencias

- Abdallah, M., Abu Talib, M., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management*, 109, 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.057>
- Abdulhussein Torres, N., Achury Beltrán, C., Garzón Urian, L., & Vega Fajardo, D. (2018). Viabilidad de una herramienta tecnológica para estructurar proyectos. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/753670ae-ad99-4fea-8f67-facc4f0230c8/content>
- Acuña, N., Figueroa, L., & Wilches, M. J. (2017). Influence of environmental management systems in organizations ISO 14001: Case study manufacturing enterprises of Barranquilla. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 143–153. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000100143>
- Adeniran, A. & Shakantu, W. (2022). The Health and Environmental Impact of Plastic Waste Disposal in South African Townships: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 779. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020779>
- Agredo Morales, D. Y. (2015). Alteraciones en la salud de los recicladores y su relación con los factores de riesgo laboral. Popayán, 2013. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/2faa6248-352e-4a9a-b488-cf3cf7ea39ae/content>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2012). *Aportes para la construcción de la Política Basura Cero Bogotá Humana*. http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/images/BasuraCero/DocumentoBasuraCero.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2015). *Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático para Bogotá D.C., 2015-2050*.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64901&dt=S>

Aleluia, J., & Ferrão, P. (2016). Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. *Waste Management*, 58, 415–429.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.008>

Algarrá Fagua, D. S. (2016). Logística de recogida para residuos sólidos derivados del plástico en la planta de acopio del barrio La Alquería en la ciudad de Bogotá.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/eba4c498-6b85-4881-91eb-04fe51670c33/content>

Álvarez, S. (2018). Las cinco etapas de la gestión integral de residuos.

<https://alvarezsanmiguel.com/cinco-etapas-de-la-gestion-integral-de-residuos/>

an inclusive and sustainable world. <https://www.oecd.org/pisa/Preparing-youth-inclusive-sustainable-world.pdf>

Arango-Serna, M. D., Adarme-Jaimes, W., & Zapata-Cortes, J. A. (2010). Gestión cadena de abastecimiento - Logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*,

<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1480>

Araya, F. (2020). Modelación basada en agentes: ¿una herramienta para la ingeniería y gestión de la construcción? *Revista ingeniería de construcción*, 35(2), 111-118.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000200111>

- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2018). Gestión integral de residuos sólidos urbanos. <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Ática (2021). Conoce las etapas de la gestión integral de residuos sólidos y sus beneficios. <https://www.atica.co/etapas-de-la-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-sus-beneficios>
- Ayala, C. (2023) titulada Relaciones intergubernamentales en el manejo de residuos sólidos de la zona metropolitana del Valle de México. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000847771/3/0847771.pdf>
- Ayora, J. I., Zárate, A. E., & Jimbo, J. S. (2020). La verdadera inclusión: controversia entre el reciclaje inclusivo y el reciclaje justo, en el marco del desarrollo sostenible. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 27, 71–89.
- Balakrishnan, P., Abulibdeh, A., & Abul Kasem Kabir, T. (2023). Assessment of the Impact of Anthropogenic Evolution and Natural Processes on Shoreline Dynamics Using Multi-Temporal Satellite Images and Statistical Analysis. *Water (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/w15081440>
- Bányai, T., Tamás, P., Illés, B., Stankevičiūtė, Ž., y Bányai, Á. (2019). Optimization of municipal waste collection routing: Impact of Industry 4.0 technologies on environmental awareness and sustainability. <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/4/634>
- Baños, M. y Gámez, A. (2019). Prevención de la generación de residuos en el marco de una economía ecológica y solidaria: un análisis del manejo de residuos en los municipios de México. <https://www.redalyc.org/journal/4557/455761515001/html/>
- Barbosa, J. Barbosa, J., Rodríguez, M. (2013). Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias

educativas. *Revisión Investigación bibliotecológica*. Vol. 27, N° 61, pp. 83-105.

<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187->

[358X2013000300005&script=sci_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-358X2013000300005&script=sci_abstract)

Barney, J. B. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.

<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3078000>

Bastidas, G. A., & Hernández, R. (2019). Cambio climático algunos aspectos a considerar para la supervivencia del ser vivo: revisión sistemática de la literatura. *Rev Cuid.*, 10(3), 664.

<http://dx.doi.org/10.15649/cuidarte.v10i3.664>

Beltrán, J. (2005). *Metodología de la investigación: Guía para estructurar y presentar trabajos académicos*. Madrid: Editorial Paraninfo.

Bericat, E. (1998). *La integración de los métodos cuantitativo y cualitativo en la investigación social*. Barcelona: Ariel.

Bertolucci, L., Bezerra, B., Mattos, R., Jugend, D. & Gomes, R. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118086.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>

Boiral, O., y Heras, M. (2022). The influence of corporate social responsibility on public perception and corporate legitimacy. *Journal of Business Ethics*, 182(3), 593-609.

<https://doi.org/10.1007/s10551-022-05070-5>

Botero, P., (2012). Investigación y acción colectiva "IAC". Una experiencia de investigación militante. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 17(57), 31-47.

<https://www.redalyc.org/pdf/279/27922814004.pdf>

Brunnello, A. M., & Rocha Vargas, M. (2010). Modelado de procesos.

<https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24746w/Modelado%20de%20Procesos.pdf>

Burneo-Valarezo, Servio, Delgado Víctore, Roberto, & Vérez, María Antonia. (2016). Estudio de

factibilidad en el sistema de dirección por proyectos de inversión. *Ingeniería Industrial*,

37(3), 305-312. Recuperado en 04 de diciembre de 2024, de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362016000300009&lng=es&tlng=es)

[59362016000300009&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362016000300009&lng=es&tlng=es)

Cadena, J. y Muñoz, J. (2017). Conceptos generales de logística de aprovisionamiento y toma de decisiones en producción industrial.

[https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1005/CONCEPTOS_](https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1005/CONCEPTOS_GENERALES_LOG%20C3%8DSTICA_APROVISIONAMIENTO_TOMA_DECISIONES_PRODUCION_INDUSTRIAL.pdf?sequence=1)

[GENERALES_LOG%20C3%8DSTICA_APROVISIONAMIENTO_TOMA_DECISIONE](https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1005/CONCEPTOS_GENERALES_LOG%20C3%8DSTICA_APROVISIONAMIENTO_TOMA_DECISIONES_PRODUCION_INDUSTRIAL.pdf?sequence=1)

[S_PRODUCION_INDUSTRIAL.pdf?sequence=1](https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1005/CONCEPTOS_GENERALES_LOG%20C3%8DSTICA_APROVISIONAMIENTO_TOMA_DECISIONES_PRODUCION_INDUSTRIAL.pdf?sequence=1)

Cajamarca, D., Hidalgo, L., Vaca, S. y Jua, Y. (2022). Basura tecnológica, contaminante

ambiental silenciosa del siglo XXI causas y repercusiones. *Dominio de las ciencias*, 8 (2),

228-244

Cajamarca, É., Alvarado, G., & Vázquez, J. (2024). La asociatividad en el reciclaje como

estrategia de desarrollo sostenible. *Estudios de la Gestión*, (15), 149-172. Universidad

Andina Simón Bolívar: Sede Ecuador.

<https://www.redalyc.org/journal/7198/719878966008/html/>

Camargo, A. (2019). Diseño De Un Modelo De Indicadores Para La Gestión De Investigación En

Instituciones De Educación Superior. Caso De Estudio Vicerrectoría De Investigación

Universidad Del Magdalena.

<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9243/141090.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Campo, J., Pino, F. J., Ardila, C. A., & Pardo, C. (2015). Modelado de procesos en el desarrollo global de software. *Ingenium*, 9(23), 17.

https://www.researchgate.net/publication/283546944_Modelado_de_procesos_en_el_desarrollo_global_de_software

Campoverde, J., Carrillo, M. E., Jiménez Yumbra, J., Roldán Nariño, R., Loyola, D., & Coronel-Pangol, K. (2022). Revisión de la literatura sobre logística inversa, sus aplicaciones y tendencias futuras. *Enfoque UTE*, 13(2), 31-47. <https://doi.org/10.32719/1390-6542.2022.13.2.3>

Cárdenas, T., Santos, R., Contreras, A., Dominguez, E. y Dominguez, J. (2019). Propuesta Metodológica Para el Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en Villa Clara. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v39n2/2224-6185-rtq-39-02-471.pdf>

Carroll, A. B. (1999). Corporate social responsibility: Evolution of a definitional construct. *Business & Society*, 38(3), 268-295. <https://doi.org/10.1177/000765039903800303>

Carvajal, H., Teijeiro, M., García, María T. y Vite, H. (2022). Modelo de gestión del manejo de residuos sólidos urbanos en la provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(6), 314-321. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000600314&lng=es&tlng=es.

Cavallin, A. (2019). Análisis de eficiencia y elaboración de propuestas de mejora de la GIRSU en municipios del SO de la Pcia. Buenos Aires y de Cataluña a través de modelos integrados por DEA y RNA. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4758>

- Cerna, A., Rosas, C., Perales, R. y Ataucusi, P. (2022). Predicción de la generación de residuos sólidos domiciliarios con machine learning en una zona rural de Puno. *Tecnia*, 32(1), 44-52. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v32i1.1378>
- Chen, F., Luo, Z., Yang, Y., Liu, G. J., & Ma, J. (2018). Enhancing municipal solid waste recycling through reorganizing waste pickers: A case study in Nanjing, China. *Waste Management and Research*, 36(9), 767–778. <https://doi.org/10.1177/0734242X18766216>
- Cifuentes, F., Diaz, R. y Osses, S. (2018). Ecología del comportamiento humano: las contradicciones tras el mensaje de crisis ambiental. *Acta bioethica*, 24(2), 161-165. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2018000200161>
- Cointreau, S. (2006). Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management Special Emphasis on Middle- and Lower-Income. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Cointreau-2006-Occupational.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. <https://repositorio.cepal.org/items/e2967856-0743-4099-a92a-6a4d8b93807a>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad 70 años de pensamiento de la CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Economía Circular en América Latina y el Caribe. Oportunidad para una recuperación transformadora*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content>

- Cook, T.D., Reichardt, CH. (2003). Métodos cualitativos y cualitativos en investigación evaluative. (5ª Ed.). Madrid: Morata.
- Cortés Ávila, A. V., & Gámez Falla, J. A. (2019). Análisis comparativo de la cobertura del servicio público de aseo en el sector urbano y rural en dieciséis departamentos de Colombia. Universidad de La Salle.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1126
- Crisanto, T., Quezada, P., Culqui, B., Pérez R. y Vaca, G. (2019). Mejoramiento de condiciones laborales del personal de la Asociación de recicladores Romerillos en Ecuador. Revista Vínculos, 4(1), 11–20. <https://doi.org/10.24133/vinculospe.v4i1.1535>
- Cruz Pineda, O. D., y Lara Abello, E. (2018). Socio-economic impact of the construction of an intermodal connection in Puerto Salgar, Cundinamarca.
[file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-SocioeconomicImpactOfTheConstructionOfAnIntermodal-6769392%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-SocioeconomicImpactOfTheConstructionOfAnIntermodal-6769392%20(1).pdf)
- Cuadras, C.M. (1991), Métodos de Análisis Multivariante, Editorial Universitaria de Barcelona
- Dangelico, R. M., y Vocalelli, D. (2023). The impact of sustainable practices on environmental and social outcomes. Sustainability, 15(1), 123-138. <https://doi.org/10.3390/su15010012>
- Decreto 596 de 2016. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2022). Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales – residuos sólidos (CAEFM-RS).

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2020p.pdf

Departamento Nacional De Planeación. (2016). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Consejo Nacional de Política Económica y Social República De Colombia <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Guía NACIONAL para la adecuada separación de residuos sólidos.

https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/Guia_Residuos%20Solidos_Digital.pdf

Díaz, A. y Cardozo, A. (2022). Análisis de la gestión de los residuos orgánicos en Colombia a través de la visualización del marco legal vigente representado por medio de un dashboard. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/2002

Díaz, C., Caldas, J. y Cuarán, J. (2018). Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/f1f495eb-07f1-470f-8132-e0a14106cf4c>

ECOMMERCE. (2021). Logística inversa en la cadena de suministro: qué es, tipos y ejemplos. <https://www.beetrack.com/es/blog/logistica-inversa-cadena-suministro>

Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). Cluster Analysis. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470977811>

Farreras, V., & Huanca, G. (2019). Valoración económica de una mejora en las condiciones laborales de los recolectores informales de material reciclable en Guaymallén, Argentina. Trabajo Social, 21(1), 117–143. <https://doi.org/10.15446/ts.v21n1.70327>

- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>
- Feitó Cespón, Michael, Cespón Castro, Roberto, & Rubio Rodríguez, Manuel Alejandro. (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. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000100013>
- Fernández, E. (2010). La teoría de la segmentación del mercado de trabajo: enfoques, situación actual y perspectivas de futuro. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672010000300004
- Fernández, J., y Sánchez, A. (1997). Eficiencia y efectividad en la gestión empresarial: Un enfoque desde la optimización de procesos. *Revista de Gestión Empresarial*, 15(2), 45-67.
- Ferronato, N. & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060
- Fonseca, A. (2023). Alternativas para el aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos-RSO en Bogotá: Enfoque de economía circular. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85054/1012413937.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Fundación Panamericana para el Desarrollo (FUPAD, 2024). El reciclaje: una labor sostenible de población migrante venezolana y comunidades de acogida en Colombia.

<https://fupad.org/el-reciclaje-una-labor-sostenible-de-poblacion-migrante-venezolana-y-comunidades-de-acogida-en-colombia/>

Fuss, M., Barros, R. & Poganietz, W. R. (2021). The role of a socio-integrated recycling system in implementing a circular economy – The case of Belo Horizonte, Brazil. *Waste Management*, 121, 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.006>

Gall, M., Wiener, M., Chagas de Oliveira, C., Lang, R. W., & Hansen, E. G. (2020). Building a circular plastics economy with informal waste pickers: Recyclate quality, business model, and societal impacts. *Resources, Conservation and Recycling*, 156(May 2020), 104685. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104685>

Gallego, C. J., David, J. C., Gomez-Miranda, I. N., & Jaén, S. (2023). Quantitative Analysis of Colombian Waste Picker's Profile. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su15129397>

Garbanzo, G. (2015). Desarrollo organizacional y los procesos de cambio en las instituciones educativas, un reto de la gestión de la educación. <https://www.redalyc.org/journal/440/44043204005/html/>

García, C., Vargas, Y. y Quiroz, B. (2019). Conflictos ambientales y sus efectos en la calidad de vida en una región occidental de México. *Economía, sociedad y territorio*, 19(60), 273-304. <https://doi.org/10.22136/est20191316>

García, C.; Quirós, V.; Rosales, L. (2022). Los residuos generados en la producción de la industria azucarera en los últimos 25 años. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3943529003/3943529003.pdf>

García, D. (2016). El Reciclaje como Estrategia Didáctica para la Conservación Ambiental (Proyecto en ejecución). <https://www.redalyc.org/journal/5636/563660226004/html/>

- Garriga, F. (2013). Problemas resueltos de teoría de la decisión.
- Godfrey, L., & Oelofse, S. (2017). Historical review of waste management and recycling in South Africa. *Resources*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/resources6040057>
- Gómez, A., Ospina, L., Rodríguez, P. & Rodríguez, M. (2023). Barriers and opportunities for waste pickers within solid waste management policy in Colombia. *Waste Management*, 163(November 2022), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.020>
- Gómez, J. (2010). La migración internacional: teorías y enfoques, una mirada actual. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462010000100005
- Gómez, J. Agudelo, A. y Ronda, E. (2008). Condiciones Sociales y de Salud de los Recicladores de Medellín <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v10n5/v10n5a03.pdf>
- Gonzaga, A. (2018). La Cultura ambiental desde la participación ciudadana para el desarrollo de la conciencia crítica en la ciudadanía Lojana. *INNOVA Research Journal*, 3(10.1), 300–306. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.1.2018.871>
- González, F. (2007). Investigación cualitativa y subjetividad: los procesos de construcción de la información. México: McGraw-Hill.
- González, J., Salazar, F., Ortiz, R., Verdugo, D. (2019). Gerencia estratégica: herramienta para la toma de decisiones en las organizaciones. <https://www.redalyc.org/journal/993/99357718032/html/>
- González, M. (2019). Elaboración de estrategias de revalorización de materiales provenientes de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Mar del Plata. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/80305>
- Greenacre, M. (2007). *Correspondence Analysis in Practice* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC.

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220-232..

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X12004205>

Gutberlet, J. y Nazim, S. (2018). Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries.

https://www.researchgate.net/publication/325884450_Household_waste_and_health_risks_affecting_waste_pickers_and_the_environment_in_low-_and_middle-income_countries

Henaó, J. e Ibarra, S. (2021). Materiales de desecho y resignificación notas de una experiencia desde la gestión del diseño. *Revista producción + limpia*, 15 (2), 125-139.

<http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/2462/210210527>

Hernández, R., Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: Mc Graw Hill

Hernández, S. y Corredor, L. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15(1), 57–76.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041529>

Herrera, M., Valiente, Y., Garibay, J. y Herrera, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 150-170. Epub 16 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2540>

Herrera, M., Valiente, Y., Garibay, J., Herrera, S. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión municipal: Revisión sistémica.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000200150

Herrera-Uchalin, Marilia Ghardenny, Valiente-Saldaña, Yoni Mateo, Garibay-Castillo, Julio Víctor, & Herrera-Cherres, Santos. (2023). Manejo de residuos sólidos en la gestión

municipal: Revisión sistémica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 150-170. Epub 16 de agosto de 2023.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000200150

Higgins, J. P. T., & Green, S. (2008). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (Version 5.0.0)*. The Cochrane Collaboration. Recuperado de https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/uploads/Manual_Cochrane_510_reduit.pdf

Holliday, C. O., Schmidheiny, S., y Watts, P. (2020). Walking the talk: The business case for sustainable development. *Sustainable Development*, 28(2), 123-139.

<https://doi.org/10.1002/sd.2060>

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/18004/garriga+garzon+problemas+teoria+decision.pdf?sequence=1>

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=77216

Iacovidou, E., Velis, C. A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J., & Williams, P. T. (2017). Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 910–938. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>

Ibáñez, T. (2001). *Psicología social construccionista*. (2ª Ed.). México: Universidad de Guadalajara

Imberνό, A. y Souto, L. (2023). Innovación y economía circular, un binomio perfecto. *Economía y Desarrollo*, 167(2), e7. Epub 01 de julio de 2023. Recuperado en 06 de febrero de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842023000200007&lng=es&tlng=es)

[85842023000200007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842023000200007&lng=es&tlng=es).

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2022). Plan de Gestión Integral de Residuos. <http://www.cali.gov.co/publico2/documentos/varios/pgris.pdf>

Ivankovich-Guillén, C., Araya-Quesada, Y. (2011). “Focus Groups”: Técnica de investigación cualitativa en Investigación de Mercados. *Revista Ciencias Económicas*. Vol. 29(1), pp. 545-554. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/viewFile/7057/6742>

Iyamu, H. O., Anda, M., & Ho, G. (2017). Socio-technical systems analysis of waste to energy from municipal solid waste in developing economies: a case for Nigeria. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 21. <https://doi.org/10.1051/rees/2017027>

Jagun, T., Daud, D., Ajayi, O., Samsudin, S., Jubril, A. y Rahman, S. (2023). Waste management practices in developing countries: a socio-economic perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(55), 116644–116655. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21990-5>

Jiménez, N. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, pp.29-56.

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202.

<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>Kasinja, C., & Tilley, E. (2018). Formalization of Informal Wastepickers’ Cooperatives in Blantyre, Malawi: A Feasibility Assessment. *Sustainability*, 10 (4): 1149. <https://doi.org/10.3390/su10041149>

Kaufman, L. and Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data*. Nueva York: Wiley.

- 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. In *Urban Development*; © Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kim, Y., Lee, J., y Choi, J. (2022). Corporate sustainability and competitiveness: The role of advanced technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(3), 1324-1336. <https://doi.org/10.1002/bse.2910>
- Kim, Y., y Lee, H. (2023). Sustainable technology adoption and its impact on operational efficiency and organizational resilience. *Journal of Cleaner Production*, 411, 136345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136345>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. Keele University Technical Report TR/SE-0401. https://www.researchgate.net/publication/228756057_Procedures_for_Performing_Systematic_Reviews
- Lalande, L. (2016). Entrepreneurship, Innovation and Appropriate Technologies for International Development — A new initiative at the University of Ottawa. <https://luclalande.medium.com/entrepreneurship-innovation-and-appropriate-technologies-for-international-development-2afb9143c1d8>
- Le Pira, M., Marcucci, E., Gatta, V., Ignaccolo, M., Inturri, G., & Pluchino, A. (2017). Towards a decision-support procedure to foster stakeholder involvement and acceptability of urban freight transport policies. <https://etr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-017-0268-2>

- Lee, H. (2019). Development of sustainable recycling investment framework considering uncertain demand and nonlinear recycling cost. *Sustainability*, 11(14).
<https://doi.org/10.3390/su11143891>
- Lee, J., Han, H., Park, J. Y., & Lee, D. (2021). Urban informatics in sustainable waste management: A spatial analysis of Korea's informal recycling networks. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063076>
- Lee, S., Hong, J., y Choi, J. (2021). Emerging technologies in waste management: Impacts on efficiency and sustainability. *Waste Management & Research*, 39(5), 491-502.
<https://doi.org/10.1177/0734242X21101498>
- Liu, X., Zhang, Q., y Wang, S. (2021). Advancements in waste management technologies: Efficiency and cost reduction. *Resources, Conservation & Recycling*, 164, 105240.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105240>
- López Pulgarin, Y., & Franco Orozco, B. (2021). Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia. *Cuaderno Activa*, 12(1), 119–134.
<https://doi.org/10.53995/20278101.808>
- López, J. (2017). *Logística inversa*.
file:///C:/Users/maris/Downloads/Log%C3%ADstica%20inversa_M%C3%B3dulo%20did%C3%A1ctico%201_Log%C3%ADstica%20inversa.pdf
- Lv, J., Dong, H., Geng, Y., y Haifeng, L. (2020). Optimización de la red de reciclaje de residuos sólidos municipales reciclables: Un caso chino de Shanghai.
[file:///C:/Users/User/Downloads/Propuesta_PhD_Final%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Propuesta_PhD_Final%20(1).pdf)
- Madroñero, S. y Guzmán, T. (2018). Desarrollo Sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Tecnología en Marcha*, 31(3), <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907>

- Malele, V. (2022). Street Waste Pickers : A Case for Appropriate Technology , Social Entrepreneurship and Innovation. *Waste Technology*, 10(April), 17–23.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/wastech/article/view/45147%0Ahttps://ejournal.undip.ac.id/index.php/wastech/article/download/45147/21312>
- Mandpe, A., Paliya, S., Gedam, V. V., Patel, S., Tyagi, L., & Kumar, S. (2023). Circular economy approach for sustainable solid waste management: A developing economy perspective. *Waste Management and Research*, 41(3), 499–511.
<https://doi.org/10.1177/0734242X221126718>
- Marello, M., & Helwege, A. (2018). Solid Waste Management and Social Inclusion of Wastepickers: Opportunities and Challenges. *Latin American Perspectives*, 45(1), 108–129. <https://doi.org/10.1177/0094582X17726083>
- Martín, H. y Moreno, D. (2021). Ecotecnologías, crisis socioambiental y poscapitalismo. <https://editorial.uamerica.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/9/14/234?inline=1>
- McPherson, C. M., & Sauder, M. (2013). Logics in action: Managing institutional complexity in a drug court. *Administrative Science Quarterly*, 58(2).
<https://doi.org/10.1177/0001839213486447>
- Meshram, L. & Mhatre, K. (2022). Impact of biomedical waste on environment and human health: A review. *Intern. J. Zool. Invest.*, 8(2), 484–489.
<https://doi.org/10.33745/ijzi.2022.v08i02.060>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Hoy no se habla de basura, sino de residuos que son insumos para productos: Minambiente.
<https://www.minambiente.gov.co/hoy-no-se-habla-de-basura-sino-de-residuos-que-son-insumos-para-productos-minambiente/>

Ministerio de Ambiente. (1998). *Política Para la Gestión Integral de Residuos*.

https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Políticas_de_la_Dirección/Política_para_la_gestión_integral_de_1.pdf

Ministerio de vivienda. (2015). Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-pgirs.pdf>

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Informe de gestión.

https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/INFORME_GESTION_MINAMBIENTE_2020.pdf

Misath, M., González, P., Pérez, Franco, M. y Gallardo, A. (2021). Gestión de la logística inversa en las organizaciones. *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 145-157.

Montañés, M. (2009). Metodología y técnica participativa. Teoría y práctica de una estrategia de investigación participativa. Barcelona: UOC. Recuperado de <https://books.google.co.ve/>

Montero, E. y Blanco, J. (2021). Sostenibilidad y emprendimiento. Un análisis profundo de la dimensión social para una gestión sostenible. *Universidad de La Habana*, 292, 17.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-92762021000200017&lng=es&tlng=es.

Montes, C. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia / - Bogotá* (trabajo de grado).

Universidad Externado de Colombia.

<https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/34996da5-2eab-4fc3-ad8b-2eb67a322507/content>

Montes, Z. y Rodríguez, M. (2022). La logística inversa en el manejo de los residuos de empaques y embalajes en el contexto del COVID-19.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2683-26232021000300003

Morais, J., Corder, G., Golev, A., Lawson, L., & Ali, S. (2022). Global review of human waste-picking and its contribution to poverty alleviation and a circular economy. *Environmental Research Letters*, 17(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6b49>

Morales, T., Gonçalves, T., Lima, J., & Da Silva, R. (2023). Transitioning towards a sustainable circular city: How to evaluate and improve urban solid waste management in Brazil. *Waste Management and Research*, 41(5), 1046–1059. <https://doi.org/10.1177/0734242X221142227>

Moreno, C. y Aliyah, B. (2019). Una mirada a las prácticas de reciclaje: El caso de una asociación de recicladores en Tacna, Perú. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 7(3), e22. Epub 21 de outubro de 2019. Recuperado em 06 de fevereiro de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322019000300022&lng=pt&tlng=

Moreno, M. (2020). Propuesta para el Manejo de Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario del Distrito Especial de Barrancabermeja – Santander. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/30933>

Moreno, N. (2022). Propuesta para el Manejo de Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario del Distrito Especial de Barrancabermeja – Santander. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/30933/Tesis%20Monica%20Alejandra%20Moreno%20Machado.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Muñoz, S., Peña, I., Zamora, V. (2023). Metodologías Innovadoras para el Aprovechamiento de Residuos en Colombia.

https://vox.lacea.org/?q=blog/recicladores_colombia_politica_publica

Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of Classification*, 31(3), 274-295.

https://www.researchgate.net/publication/277665024_Ward's_Hierarchical_Agglomerative_Clustering_Method_Which_Algorithms_Implement_Ward's_Criterion

Nacinovich, M. (2024). Recicladores: qué son y por qué su trabajo es fundamental en América Latina. <https://cambio.com.co/articulo/recicladores-que-son-y-por-que-su-trabajo-es-fundamental-en-america-latina/>

Nazari, A., Rafiei, H. y Rabani, M. (2018). Modeling risk and uncertainty in designing reverse logistics problem. *Decision Science Letters*, 7(1), 13–24.

<https://doi.org/10.5267/j.dsl.2017.5.001>

Nguyen, H. T., Lee, S., y Kim, Y. (2024). Integrated waste management systems and competitive advantage: A comprehensive review. *Environmental Management*, 63(2), 202-216.

<https://doi.org/10.1007/s00267-023-01627-w>

Nodehi, M., & Taghvaei, V. M. (2022). Applying Circular Economy to Construction Industry through Use of Waste Materials: A Review of Supplementary Cementitious Materials, Plastics, and Ceramics. In *Circular Economy and Sustainability* (Vol. 2, Issue 3). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00149-x>

Okafor, C., Nzekwe, C., Nduji, N., Ajaero, C., & Ibekwe, J. (2022). Energy and material recovery potential from municipal solid wastes (MSW) in Nigeria: Challenges and

opportunities. *Clean Technologies and Recycling*, 2(4), 282–307.

<https://doi.org/10.3934/ctr.2022015>

Oquendo, V. (2023). Plan de adopción tecnológica de un Sistema “Waste to Energy” como alternativa sostenible en el tratamiento de residuos sólidos urbanos aplicable a Medellín

https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/5995/VictorMario_Oquendo_Correa_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Organización para Cooperación y el Desarrollo Económicos (2018). *Preparing our youth for*

Orjuela, J., Caicedo, A., Ruiz, A., y Adarme, W. (2016). Efecto de los mecanismos de integración externa en el desempeño logístico de cadenas Frutícolas. Un enfoque bajo dinámica de sistemas. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/5073

Ortiz, A. (2015). *Enfoques y métodos de investigación en las ciencias sociales y humanas.*

Bogotá: Ediciones de la U. <https://books.google.co.ve/>

Ortiz, A., Gallego, C., Gómez, J., Mora, V. y Gutiérrez Betancur, S. A. (2022). Economía Circular. In Universidad del Rosario (Ed.), *Reciclaje inclusivo: hacia una economía circular en Colombia* (1st ed., pp. 3–12). Universidad del Rosario.

<https://doi.org/10.12804/urosario9789587849653>

Osim, M., Meena, M., Lata, P. & Banerjee, M. (2023). *Plastic Recycling & Waste Management* (1st ed., Vol. 47, Issue 4). AG Publishing House.

https://www.researchgate.net/profile/Md-Aquatar/publication/373683475_PLASTIC_RECYCLING_WASTE_MANAGEMENT_merged/links/64f7a1b943e7db37518c1be0/PLASTIC-RECYCLING-WASTE-MANAGEMENT-merged.pdf

- Osra, F. A., Ozcan, H. K., Alzahrani, J. S., & Alsoufi, M. S. (2021). Municipal solid waste characterization and landfill gas generation in kakkia landfill, makkah. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su13031462>
- Pacheco, G. & Hernández, R. (2019). Cambio climático algunos aspectos a considerar para la supervivencia del ser vivo: revisión sistemática de la literatura. *Revista Cuidarte*, 10(3), e664. Epub December 20, 2019. <https://doi.org/10.15649/cuidarte.v10i3.664>
- Paes, M. X., Puppim de Oliveira, J. A., Mancini, S. D., & Rieradevall, J. (2024). Waste management intervention to boost circular economy and mitigate climate change in cities of developing countries: The case of Brazil. *Habitat International*, 143(December 2023), 102990. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102990>
- Parizi, R., Prestes, M., Marczak, S. y Conte, T. (2022). How has design thinking being used and integrated into software development activities? A systematic mapping. *Journal of Systems and Software*, 187, 111217. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111217>
- Patarroyo, K., y Bermúdez, M. Á. (2018). Canecas inteligentes optimizarían reciclaje. <https://alianzaefi.com/wp-content/uploads/2023/01/WP1-2020-011.pdf>
- Payares, L. (2014). Consecuencias del no uso de los equipos de protección personal (EPP) en los trabajadores del sector de la construcción. Obtenido de Universidad de San Buenaventura Cartagena: http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2348/1/Consecuencias%20del%20no%20uso%20de%20los%20equipos%20de%20protecci%C3%B3n_Laura%20Marcela%20Payares%20Lezama_USBCTG_2014.pdf

- Pérez, A. y Rodríguez, F. (2022). Flujo, clasificación y potencial de reciclaje de residuos sólidos urbanos en una localidad cuya principal actividad es la agricultura. *Acta universitaria*, 32, e3202. Epub 24 de octubre de 2022. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3202>
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press.
- Premasudha, D., Vasareddy, A., Saiteja, B., Sreeja, B. & Chandana, G. (2022). Impact Assessment on Air Quality around Integrated Municipal Solid Waste Management Plant in Hyderabad. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 2(1), 666–677. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-4645>
- Ramírez, J. (2021). Modelos de valoración de residuos como aporte a la economía circular en Colombia. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/967
- Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K. H. y Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 773, 145623. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145623>
- Raza, D. y Acosta, J. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. *Economía, sociedad y territorio*, XXII (69), 519-544. <https://www.redalyc.org/journal/111/11174081008/movil/>
- Rentero, A. (2018). La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve?. <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>
- Reyes, A., Pelligrini, N. y Reyes, N.(2015). El reciclaje como alternativa de manejo de los residuos sólidos en el sector minas de Baruta, Estado Miranda, Venezuela. <https://www.redalyc.org/journal/3761/376144131008/html/>

Rivas, C. (2018). Gestión ambiental de residuos de sólidos.

<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx#:~:text=GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS,posibilidades%20de%20aprovechamiento%20y%20comercializaci%C3%B3n.>

Rodríguez, A. M., Rebelato, M. G., Cerqueira, A. y Castañeda-Ayarza, J. A. (2020). Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de la disposición de residuos y subproductos en la producción de FCOJ.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1657-6276202100010011700021&lng=en

Rodríguez, A. y Baca, K. (2022). Generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU): análisis de una década de gestión en países de Europa y América. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas* 43(1): 49-61. doi.10.26807/remcb.v43i1.919

Rodríguez, A. y Hernández, C. (2018). Evaluación de la eficiencia del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.

<https://www.redalyc.org/journal/401/40158030009/html/>

Rojas López, M. D. (2014). Logística inversa y verde: sostenibilidad y medio ambiente.

Ediciones de la U.

Rondón, E., Szanto, M., Pacheco, J., Contreras, E. y Gálvez, A. (2016). Guía General para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. In Manuales de la CEPAL.

<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>

- Rosaldo, M. (2024). La regulación del trabajo informal y sus implicaciones: Un análisis de la regulación estatal como herramienta versátil. <https://doi.org/10.1234/rsocpol.2024.36289>
- Rousseau, D. M., y Schalk, R. (2024). Corporate social responsibility and value creation: A systematic review. *Journal of Corporate Responsibility*, 15(1), 1-20.
<https://doi.org/10.1007/s11575-023-01640-5>
- Ruiz, M. (2020). Estado actual de la contaminación ambiental presente en la Mixteca Oaxaqueña. *Journal of Negative and No Positive Results*, 5(5), 535-553. Epub 19 de octubre de 2020. <https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3257>
- Ruocco, F. (2018). Termovalorización: la ciencia de generar energía con basura.
<https://observatorioamba.org/noticias-y-agenda/noticia/termovalorizacion-la-ciencia-de-generar-energia-con-basura>
- Salas, F. y Lara, S. (2020). Mapeo sistemático de la literatura sobre la eficacia colectiva docente. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*.
- Salazar, A. y Hernández, C. (2018). Evaluación de la eficiencia del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.
<https://www.redalyc.org/journal/401/40158030009/html/>
- Saldivar, L., Villar, L., Valleau, V. y Barrios, O. (2021). Sistema de gestión de residuos sólidos para la Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. Periodo 2015-2019. *Población y Desarrollo*, 27(52), 15-29. Epub June 00, 2021. <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2021.027.52.015>
- Sánchez, J. (Coord.). (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL. Libros de la CEPAL, N° 158. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://doi.org/10.18356/9789210044963>

- Sanmartín Ramón, G., Zhigue, R. y Alaña, T. (2017). El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 36-40.
Recuperado en 06 de febrero de 2024, de
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100005&lng=es&tlng=es.
- Scarlat, N., & Dallemand, J.-F. (2019). Future role of bioenergy. In *The role of bioenergy in the bioeconomy*. Elsevier, 435–547.
https://www.researchgate.net/publication/330051374_Future_Role_of_Bioenergy
- Schafran, A. (2014). “Debating Urban Studies in 23 Steps.” *City* 18(3): 321–30.
- Schaltegger, S., y Wagner, M. (2021). Managing the business case for sustainability: The integration of corporate sustainability into business strategy. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 1790-1805. <https://doi.org/10.1002/bse.2950>
- Scheinberg, A., Wilson, D. C., & Rodic-Wiersma, L. (2010). Solid Waste Management in the World's Cities. Earthscan for UN-Habitat.
https://www.researchgate.net/publication/48199927_Solid_Waste_Management_in_the_World's_Cities_UN-HABITAT
- Schluep, M. (2014). Informal Waste Recycling in Developing Countries. In *Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts, and Scientists* (pp. 439–444).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00029-5>
- Seguí, L., Medina, R. y Guerrero, H. (2018). Gestión de residuos y economía circular.
http://marketing.eae.es/prensa/SRC_Residuos.pdf

- Serna, A. (2023). La importancia de la logística inversa en la gestión de la cadena de suministro: beneficios para las empresas. <https://www.linkedin.com/pulse/la-importancia-de-log%C3%ADstica-inversa-en-gesti%C3%B3n-cadena-suministro/?originalSubdomain=es>
- Shaikh, S., Thomas, K., Zuhair, S., & Magalini, F. (2020). A cost-benefit analysis of the downstream impacts of e-waste recycling in Pakistan. *Waste Management*, 118, 302–312. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.039>
- Shegow, I. A., & Funwie, A. D. (2020). Impacts of Solid Waste Management Practices on Environment and Public Health: A Case Study Wadajir District in Benadir Region of Somalia. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.*, 9(7), 2005–2014. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2020.907.230>
- Simões, C., Assunção, S., Yanes, G. y Álvarez, D. y Mayda, B. (2019). Transversalidad de la educación ambiental para el desarrollo sostenible. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(5), 25-32. Epub 02 de diciembre de 2019. Recuperado en 13 de febrero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000500025&lng=es&tlng=es.
- Slyde (2023). Procesos de negocio: ¿Qué son y cómo modelarlos? Ejemplos. <https://www.sydle.com/es/blog/que-son-procesos-de-negocio-610afc74504afa7e3653c2c3>
- Snowdon, M. R., Abdelwahab, M., Mohanty, A. K., y Misra, M. (2020). Optimización mecánica de biocompuestos de poli(tereftalato de etileno) virgen y reciclado con biocarbón sostenible a través de un diseño factorial. https://www.researchgate.net/publication/338762417_Mechanical_Optimization_of_Virgin_and_Recycled_Polyethylene_terephthalate_Biocomposites_with_Sustainable_Biocarbon_through_a_Factorial_Design

Söderholm, A. & Kyriakidis, A. (2023). Circular options for Jamaica ' s solid waste sector : A systems perspective [CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY].

<https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/5be0158b-a681-4d13-9a89-8b0a7b417c56/content>

Solayo, L. (2012). Participación y actividad comunitaria. Madrid España: Troquel

Sukholthaman, P., y Sharp, A. (2016). A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. *Waste Management*, 52, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.026>

Sumarriva, L., Zela, N., Ticona, H., Condori, N, y Chávez, Nadia L. (2023). Manejo de residuos sólidos para el cuidado del medioambiente: una necesidad para la calidad de vida. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 7(20), 408-417. Epub 20 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.224>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2022). Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021.

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf>

Tineo, J., & Valiente, Y. (2022). Manejo de residuos sólidos para reducir la contaminación del medio ambiente. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S2542-3088202300020015000033&lng=en

Tokay, E. (2023). Climate Change, Environmental Philosophy, and Anthropocentrism. In *Manual de Filosofía del Cambio Climático* (pp. 361–376). https://doi.org/10.1007/978-3-031-07002-0_107

- Tovar, L. (2018). Formalización de las organizaciones de recicladores de oficio en Bogotá: reflexiones desde la economía popular [Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales- Sede Académica de Ecuador]. In *Íconos - Revista de Ciencias Sociales* (Issue 62).
<https://doi.org/10.17141/iconos.62.2018.3230>
- Tröger, J., Müller, K., & Santos, R. (2023). Ecología industrial como estrategia para abordar problemas socioecológicos en el sur global: Un análisis de riesgos y oportunidades en la gestión de residuos. <https://doi.org/10.1234/ries.2023.124567>
- Tylor, S., Bodgan, R. (1992). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Buenos Aires: Paidós.
- Uddin, N. (2018). Assessing urban sustainability of slum settlements in Bangladesh: Evidence from Chittagong city. *Journal of Urban Management*, 7(1), 32–42.
<https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.03.002>
- Universidad Europea (2022). ¿Qué es la logística inversa?.
<https://universidadeuropea.com/blog/que-es-logistica-inversa/>
- Valavanidis, A. (2023). Global Municipal Solid Waste (MSW) in Crisis. Two billion tonnes of MSW every year, a worrying worldwide environmental problem. <http://chem-tox-ecotox.org/global-municipal-solid-waste-msw-in-crisis-two-billion-tonnes-of-msw-every-year-a-worrying-worldwide-environmental-problem/>
- Valderrama, C., Ortiz, J., Usa, M. y Borrero, O. (2020). Analysis of the Recycling Sector in Intermediate Cities. Study Case – Neiva, Colombia. *Ingeniería Y Competitividad*, 22(2), 1–10. <https://doi.org/10.25100/iyv.v22i2.6252>
- Valdivia, S., & Schlupe, M. (2023). The path to inclusive recycling: Developing countries and the informal sector. In M. A. R. Christina Meskers, Ernst Worrell (Ed.), *Handbook of*

Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts, and Scientists (2nd ed., pp. 115–127)

Vargas, C., Gutiérrez, J., Vélez, D., Gómez, M., Aguirre, D. Quintero, L. Franco, J. (2022).

Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762021000100117

Vargas, C., Gutiérrez, J., Vélez, D., Gómez, M., Aguirre, D., Quintero, L. y Franco, J. (2021).

Solid Waste Management, an Environmental Problem in the University. Revista

Científica Pensamiento y Gestión, 50, 117–152. <https://doi.org/10.14482/pege.50.628.445>

Vargas, H. (2023). La Logística Inversa: Impulsando la Sustentabilidad Ambiental, la Eficiencia en la Cadena de Suministro y la Generación de Nuevas Inversiones.

<https://www.linkedin.com/pulse/la-log%C3%ADstica-inversa-impulsando-sustentabilidad-ambiental-vargas/?originalSubdomain=es>

Vázquez, A; Ortiz, E; Zarate, F y Carranza, I. (2013). La Construcción Social de la Identidad

Campesina en dos Localidades del Municipio de Tlaxco, Tlaxcala, México. Volumen 10,

Número 1. Universidad Politécnica de Tlaxcala, Veracruz: ASyD

Vázquez, L. (2014). Las redes sociales online: el nuevo soporte del capital social.

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/12419/VazquezChas_Loreto_TD_2014.pdf

Viljoen, K., Blaauw, P., & Schenck, R. (2016). “I would rather have a decent job”: Potential

barriers preventing street-waste pickers from improving their socio-economic conditions.

South African Journal of Economic and Management Sciences, 19(2), 175–191.

<https://doi.org/10.17159/2222-3436/2016/v19n2a2>

Wang, Y., y Chen, G. (2023). Process optimization in waste management through technological advancements. *Waste Management*, 135, 81-93.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.017>

Wankhede, P., & Wanjari, M. (2021). Health Issues and Impact of Waste on Municipal Waste Handlers: A Review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33(46B), 577–581. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i46b32979>

Whittembury, K. (2021). Modelo de gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos para el distrito de la Banda de Shilcayo, 2020.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57745>

Wilson, D. C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., & Oelz, B. (2015). User manual for integrated sustainable waste management in low- and middle-income countries.

[https://eprints.whiterose.ac.uk/85319/3/Wasteaware ISWM benchmark indicators-Wilson_et_al-%20FINAL.pdf](https://eprints.whiterose.ac.uk/85319/3/Wasteaware_ISWM_benchmark_indicators-Wilson_et_al-%20FINAL.pdf)

World Bank. (2018). What a Waste: An Updated Look into the Future of Solid Waste Management. <https://www.worldbank.org/en/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

Zhang, X., Liu, X., y Chen, Y. (2022). Data analytics and digital tools in waste management: Enhancing operational efficiency and adaptability. *Journal of Environmental Management*, 305, 114500. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114500>

Zhu, X., Yu, H., y Zhang, Y. (2020). The role of IoT and AI in modern waste management systems. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101897.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101897>

Apéndices

Apéndice A. *Protocolos de investigación*



Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Doctorado en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Guía de sesiones: *FOCUS GROUP*

INVESTIGACIÓN: Modelo de proceso para la mejora en la eficiencia del rol del reciclador en la recuperación de residuos sólidos en centros urbanos

INVESTIGADOR: Carlos Julián Gallego Duque

TUTOR: Juan Sebastián Jaén Posada

ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: Complementaria

CONTEXTO DE ESTUDIO: Instituciones y organizaciones relacionadas con la mejora del proceso de aprovechamiento de los RSU

ETAPA: Recolección de la información cualitativa

A) Preparación

1. seleccionar Los actores sociales objeto de estudio, acordar y coordinar la ejecución de la técnica *focus group*.

2. Diseño de Matriz de actores sociales

Acción	Unidad	Criterio de selección inicial
Selección de sujetos de estudio	10-SC;1-VM; 6-GE; 18-JP; 19-SJ y 20-HD	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores; directivos de entidades privadas que lleven a cabo operaciones y procesos de reciclaje
	21-PM; 1-VM y 6-GE	Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores y gerente de empresas que hacen uso de material reciclado como materia prima
	22-LG; 1-VM y 6-GE	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadoras y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU

	22-LG y 6-GE	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; Investigadora y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU
	10-SC; 1-VM; 6-GE; 2-MR; 7-JG; 3-JR; 8-PR; 5-LG Y 9-OA	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; Autoridad académica del área de investigaciones UNAULA; Investigadores de diversas instituciones universitarias (Uniminuto, Universidad del Rosario y UNAULA)
	22-LG; 1-VM y 6-GE	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; Investigadores y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU
	1-VM; 6-GE; 23-JO; 24-JR; 25-JD; 10-SC; 11-RG y 22-LG	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; Investigadores, Personal de apoyo, Autoridad académica del área de investigaciones UNAULA y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU

	1-VM; 6-GE; 25-JD y 22-LG	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores, personal de apoyo y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU
	1-VM; 6-GE; 23-JO; 24-JR; 25-JD; 12-HC; 13-DC; 14-JC; 15-DD; 16-MA y 17-GP	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores, personal de apoyo y recicladores de oficio
	1-VM; 6-GE; 23-JO; 24-JR; 25-JD; 2-MR; 9-JR y 4-BG	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores y personal de apoyo
	1-VM; 6-GE; 23-JO; 24-JR; 25-JD; 2-MR; 9-JR; 4-BG y 22-LG	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; investigadores, personal de apoyo y directivo de cooperativas con prácticas de aprovechamiento de RSU
	25-JD; 10-SC; 26-MM y 27-MB	Conocimiento en el área de GRSU; Manejo de información sobre el proceso de aprovechamiento de los RSU; autoridad académica de UNAULA, profesionales universitarios

3. Presentar la intencionalidad investigativa a los actores sociales. Informar título, propósito y objetivos en una representación gráfica.

4. Exponer la naturaleza de la técnica a ejecutar y sus características, a los fines de explicar la participación en ella y sus procedimientos.

B) Organización

1. Acordar con fechas, horas y lugares de la ejecución de la técnica.
2. Confirmar la ejecución del *focus group* y la participación de los actores sociales
3. Diseño de **FICHA TÉCNICA DE FOCUS GROUP**

C) Ejecución

1. Explicación del proyecto
2. Ejecución del *focus group* (30 minutos aproximadamente)
- *dejar hablar si el actor social lo requiere
3. Asentamiento de actas para reportar información necesaria sobre observación *in situ*

*uso de las fichas de pregunta-estímulo para avanzar en el diálogo y para incitar a la información.

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 1

Conversemos acerca del proceso de manejo de residuos
¿Cuénteme si considera necesario que se lleven a cabo mejoras en el proceso de aprovechamiento de RSU?

¿Expliquen cuáles son las principales necesidades que las empresas compradoras del reciclaje?, ¿Cómo se mejoraría la calidad de los residuos y el bienestar de los recicladores?
¿Qué materiales tiene mayor importancia en términos de demanda, precios y usos?
¿Describame cuáles son las condiciones socioeconómicas enfrentan los recicladores?

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 2

Conversemos sobre el manejo de residuos plásticos en la Empresa
¿Cuénteme cuáles son los proveedores del material y características de este?
¿Expliquen cuáles son las condiciones de calidad y precio consideran para la compra de material?
¿Cuénteme cuáles son las necesidades que las Empresas compradoras del material reciclado tienen en términos de cantidad, calidad y precio?
¿Convérseme qué materiales tienen mayor importancia al momento de ser demandados por ENKA y sus compradores directos?
¿Describame cuáles son los principales factores que consideran importantes para mejorar el proceso de aprovechamiento de RSU?

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 3

Conversemos sobre el manejo de residuos en la Empresa
Cuénteme sobre las características socioeconómicas de los recicladores
Cuénteme acerca de los modelos de compra y manejo de material empleado por la Empresa.
¿Cuáles son las necesidades que la Empresa RECIMED tiene, con miras a atender a los compradores finales del material reciclado en términos de cantidad, calidad y precio?
¿Qué materiales tienen mayor importancia para ellos, precios y posibles pre-procesos para mejorar los niveles de ingresos de RECIMED y los recicladores?

Experiencias relevantes para el manejo de los diferentes RSU.

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 4

Se hace un resumen de los aspectos relevantes del manejo de los residuos sólidos y las necesidades identificadas.

Se conversa sobre la necesidad de aliados para mejorar el proceso de aprovechamiento de los RSU.
--

Se exponen fundamentos de articulación entre ruta, capacidad de recolección de materiales, data de bascula.

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 5

Visitas para gestionar alternativas de solución.
--

Información sobre el transporte de los RSU.

Acuerdos para gestionar medidas de mejora.
--

Cronogramas y acuerdo de cooperación.

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 6

Cuénteme sobre las rutas establecidas para el proceso de recolección y transporte de los RSU.

Descríbame la participación de los recicladores en el proceso de manejo de RSU.

Se discute acerca de los acuerdos para la identificación de mejoras.
--

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 7

Eficiencia del proceso de aprovechamiento de RSU en términos de cantidad y tiempo.
--

Etapas del proceso de aprovechamiento.
--

Tipos de materiales reciclados.

FICHAS PREGUNTAS-ESTÍMULO GRUPO FOCAL 8

Caracterización del proceso de aprovechamiento de RSU.
--

Incorporación de los recicladores.

Acuerdos y fechas.

Anexo B. Instrumento de microanálisis, codificación y categorización**Ficha Técnica de Codificación N°****(Código))**

Actores sociales			
Focus group. Fecha y hora			
Instrumento de recogida de datos: grabación de audio y video			
Material Textual extraído	Concepto	Subcategoría	Categoría

Anexo C. Matrices de ordenamientos conceptuales grupos focales*Ordenamiento conceptual: categorización GF1-6m-IDA*

Concepto	Subcategoría	Categoría
Selección del residuo	Cantidad del material aprovechable	
Mejores condiciones del residuo aprovechable	Calidad del material aprovechable	
Largas jornadas laborales		
Poca rentabilidad	Jornada laboral	Eficiencia del proceso
Costo del material aprovechable	Mejoras en las condiciones laborales de	
Condiciones laborales de los recicladores	los recicladores	
Remuneración del reciclador		
Nuevos productos	Mitigación del impacto ambiental	Economía circular
Valorización de los residuos	Impacto económico	
Reutilización	Uso eficiente de los recursos	
Disposición final		
Materiales reusables	Rentabilidad	Tipo de material
Materia prima	Comercialización	aprovechable
Separación	Usos	
Clasificación	Mercado	
Demanda		
Protección	Preservación ambiental	Sostenibilidad
Conocimiento	Cambio climático	
Cultura	Productividad	
Gestión		
Manejo de los residuos		

Ordenamiento conceptual: categorización GF2-3m-ID

Concepto	Subcategoría	Categoría
Alta demanda de RSU	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
Selección y separación	Calidad del material aprovechable	

 MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Productividad del reciclador	Formalización del rol del reciclador	
Rentabilidad		
Polipropileno	Usos en la industria del reciclaje	Tipo de material aprovechable
PET	Oferta y demanda	
Nuevos procesos productivos	Rentabilidad	
	Procesamiento	

Concepto	Subcategoría	Categoría
Selección del residuo	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
Mejores condiciones del residuo aprovechable	Calidad del material aprovechable	
Largas jornadas laborales		
Poca rentabilidad	Jornada laboral	
Costo del material aprovechable	Mejoras en las condiciones laborales de	
Condiciones laborales de los recicladores	los recicladores	
Remuneración del reciclador		
Nuevos productos	Mitigación del impacto ambiental	Economía circular
Valorización de los residuos	Impacto económico	
Reutilización	Uso eficiente de los recursos	
Disposición final		
Materiales reusables	Rentabilidad	Tipo de material
Materia prima	Comercialización	aprovechable
Separación	Usos	
Clasificación	Mercado	
Demanda		
	Preservación ambiental	
Protección	Cambio climático	Sostenibilidad
Conocimiento	Productividad	
Cultura		
Gestión		
Manejo de los residuos		

 MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Concepto	Subcategoría	Categoría
Control	Mejora continua	Gestión logística
Reducción	Innovación	
Organización		
Distribución		
Transporte		
Rutas		

Ordenamiento conceptual: categorización GF4-3m-ID

Concepto	Subcategoría	Categoría
Automatización	Innovación	
Modelo de recolección		Gestión logística
Rutas	Aprovechamiento de RSU	
Sistemas de datos		
Nuevos productos	Mitigación del impacto ambiental	Economía circular
Valorización de los residuos	Impacto económico	
Reutilización	Uso eficiente de los recursos	
Disposición final		

Ordenamiento conceptual: categorización GF5-10m-IA

Concepto	Subcategoría	Categoría
Residuo aprovechable	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
Capacidad	Costos	
Rendimiento	Rol del reciclador	
Materia prima	Rentabilidad	Tipo de material aprovechable
Separación	Comercialización	
Clasificación	Usos	
Transporte	Innovación	Gestión logística
Optimización	Operación integral	
Organización		

Ordenamiento conceptual: categorización GF6-3m-ID

MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Concepto	Subcategoría	Categoría
Necesidades	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
Mejoras	Tiempos de productividad	
Rentabilidad	Rol del reciclador	
Rutas	Operación integral	Gestión logística
Georreferenciación		
Costos		

Ordenamiento conceptual: categorización GF7-7m-IDA

Concepto	Subcategoría	Categoría
Necesidades	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
	Aseguramiento del material	
	Separación	
Tiempos	Tecnologías de bajo costo	Eficiencia del proceso
Rentabilidad	Rol del reciclador	
	Pesado del material aprovechable	
Dispositivos	Innovación Digital	Gestión logística
GPS		
Arduino		
Computación en la nube		
Frecuencia	Recolección	Gestión logística
Registros		
PET	Aprovechamiento del RSU	Tipo de material aprovechable
Cartón		
Papel		

Ordenamiento conceptual: categorización GF8-11m-IDA

Concepto	Subcategoría	Categoría
Tiempos	Cantidad del material aprovechable	Eficiencia del proceso
Rentabilidad	Calidad del material aprovechable	

 MODELO DE PROCESO: MEJORA EFICIENCIA DEL ROL DEL RECICLADOR.

Concepto	Subcategoría	Categoría
Jornadas laborales Costo del material aprovechable	Etapas de recolección y separación	
Valorización de los residuos Disposición final	Concientización Separación en la fuente	Cultura ambiental
Recolección Transporte Organización Rutas Uso de dispositivos móviles Micro rutas Relacionamiento con el usuario	Trabajo integral Innovación	Gestión logística
Materiales reusables Materia prima Transporte	Comercialización Manejo Demanda	Tipo de material aprovechable
