

**“Diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de
residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva,
comuna 6 del municipio de Neiva”**



LUISA CAMILA BELTRAN VARGAS

MARTHA LILIANA RAMIREZ CARVAJAL

JOSE DARIO RODRIGUEZ GOMEZ

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES, HUMANAS Y EMPRESARIALES

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

MAESTRIA EN GERENCIA LOGÍSTICA Y SUPPLY CHAIN

BOGOTÁ D.C.

2026

“Diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva, comuna 6 del municipio de Neiva”

LUISA CAMILA BELTRÁN VARGAS

MARTHA LILIANA RAMIREZ CARVAJAL

JOSE DARIO RODRIGUEZ GOMEZ

Proyecto de grado para el título de

MAGÍSTER EN GERENCIA LOGISTICA Y SUPPLY CHAIN

Asesor de trabajo:

ÁLVARO VILLA MARTÍNEZ

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES, HUMANAS Y EMPRESARIALES

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

MAESTRIA EN GERENCIA LOGÍSTICA Y SUPPLY CHAIN

BOGOTÁ D.C.

2026

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedicamos a nuestras familias,
quienes fueron un gran apoyo en todo este tiempo
de aprendizaje y esfuerzos. **Luisa Camila Beltrán Vargas**

Este trabajo está dedicado a mi familia, en especial a mis hijos, a mi esposo y a mis padres, quienes, a lo largo de este camino, lleno de retos y dificultades, me brindaron su apoyo incondicional, su comprensión y su fortaleza, impulsándome a no rendirme. Asimismo, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron con palabras de ánimo y motivación durante este proceso.

De manera especial, me lo dedico a mí misma, por la valentía, la disciplina y la perseverancia necesarias para culminar este arduo trabajo y alcanzar una meta más en mi vida.

Martha Liliana Ramirez Carvajal

Este trabajo se lo dedico a Dios, por su guía divina y constante en este camino de aprendizaje. A mi familia, pilar de mi vida, y de manera especial a mi esposa, quien me acompañó, apoyó y participó en todo momento durante el transcurso de esta Maestría, impulsándome con su amor incondicional a superar cada reto y alcanzar esta meta. **Jose Darío**

Rodriguez Gomez

Agradecimientos

Un profundo agradecimiento a todas aquellas personas que hicieron parte este sueño, a Dios por su sabiduría a lo largo de la Maestría en Gerencia Logística y Supply Chain, a nuestros compañeros de vida, por ser ese faro y eslabón que nos guía e impulsa en cada paso, a nuestros padres por ser pilares fundamentales para seguir adelante ser a los maestros por su compromiso y dedicación para para compartir sus conocimientos y en especial a mis compañeros, por su apoyo incondicional, constancia y por todas las horas compartidas que hicieron este camino más llevadero. ***Luisa Camila Beltrán Vargas***

Agradezco a Dios y a la Virgen por permitirme alcanzar este logro, que en algún momento consideré lejano, y por darme la fortaleza necesaria para culminar este proceso. A mis compañeros de clase, por su apoyo, paciencia y compañía a lo largo de este camino, especialmente en los momentos más exigentes. A los diferentes docentes que, durante el desarrollo de mi formación académica, compartieron sus conocimientos, orientaciones y experiencias, contribuyendo significativamente a mi crecimiento personal y profesional. ***Martha Liliana Ramirez Carvajal***

Expreso mi profundo agradecimiento a Dios por la oportunidad de culminar esta Maestría en Gerencia Logística y Supply Chain. A mi esposa, por su dedicación, acompañamiento constante y colaboración, cuya participación experta en herramientas tecnológicas fue indispensable para este logro. A mis compañeras, por la confianza depositada en mí, su paciencia y aporte permanente que nos permitió alcanzar el objetivo común. A los docentes, por compartir sus conocimientos con compromiso. ***Jose Darío Rodriguez Gomez***

Introducción

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) constituye uno de los principales desafíos ambientales y logísticos en ciudades intermedias como Neiva, donde el crecimiento urbano y las actividades constructivas han incrementado la generación de este tipo de residuos. La inadecuada disposición de los RCD no solo genera impactos negativos en el entorno ambiental, sino que también evidencia falencias en los procesos de planificación, control y articulación entre los actores involucrados.

En este contexto, el presente trabajo de grado tiene como propósito diseñar un modelo logístico integral para la gestión eficiente de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Neiva, orientado a optimizar los procesos de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final, bajo un enfoque de sostenibilidad y economía circular.

La relevancia del proyecto radica en la necesidad de fortalecer los sistemas actuales de gestión de residuos mediante la incorporación de herramientas de planificación logística, análisis de riesgos y estructuración de procesos que permitan una toma de decisiones más eficiente.

En consecuencia, se espera generar beneficios ambientales, operativos y sociales que contribuyan a la reducción de los impactos negativos y al fortalecimiento de prácticas responsables dentro del sector de la construcción.

Finalmente, el presente trabajo integra elementos metodológicos, técnicos y estratégicos que permiten diagnosticar la situación actual y formular un modelo de logística inversa técnicamente viable, alineado con los principios de sostenibilidad, economía circular y gestión eficiente de proyectos.

Resumen

La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) representa un desafío ambiental y logístico para las ciudades en crecimiento debido al incremento de las actividades constructivas y a las deficiencias en los sistemas de recolección, aprovechamiento y disposición final. En el sector Neiva La Nueva y la comuna 6 del municipio de Neiva se identificaron problemas asociados con la disposición informal de escombros, la baja trazabilidad y la limitada articulación entre los actores responsables.

Ante esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición generados por empresas constructoras y hogares del sector objeto de estudio, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial. Para su desarrollo se empleó una metodología de enfoque mixto, con alcance descriptivo y propositivo, basada en la aplicación de encuestas a hogares, revisión documental de fuentes normativas y técnicas, análisis de actores, evaluación de alternativas y formulación de un modelo estructurado bajo los principios de logística inversa y economía circular.

Los resultados del diagnóstico evidenciaron que existe un alto desconocimiento de los mecanismos formales de disposición de RCD, una participación significativa de transportadores informales y una limitada cultura de gestión adecuada de estos residuos. No obstante, se identificó una alta disposición de la comunidad para participar en esquemas organizados de recolección y separación de materiales, lo que representa una oportunidad para la implementación de estrategias de aprovechamiento y valorización. La evaluación de alternativas permitió seleccionar como opción más viable el diseño de un modelo integral multiactor de

logística inversa, debido a su capacidad para articular componentes logísticos, ambientales, institucionales y sociales dentro de una misma estructura de gestión.

Como resultado principal se estructuró una propuesta de modelo de logística inversa que integra procesos de generación, separación en la fuente, recolección, transporte, puntos de acopio, aprovechamiento, valorización y disposición final, incorporando mecanismos de control, seguimiento y articulación institucional. Asimismo, se desarrolló una evaluación prospectiva de viabilidad ambiental, logística e institucional que evidenció el potencial del modelo para reducir la disposición informal de residuos, incrementar el aprovechamiento de materiales y mejorar la trazabilidad del sistema.

Finalmente, se concluye que la logística inversa constituye una herramienta estratégica para fortalecer la gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición en el municipio de Neiva, permitiendo avanzar hacia esquemas de economía circular y desarrollo territorial sostenible. No obstante, la propuesta corresponde a una fase de diseño conceptual y metodológico, por lo que su implementación y validación operativa requerirán el compromiso de entidades gubernamentales, empresas constructoras, gestores de residuos y demás actores del territorio, así como futuras inversiones en infraestructura, tecnología y procesos de aprovechamiento que permitan materializar los beneficios proyectados por el modelo diseñado.

Palabras clave: logística inversa; residuos de construcción y demolición; economía circular; sostenibilidad; trazabilidad.

Tabla de Contenido

Introducción	5
Resumen.....	6
Índice de Figura	12
Índice de Tablas	13
1. Antecedentes	16
1.1. Antecedentes del problema	16
1.1.1. Descripción del problema	18
1.1.1.1. Árbol de problemas	24
Objetivos del proyecto	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos.....	27
1.1.1.2. Pregunta de investigación	27
1.1.2. Árbol de objetivos.....	27
1.1.3. Árbol de acciones	29
1.1.4. Identificación y Evaluación de Alternativas	32
1.1.5. Selección de alternativas y justificación de la propuesta del proyecto	34
1.1.5.1. Resultados de la encuesta aplicada.....	36
1.1.5.2. Análisis integrador de resultados.....	37
1.1.5.3. Evaluación cuantitativa del modelo propuesto	39
1.1.5.4. Criterios de selección de alternativas:	40
1.1.5.5. Justificación del proyecto	45
2. Marco metodológico	47
2.1. Tipo de estudio de investigación.....	47
2.2. Herramientas de recolección de información	49

2.2.1.	<i>Encuestas estructuradas</i>	49
2.2.2.	<i>Revisión documental</i>	50
2.3.	Fuentes de información.....	50
2.3.1.	<i>Fases de la investigación</i>	52
2.3.2.	<i>Diagnóstico y levantamiento de información</i>	52
2.3.3.	Análisis.....	53
2.3.4.	<i>Diseño / Propuesta</i>	53
3.	Marco teórico	54
3.1.	Bases conceptuales	54
3.1.1.	<i>Logística Inversa</i>	54
3.1.2.	<i>Economía Circular</i>	55
3.1.2.1.	<i>Gestión de Residuos y control logístico</i>	56
3.1.2.2.	<i>Trazabilidad y control logístico</i>	56
3.1.2.3.	<i>Enfoque sistémico y articulación de actores</i>	57
3.1.2.4.	<i>Estado del Arte</i>	57
3.2.	Marco normativo y legal.....	61
4.	Inicio del Proyecto	63
4.1.	Acta de Constitución de Proyecto.....	63
5.	Planeación del Proyecto.....	71
5.1.	Gestión de alcance	71
5.1.1.	<i>Gestión de Requisitos</i>	71
5.1.1.1.	<i>Requisitos del Negocio</i>	72
5.1.1.2.	<i>Requisitos de la Solución</i>	75
5.1.1.2.1.	<i>Requisitos Funcionales (RF)</i>	75
5.1.1.2.2.	<i>Requisitos No Funcionales (RNF)</i>	77

5.1.1.3.	<i>Matriz de Trazabilidad de Requisitos</i>	79
5.1.2.	<i>Enunciado del Alcance del Proyecto</i>	83
5.1.3.	<i>Estructura de desglose de trabajo (EDT)</i>	88
5.1.4.	<i>Diccionario de la EDT para paquetes de trabajo críticos</i>	89
5.2.	<i>Gestión de Cronograma</i>	90
5.2.1.	<i>Listado de actividades por paquete de trabajo</i>	91
5.2.2.	<i>Listado de hitos principales</i>	92
5.2.3.	<i>Cronograma de alto nivel por fases</i>	94
5.2.3.1.	<i>Fase 1. Gestión Del Proyecto</i>	96
5.2.3.2.	<i>Fase 2. Diagnóstico del sistema actual de RCD</i>	96
5.2.3.3.	<i>Fase 3. Diseño del modelo de logística inversa</i>	97
5.2.3.3.1.	<i>Estructura operativa del modelo de logística inversa</i>	98
5.2.3.3.2.	<i>Comparación entre el sistema actual y el modelo propuesto</i>	101
5.2.3.4.	<i>Fase 4. Evaluación de Viabilidad del modelo de logística inversa</i>	103
5.2.3.4.1.	<i>Evaluación ambiental</i>	103
5.2.3.4.2.	<i>Evaluación logística</i>	103
5.2.3.4.3.	<i>Evaluación institucional</i>	104
5.2.3.4.4.	<i>Análisis comparativo del sistema</i>	105
5.2.3.5.	<i>Fase 5. Formulación y presentación final del proyecto</i>	105
5.2.3.5.1.	<i>Integración del modelo</i>	106
5.2.3.5.2.	<i>Validación del modelo</i>	106
5.2.3.5.3.	<i>Consolidación del modelo final</i>	107
5.2.4.	<i>Línea base del cronograma</i>	108
5.3.	<i>Gestión de Costos</i>	111
5.3.1.	<i>Presupuesto por actividades</i>	112

5.3.2.	<i>Línea base de costos</i>	115
5.4.	Gestión de Recursos.....	118
5.4.1.	<i>Organigrama del Proyecto</i>	118
5.4.2.	<i>Matriz RACI</i>	119
5.5.	Gestión de Interesados y comunicaciones	121
5.5.1.	<i>Registro de Interesados</i>	121
5.5.2.	Clasificación de interesados según poder e interés	122
5.5.3.	Matriz del plan de involucramiento de interesados y comunicaciones.....	123
5.6.	Gestión de Riesgos	125
5.6.1.	<i>Estructura desagregación de riesgos (RBS)</i>	125
5.6.2.	<i>Listado de riesgos analizado por tipología</i>	127
5.6.3.	<i>Matriz de probabilidad e impacto</i>	129
5.6.4.	<i>Priorización de Riesgos (TOP 5)</i>	131
5.6.5.	<i>Estrategia de respuesta (TOP 5)</i>	133
5.6.6.	<i>Registro de Riesgo Resultante (Consolidado)</i>	135
6.	Lecciones aprendidas	138
7.	Conclusiones.....	140
7.1.	Recomendaciones	142
7.2.	Limitaciones de la investigación.....	144
8.	Referencias.....	145
9.	Anexos	149

Índice de Figura

Figura 1 Mapa de la ciudad de Neiva	24
Figura 2 Árbol de Problemas	26
Figura 3 Árbol de Objetivos	29
Figura 4 Árbol de Acciones	32
Figura 5 Pirámide de tipos de requisitos.....	72
Figura 6 Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)	89
Figura 7 Cronograma del proyecto elaborado en Microsoft Project.....	95
Figura 8 Modelo de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD).....	99
Figura 9 Comparación entre el sistema actual de gestión de RCD y el modelo de logística inversa propuesto	102
Figura 10 Línea base del cronograma.....	110
Figura 11 Curva S del proyecto	117
Figura 12 Organigrama del proyecto	118
Figura 13 Clasificación de interesados según poder e interés	122
Figura 14 Estrategia de Gestión por Categoría	123
Figura 15 Clasificación de interesados según poder e interés	124
Figura 16 Estructura de desagregación de riesgos.....	126

Índice de Tablas

Tabla 1 Resultados consolidados de la encuesta aplicada a hogares del sector Neiva La Nueva	38
Tabla 2 Indicadores de evaluación del modelo	39
Tabla 3. Resultados de la evaluación de alternativas.....	43
Tabla 4. Matriz de interesados Fuente: Elaboración propia de los autores	62
Tabla 5 Matriz de Requisitos del Negocio.....	73
Tabla 6 Matriz Requisitos Funcionales.....	76
Tabla 7 Matriz Requisitos No Funcionales.....	78
Tabla 8 Matriz de Trazabilidad de Requisitos	81
Tabla 9 Alcance del proyecto	83
Tabla 10 Diccionario de la EDT	90
Tabla 11 Plan de trabajo del proyecto.....	91
Tabla 12 Matriz de roles operativos.....	100
Tabla 13 Estimación de costo por actividades del proyecto	112
Tabla 14 Línea base de costos del proyecto.....	116
Tabla 15 Matriz RACI	120
Tabla 16 Registro de Interesados	121
Tabla 17 Matriz Análisis de Riesgos	127

Tabla 18 Escala de valoración de probabilidad e impacto.....	129
Tabla 19 Matriz de probabilidad e impacto	130
Tabla 20 Priorización de Riesgos	132
Tabla 21 Estrategia de Respuesta	134
Tabla 22 Registro de Riesgo Resultante	136

Índice de Anexos

Anexo A Encuesta aplicada a hogares del sector Neiva La Nueva	149
Anexo B Resultados de la encuesta aplicada	151
Anexo C Matriz Requisitos Funcionales	153
Anexo D Matriz Requisitos No Funcionales	155
Anexo E Matriz de Trazabilidad de Requisitos	156
Anexo F Diccionario EDT	165
Anexo G Listado de actividades por paquetes de trabajo	167

1. Antecedentes

El presente capítulo desarrolla el contexto general de la investigación, presentando los antecedentes relacionados con la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), la descripción de la problemática identificada en el sector de estudio, la formulación de la pregunta de investigación, los objetivos, la evaluación de alternativas y la justificación del proyecto. Su propósito es sustentar la necesidad de diseñar un modelo de logística inversa que contribuya al fortalecimiento de la gestión sostenible de los RCD en el municipio de Neiva.

1.1. Antecedentes del problema

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022) la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) se ha consolidado como una de las principales problemáticas ambientales asociadas al crecimiento urbano en Colombia. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación, los RCD representan uno de los flujos de residuos de mayor volumen y menor aprovechamiento a nivel nacional, generando impactos negativos sobre el suelo, el paisaje urbano y la salud pública cuando no cuentan con esquemas de gestión adecuados.

En respuesta a esta problemática, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución 472 de 2017, mediante la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia, estableciendo obligaciones para generadores, transportadores y autoridades ambientales territoriales. Esta normativa introduce lineamientos para la prevención, reutilización, aprovechamiento y disposición final controlada de los RCD, promoviendo su incorporación en esquemas de economía circular (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Min Ambiente, 2017).

Sin embargo, diversos diagnósticos institucionales han evidenciado que, pese a la existencia de un marco regulatorio definido, persisten debilidades en la implementación operativa y en la articulación logística entre actores públicos y privados, especialmente en municipios intermedios donde la capacidad técnica y de control es limitada (DNP, 2022). Esta situación genera brechas entre la regulación normativa y la práctica real de gestión de los RCD.

Ramírez (2018), realizó un estudio donde señala que la logística inversa constituye una herramienta estratégica para integrar los flujos de retorno de residuos a la cadena de suministro, promoviendo su reutilización, reciclaje o disposición final controlada. En Colombia, experiencias documentadas en empresas constructoras han demostrado que la aplicación de modelos de logística inversa mejora la trazabilidad de los residuos, reduce costos operativos y fortalece el cumplimiento normativo ambiental.

Desde un enfoque más amplio, la economía circular y la logística inversa se han consolidado como estrategias fundamentales para la gestión sostenible de residuos, al permitir el cierre de los ciclos de materiales y la reducción de impactos ambientales asociados a los procesos productivos. En este sentido, Ghisellini, Cialani y Ulgiati (2016) señalan que la implementación de modelos circulares en sectores intensivos en el uso de recursos, como la construcción, contribuye a optimizar el uso de materiales, disminuir la generación de residuos y fortalecer la sostenibilidad económica y ambiental de los territorios.

A nivel local, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva reconoce que los RCD representan aproximadamente el 9 % del total de residuos sólidos urbanos, y que su manejo se caracteriza por una baja separación en la fuente, escaso aprovechamiento y proliferación de escombreras ilegales, especialmente en zonas de expansión urbana y remodelación domiciliaria PGIRS NEIVA 2024 - 2028.

No obstante, los esfuerzos institucionales se han centrado principalmente en la disposición final de los residuos, sin incorporar de manera estructurada modelos de logística inversa que articulen a constructoras, transportadores y autoridades, generando una sobrecarga operativa para la secretaria de Medio Ambiente, La CAM y demás entidades gubernamentales.

1.1.1. Descripción del problema

En la ciudad de Neiva, particularmente en el sector Neiva La Nueva y los barrios aledaños de la Comuna 6, la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) constituye una problemática ambiental y logística asociada al crecimiento urbano del sector. La ejecución de proyectos constructivos formales y las intervenciones domiciliarias de ampliación y remodelación generan un volumen significativo de escombros que no siempre cuenta con esquemas adecuados de manejo.

A nivel nacional, los RCD representan uno de los flujos de residuos de mayor volumen y menor tasa de aprovechamiento en el país, lo que genera impactos negativos sobre el suelo, el paisaje urbano y la salud pública cuando no se gestionan adecuadamente (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2022). En el ámbito local, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) 2024–2028 del municipio de Neiva señala que estos residuos corresponden aproximadamente al 9 % del total de residuos sólidos urbanos y presentan baja separación en la fuente, escaso aprovechamiento y proliferación de escombreras ilegales, especialmente en zonas de expansión urbana (Alcaldía de Neiva, 2024).

En la Comuna 6, la gestión de RCD evidencia deficiencias relacionadas con la falta de planificación logística, limitada trazabilidad de los flujos de residuos y débil articulación entre generadores, transportadores y autoridades ambientales. Aunque la normativa nacional establece

obligaciones para los grandes generadores —mediante la Resolución 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible— en la práctica persisten disposiciones informales motivadas por reducción de costos, desconocimiento o limitada cultura ambiental.

En el caso de los hogares que realizan obras menores, la ausencia de presupuestación para la recolección formal y el desconocimiento de alternativas institucionales favorecen la disposición inadecuada en espacios públicos y zonas verdes. Esta situación refleja la persistencia de esquemas lineales de producción y consumo que dificultan el cierre de ciclos de materiales en el sector construcción (Ghisellini et al., 2016).

Como consecuencia, se incrementa la proliferación de escombreras ilegales, afectando la calidad ambiental, la movilidad y la planificación territorial del sector. Desde una perspectiva logística, el problema estructural radica en la ausencia de un sistema que planifique y optimice los flujos de retorno de los RCD desde su generación hasta su aprovechamiento o disposición final autorizada. La gestión actual mantiene un enfoque reactivo centrado en la disposición final, sin integrar mecanismos eficientes de coordinación, control y valorización de materiales.

En consecuencia, la deficiente estructuración de un sistema logístico integral para la gestión de RCD en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 genera disposición informal y proliferación de escombreras ilegales, afectando la sostenibilidad ambiental y la planificación territorial del sur del municipio de Neiva.

Alcance del problema (Territorial, Operativo e Institucional)

El presente estudio aborda la problemática de la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) desde un enfoque logístico, territorial e institucional, delimitando su análisis a

los actores, procesos y espacios directamente involucrados en la generación, manejo y control de este tipo de residuos en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

Alcance en términos de actores

Desde la perspectiva de los actores involucrados, el problema afecta de manera directa a:

- Empresas constructoras que desarrollan proyectos formales en el sector, las cuales, conforme a la normativa nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, 2021), están obligadas a implementar un Programa de Manejo Ambiental de RCD.
- Hogares de estratos 2 y 3 de la Comuna 6, que realizan obras menores y adecuaciones domiciliarias sin incorporar adecuadamente los costos logísticos y ambientales asociados a la disposición de residuos.
- Transportadores de escombros, tanto formales como informales, cuya operación incide directamente en la trazabilidad y destino final de los residuos.
- Empresas de servicios públicos encargadas de la recolección formal.
- Autoridades municipales y ambientales, particularmente la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y la Alcaldía de Neiva a través de la Secretaría de Planeación y la implementación del PGIRS.

La literatura especializada indica que la gestión eficiente de RCD requiere una articulación sistémica entre generadores, operadores logísticos y autoridades regulatorias, pues la fragmentación entre actores incrementa la informalidad y los costos del sistema (Govindan et al., 2021; DNP, 2022). En el caso de Neiva La Nueva, esta fragmentación limita la coordinación institucional y reduce la efectividad del control ambiental.

De manera indirecta, el problema impacta a la comunidad en general del sector, debido a los efectos ambientales, sanitarios y paisajísticos derivados de la disposición inadecuada de escombros.

Alcance operativo y logístico

Desde el punto de vista operativo, el alcance del problema comprende toda la cadena logística de los RCD, incluyendo:

Generación del residuo (en obras formales y domiciliarias).

- Separación en la fuente.
- Almacenamiento temporal.
- Recolección.
- Transporte.
- Aprovechamiento y valorización.
- Disposición final en sitios autorizados.

Según Ramírez (2018), la ausencia de planificación en los flujos de retorno de materiales impide integrar los residuos dentro de la cadena de suministro, lo que deriva en ineficiencias operativas y pérdida de oportunidades de valorización. De igual manera, Govindan et al. (2021) destacan que la logística inversa permite estructurar redes de recolección y recuperación que optimizan costos y reducen impactos ambientales.

En el contexto local, el PGIRS 2024–2028 (Alcaldía de Neiva, 2024) reconoce que el sistema actual se centra principalmente en la disposición final y no en el aprovechamiento estructurado de materiales pétreos. Esto limita el cumplimiento de los principios de economía

circular descritos por Ghisellini et al. (2016), quienes enfatizan la necesidad de cerrar ciclos de materiales en sectores intensivos como la construcción.

Por tanto, el alcance operativo del problema no se limita a la disposición inadecuada visible en el territorio, sino que incluye fallas estructurales en la planificación, coordinación y trazabilidad del flujo logístico de los RCD.

Alcance institucional y normativo

Desde la perspectiva institucional, el problema involucra directamente a:

- La CAM, como autoridad ambiental encargada del seguimiento y control del manejo de RCD.
- La Alcaldía Municipal de Neiva, a través del PGIRS.
- La Secretaría de Planeación Municipal, responsable de la supervisión de licencias de construcción.

Las Resoluciones 0472 de 2017 y 1257 de 2021 establecen obligaciones claras para los grandes generadores, orientadas a garantizar separación, aprovechamiento y disposición final en sitios autorizados. Sin embargo, la efectividad de esta normativa depende de la existencia de mecanismos logísticos que permitan verificar y controlar los flujos de residuos.

El DNP (2022) advierte que uno de los principales desafíos en la gestión de RCD en Colombia es la debilidad en los sistemas de seguimiento y trazabilidad, especialmente en ciudades intermedias. En este sentido, el problema en Neiva La Nueva no solo es ambiental, sino también de capacidad institucional para ejercer control eficiente bajo un esquema logístico integrado.

Alcance territorial

El alcance geográfico del estudio se centra en el sector Neiva La Nueva y los barrios aledaños de la Comuna 6 del municipio de Neiva, departamento del Huila. Este territorio se considera un caso de estudio representativo debido a:

- Su dinámica de expansión urbana.
- La coexistencia de proyectos formales y obras domiciliarias.
- La presencia identificada de escombreras ilegales.
- La concentración de hogares de estratos 2 y 3 con alta actividad de mejoramiento de vivienda.

Aunque la delimitación espacial es específica, la problemática presenta características estructurales comunes a otras zonas urbanas del municipio, lo que permite que los resultados del estudio tengan potencial de replicabilidad en otros sectores de Neiva.

Delimitación conceptual del alcance

Es importante precisar que el estudio:

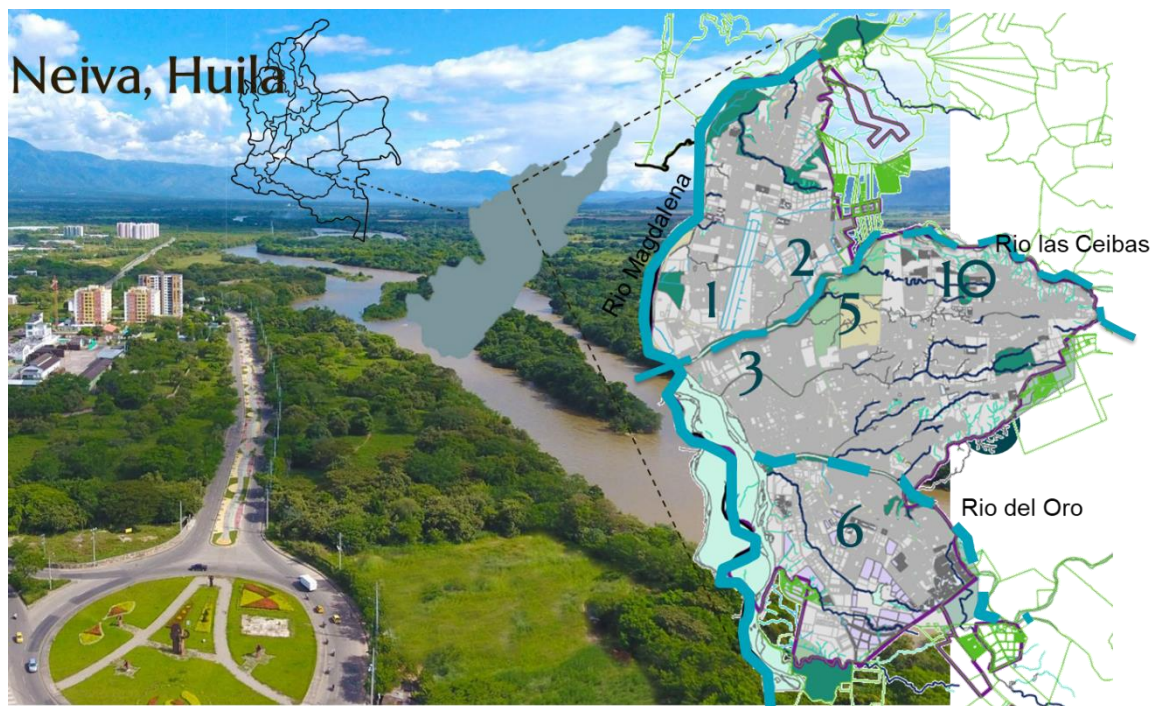
- No aborda residuos peligrosos ni residuos industriales distintos a RCD.
- No interviene directamente en la operación de empresas recolectoras.
- Se enfoca en el diseño de un modelo logístico y no en su implementación física.
- Se concentra en la optimización del flujo de retorno y la articulación institucional.

En consecuencia, el alcance del problema se configura como una problemática logística-territorial con implicaciones ambientales e institucionales, cuya solución requiere el diseño de un

modelo de logística inversa que permita estructurar, coordinar y optimizar los flujos de residuos desde su generación hasta su disposición o aprovechamiento final.

Figura 1

Mapa de la ciudad de Neiva



Nota. Elaborado por la arquitecta Delmar Baracaldo con base en la cartografía oficial del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Neiva.

1.1.1.1. *Árbol de problemas*

El problema central identificado en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva es la deficiente estructuración de un sistema logístico integral para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual genera como consecuencia directa la disposición informal de escombros y la proliferación de escombreras ilegales, afectando la sostenibilidad ambiental y la planificación territorial del sector.

Este problema se origina a partir de diversas causas estructurales. En primer lugar, se evidencia una falta de planificación logística en la gestión de los residuos, lo que impide organizar adecuadamente los flujos de recolección, transporte y disposición final. A esto se suma la baja trazabilidad de los residuos, que dificulta el seguimiento desde su generación hasta su destino final, favoreciendo prácticas informales.

Adicionalmente, existe una débil articulación institucional entre los actores involucrados, como autoridades ambientales, empresas constructoras, transportadores y comunidad, lo que genera fragmentación en la gestión del sistema. Esta situación se ve agravada por la limitada cultura ciudadana y el desconocimiento de los servicios formales, especialmente en los hogares que realizan obras menores.

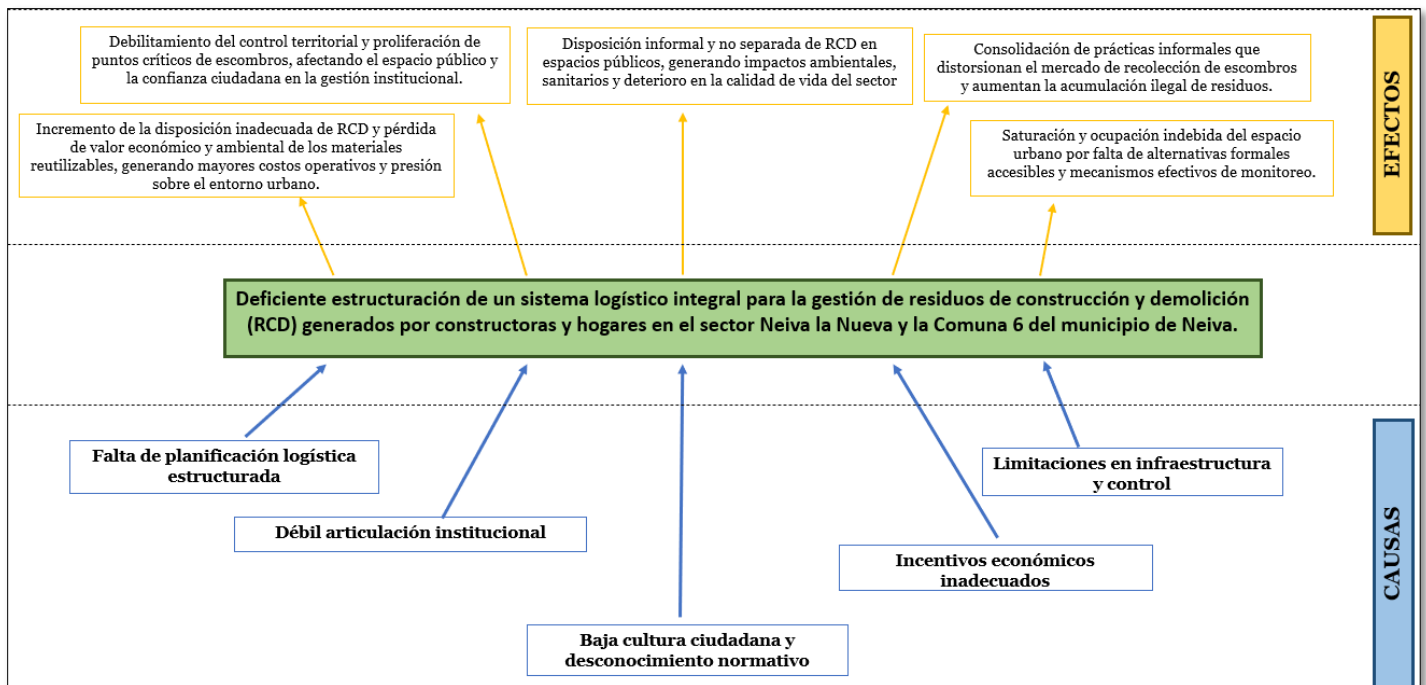
Otra causa importante es la informalidad en el transporte y disposición de escombros, motivada por menores costos y ausencia de control efectivo. Como resultado se identifican limitaciones en infraestructura y mecanismos de control territorial, lo que facilita la aparición de puntos críticos de disposición ilegal.

Como consecuencia de estas causas, se generan múltiples efectos negativos. Entre ellos, el deterioro del ambiente urbano, evidenciado en la contaminación del suelo, afectaciones paisajísticas y obstrucción de drenajes. También se presentan impactos en la salud pública y la calidad de vida de la comunidad, así como problemas de movilidad y planificación territorial.

De igual forma, el sistema actual genera una sobrecarga operativa para las autoridades municipales, quienes deben destinar recursos adicionales para la limpieza y control de escombreras ilegales. Finalmente, se pierde la oportunidad de aprovechar materiales reciclables, lo que limita la implementación de modelos de economía circular en el sector construcción.

Figura 2

Árbol de problemas



Nota. Elaboración propia de los autores

Objetivos del proyecto

Objetivo General

Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, identificando actores, flujos logísticos, prácticas de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.
- Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los RCD generados en el área de estudio, bajo los principios de logística inversa y economía circular.
- Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD en el sector objeto de estudio.
- Evaluar de manera prospectiva la viabilidad ambiental, logística y territorial del modelo propuesto para la reducción de la disposición informal de RCD.

1.1.1.2. *Pregunta de investigación*

¿Cómo estructurar un modelo de logística inversa para la gestión integral de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 de la ciudad de Neiva, que contribuya a reducir la disposición informal y las escombreras ilegales?

1.1.2. *Árbol de objetivos*

En respuesta al problema identificado, se plantea como objetivo central el diseño de un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial.

Para lograr este propósito, se establecen una serie de medios u objetivos específicos que buscan transformar las causas del problema en condiciones deseables. En primer lugar, se

propone fortalecer la planificación logística del sistema de gestión de RCD, mediante la estructuración de flujos organizados de recolección, transporte y disposición.

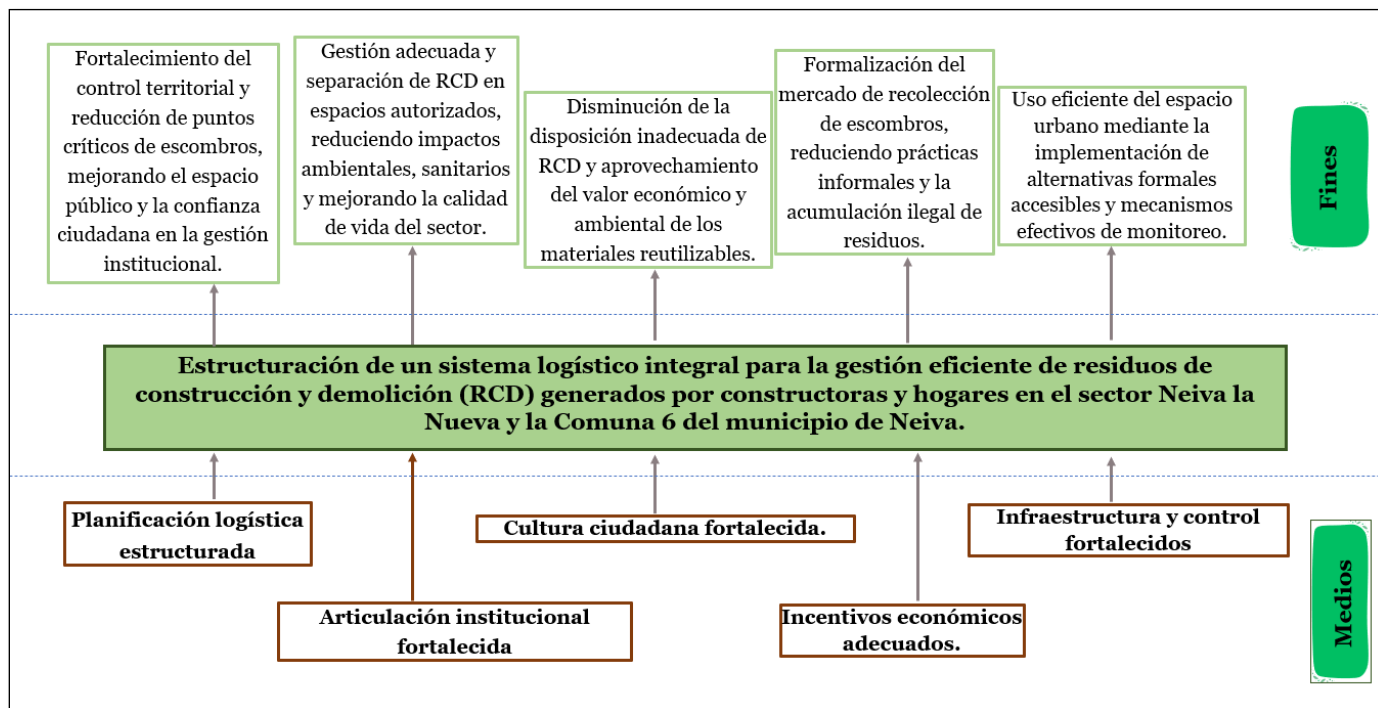
Como resultado se plantea mejorar la trazabilidad de los residuos, implementando mecanismos que permitan hacer seguimiento a los RCD desde su generación hasta su destino final. De igual manera, se busca fortalecer la articulación institucional entre los actores, promoviendo la coordinación entre entidades públicas, empresas constructoras, transportadores y comunidad.

Otro objetivo clave es promover la cultura ciudadana y el conocimiento del manejo adecuado de residuos, incentivando la participación de los hogares en esquemas formales de gestión. También se propone reducir la informalidad en el transporte y disposición de escombros, mediante estrategias de formalización y control.

Adicionalmente, se plantea fortalecer los mecanismos de control territorial y la infraestructura disponible, con el fin de mejorar la gestión del sistema y evitar la disposición inadecuada de residuos.

Como resultado de la implementación de estos medios, se esperan varios fines o impactos positivos. Entre ellos, la reducción de escombreras ilegales, el mejoramiento de la calidad ambiental y del espacio público, y el fortalecimiento de la planificación territorial del sector.

También se proyecta una mayor eficiencia en la gestión institucional, con reducción de costos operativos para el municipio, así como el aprovechamiento de materiales reciclables, promoviendo la economía circular. Finalmente, se espera una mejora en la calidad de vida de la comunidad, gracias a un entorno más limpio, organizado y sostenible.

Figura 3*Árbol de objetivos*

Nota: Elaboración propia de los autores

1.1.3. Árbol de acciones

Constituye una herramienta metodológica que permite traducir los medios identificados en el árbol de objetivos en un conjunto estructurado de intervenciones orientadas a la solución del problema central. En este caso, dichas acciones se enfocan en abordar la deficiente estructuración del sistema logístico para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

A partir del análisis realizado, las acciones se organizan en cuatro dimensiones estratégicas: logística, institucional, social y económica. Esta clasificación permite estructurar de

manera integral las intervenciones necesarias y, a su vez, facilita la construcción de alternativas de solución a partir de la combinación de dichas acciones.

En la dimensión logística, se plantean acciones orientadas a la organización y optimización de los flujos de recolección, transporte y disposición de los residuos. Entre estas se incluyen el diseño de rutas de recolección de RCD, la definición de cobertura y frecuencia del servicio, el establecimiento de zonas de transferencia, la creación de puntos de acopio autorizados y la implementación de centros de aprovechamiento. Estas acciones responden a la necesidad de estructurar un sistema eficiente que permita gestionar adecuadamente los residuos desde su generación hasta su disposición final o valorización.

En la dimensión institucional, las acciones se orientan a fortalecer la articulación entre los actores involucrados en la gestión de los RCD. En este sentido, se propone la definición de roles y responsabilidades entre entidades como la Alcaldía de Neiva, la autoridad ambiental (CAM), empresas constructoras y transportadores, así como la implementación de mesas de coordinación interinstitucional. Adicionalmente, se plantea el fortalecimiento de los mecanismos de control y seguimiento, junto con la mejora de los procesos de supervisión del manejo de residuos, con el fin de reducir la informalidad y garantizar el cumplimiento normativo.

Por su parte, la dimensión social incorpora acciones dirigidas a fortalecer la cultura ciudadana frente al manejo de residuos. Estas incluyen el diseño de campañas de educación ambiental, la promoción de la separación en la fuente, la difusión del servicio formal de recolección y la sensibilización sobre los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de escombros. Estas acciones resultan fundamentales para incentivar cambios de comportamiento en los hogares, los cuales representan una fuente significativa de generación de RCD en el territorio.

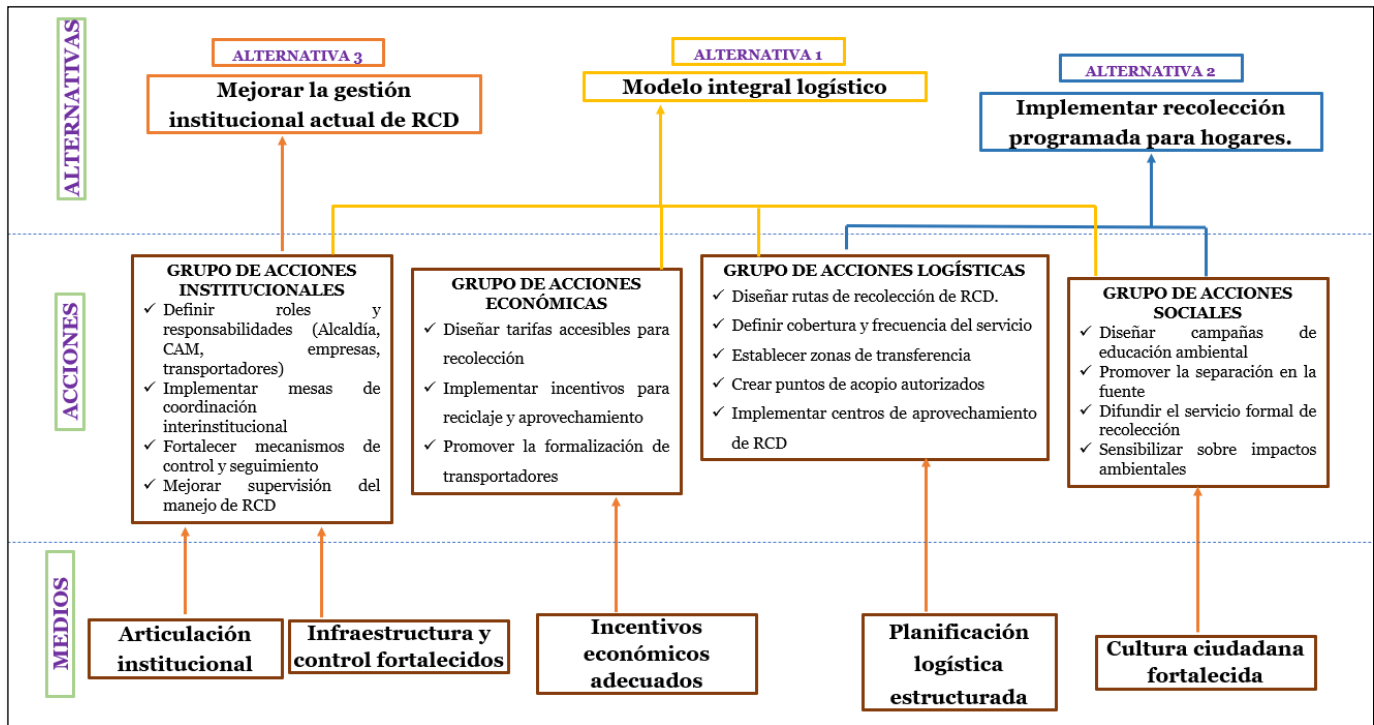
Finalmente, la dimensión económica contempla acciones orientadas a generar condiciones que favorezcan la sostenibilidad del sistema. En este sentido, se propone el diseño de tarifas accesibles para la recolección de residuos, la implementación de incentivos para el reciclaje y el aprovechamiento de materiales, y la promoción de la formalización de transportadores. Estas medidas buscan reducir las barreras económicas que actualmente favorecen la disposición informal de los residuos.

A partir de la combinación de estas acciones se configuran tres alternativas de solución. La primera corresponde al fortalecimiento de la gestión institucional actual, la cual se sustenta principalmente en acciones de tipo institucional y de control. La segunda alternativa plantea la implementación de un sistema de recolección programada para hogares, integrando acciones logísticas básicas y estrategias de sensibilización social. Finalmente, la tercera alternativa consiste en el diseño de un modelo integral de logística inversa, el cual articula de manera simultánea las acciones logísticas, institucionales, sociales y económicas.

El análisis comparativo de estas alternativas permite evidenciar que el modelo integral de logística inversa presenta un enfoque sistémico y una mayor capacidad de intervención sobre las causas estructurales del problema, al integrar todos los componentes necesarios para la gestión eficiente de los RCD. En consecuencia, esta alternativa se posiciona como la opción más adecuada para el contexto del sector de estudio, al ofrecer una solución integral, sostenible y con potencial de replicabilidad en otros sectores urbanos del municipio.

Figura 4

Árbol de acciones



Nota: Elaboración propia de los autores

1.1.4. Identificación y Evaluación de Alternativas

Con base en el análisis del árbol de problemas, el árbol de objetivos, el árbol de acciones y la caracterización territorial del sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, se identificaron tres alternativas estratégicas orientadas a mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el territorio de estudio.

Las alternativas planteadas buscan responder a las causas estructurales del problema, tales como la falta de planificación logística, la débil articulación institucional, la baja cultura ciudadana frente al manejo de los residuos y las limitaciones en infraestructura y control territorial.

Alternativa 1: Diseñar e implementar un modelo integral multiactor de logística inversa

Diseñar e implementar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición, que articule a los diferentes actores involucrados en la generación, recolección, transporte y aprovechamiento de los residuos.

El modelo contempla la participación de hogares generadores, empresas constructoras, transportadores, autoridades ambientales y entidades municipales, incorporando mecanismos de trazabilidad de los residuos, coordinación institucional, optimización de flujos logísticos y aprovechamiento de materiales bajo principios de economía circular.

Asimismo, plantea el diseño de una red logística territorial con puntos autorizados de recepción de residuos, estrategias de sensibilización ciudadana y mecanismos institucionales que faciliten el control y seguimiento de la gestión de los RCD.

Alternativa 2: Implementar un sistema de recolección programada para hogares generadores de RCD.

Implementar un sistema de recolección programada dirigido principalmente a hogares de estratos 2 y 3 que realizan actividades de remodelación o pequeñas obras, con el fin de reducir la disposición inadecuada de residuos en espacios públicos.

El sistema estaría acompañado de campañas de sensibilización ciudadana, estrategias de educación ambiental y mecanismos de coordinación con operadores de recolección, con el propósito de mejorar las prácticas de manejo de los residuos generados en el ámbito doméstico.

Aunque esta alternativa permite intervenir una fuente importante de generación de RCD, su alcance se limita principalmente al sector residencial, por lo que su impacto territorial sería

menor en comparación con una intervención integral.

Alternativa 3: Fortalecer los mecanismos institucionales de control y regulación para la gestión de RCD.

Fortalecer los mecanismos institucionales de control, regulación y seguimiento relacionados con la disposición de residuos de construcción y demolición, mediante la articulación entre autoridades ambientales, administración municipal y actores del sector de la construcción.

La propuesta contempla establecer instrumentos de control territorial, mejorar los procesos de supervisión y promover incentivos regulatorios para el manejo adecuado de los residuos, con el fin de reducir prácticas informales de disposición y promover el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Para la evaluación preliminar de las alternativas se consideraron criterios como alcance territorial, impacto ambiental esperado, viabilidad institucional, sostenibilidad económica y potencial de replicabilidad.

El análisis comparativo permitió determinar que la alternativa de diseño e implementación de un modelo integral multiactor de logística inversa presenta mayor capacidad de incidencia estructural, debido a que permite intervenir simultáneamente las principales fuentes generadoras de residuos, fortalecer la coordinación entre actores institucionales y promover el aprovechamiento de materiales en el marco de la economía circular.

1.1.5. Selección de alternativas y justificación de la propuesta del proyecto

El análisis comparativo de las alternativas permitió identificar que la alternativa integral multiactor de logística inversa presenta mayor capacidad de impacto estructural y sostenibilidad

en el tiempo, al abordar de manera simultánea varias de las causas identificadas en el árbol de problemas, tales como la falta de planificación logística, la débil articulación institucional, la informalidad en la recolección y la baja trazabilidad de los flujos de residuos de construcción y demolición (RCD).

En este sentido, se selecciona la Alternativa 1: Diseño e implementación de un modelo integral multiactor de logística inversa, como la opción más pertinente para el contexto del sector Neiva La Nueva, debido a que:

- Permite intervenir tanto grandes como pequeños generadores de residuos de construcción, incluyendo hogares, empresas constructoras y actores del sector transporte.
- Se alinea con la normativa ambiental vigente, particularmente con las disposiciones establecidas en la Resolución 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021.
- Contribuye al fortalecimiento de los lineamientos establecidos en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva.
- Genera mayor impacto ambiental y territorial, al promover el aprovechamiento de materiales y reducir la disposición inadecuada de escombros.
- Presenta mayor potencial de escalabilidad, permitiendo replicar el modelo en otros sectores urbanos del municipio.

De esta manera, la alternativa seleccionada constituye una respuesta sistémica al problema identificado, superando enfoques parciales centrados únicamente en un tipo de generador o en acciones aisladas de control.

1.1.5.1. *Resultados de la encuesta aplicada*

Con el propósito de caracterizar las prácticas de generación y manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva, se aplicó una encuesta estructurada a 46 hogares. El instrumento completo se presenta en el Anexo A, mientras que los resultados detallados se encuentran en el Anexo B.

- **Pregunta 1. Realización de remodelaciones**

Los resultados evidencian que el 86,96 % de los encuestados ha realizado remodelaciones o adecuaciones en su vivienda durante los últimos dos años, lo cual confirma la existencia de una generación frecuente de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector residencial.

- **Pregunta 2. Tipo de intervención realizada**

Las principales intervenciones corresponden a remodelaciones internas, ampliaciones y cambios de pisos o enchapes, lo que indica una generación constante de residuos de construcción de baja escala, pero alta frecuencia. Este comportamiento es característico de contextos urbanos residenciales, donde la generación de RCD no proviene exclusivamente de grandes obras, sino de intervenciones domiciliarias recurrentes, lo que dificulta su control y gestión dentro de esquemas tradicionales.

- **Pregunta 3. Disposición de escombros**

En relación con las prácticas de disposición de los escombros, se identificó una alta dependencia de transportadores informales, siendo esta la opción más seleccionada por los encuestados (22 respuestas). Este hallazgo evidencia debilidades en la formalización del servicio de recolección y en los mecanismos de control y seguimiento de los flujos de residuos, lo que puede favorecer prácticas de disposición inadecuadas en el territorio.

- **Pregunta 4. Conocimiento del servicio formal**

El 63,04 % de los encuestados manifestó no conocer la existencia del servicio formal de recolección de escombros del municipio, lo que evidencia una brecha significativa en términos de información, comunicación institucional y acceso a servicios formales de gestión de residuos.

- **Pregunta 5. Percepción del costo del servicio**

Una proporción relevante de los encuestados percibe el servicio formal como costoso o desconoce su valor, lo que influye directamente en la preferencia por alternativas informales de disposición de residuos.

- **Pregunta 6. Disposición a pagar por un servicio organizado**

Los resultados evidencian que el 58,70 % de los encuestados estaría dispuesto a pagar por un servicio organizado y programado de recolección de residuos de construcción, mientras que un 43,48 % condiciona su decisión al costo. Este resultado indica que la viabilidad económica del sistema depende de la implementación de esquemas tarifarios accesibles y diferenciados.

- **Pregunta 7. Disposición a separar residuos**

Se identificó que el 97,83 % de los encuestados estaría dispuesto a separar los residuos si existiera un sistema que permita su aprovechamiento, lo cual representa una oportunidad significativa para la implementación de estrategias de economía circular en el sector.

1.1.5.2. Análisis integrador de resultados

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan empíricamente la problemática identificada en el árbol de problemas, particularmente en lo relacionado con la informalidad en la recolección, la baja trazabilidad de los residuos y la limitada articulación institucional.

Asimismo, evidencian una contradicción relevante: mientras existe una alta disposición ciudadana para separar residuos y participar en esquemas formales, persisten prácticas informales asociadas al desconocimiento del servicio, la percepción de altos costos y la ausencia de un sistema logístico estructurado.

Este hallazgo refuerza la necesidad de diseñar un modelo integral de logística inversa que no solo optimice los flujos de recolección y disposición, sino que también integre estrategias de educación, accesibilidad económica y fortalecimiento institucional, tal como se plantea en la alternativa seleccionada del proyecto.

Tabla 1

Resultados consolidados de la encuesta aplicada a hogares del sector Neiva La Nueva

Variable evaluada	Resultado	Porcentaje
Hogares que realizaron remodelaciones en los últimos 2 años	40 de 46	86,96%
Hogares que no conocen el servicio formal de recolección	29 de 46	63,04%
Hogares que utilizan transportadores informales	22 de 46	47,82%
Disposición a separar residuos para aprovechamiento	45 de 46	97,83%
Disposición a pagar por servicio organizado	27 de 46	58,70%
Disposición condicionada al costo	20 de 46	43,48%

Nota: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026)

Estos resultados permiten establecer una línea base cuantitativa que sirve como referencia para la evaluación del impacto del modelo propuesto.

1.1.5.3. Evaluación cuantitativa del modelo propuesto

Con el propósito de evaluar el impacto del modelo de logística inversa propuesto, se establece un análisis cuantitativo comparativo entre la situación actual y el escenario proyectado. Este análisis se fundamenta en la información recolectada mediante encuestas, permitiendo definir indicadores clave de desempeño relacionados con la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD).

Tabla 2

Indicadores de evaluación del modelo

Indicador	Situación actual	Escenario propuesto	Fuente / Justificación
Disposición informal de residuos de construcción y demolición (RCD)	47,8%	15% – 20%	Resultados de encuestas
Nivel de aprovechamiento	<10%	40% – 60%	Implementación de CA
Trazabilidad del sistema	Baja trazabilidad	Alta trazabilidad	Control institucional
Costos logísticos (COP/ton)	Altos (no estructurados)	Reducción estimada 20%–30%	Optimización de rutas
Frecuencia de recolección	Irregular	Programada	Modelo propuesto

Nota: Elaboración propia de los autores

Los resultados evidencian que la implementación del modelo propuesto permitiría una reducción significativa en la disposición informal de residuos, así como un incremento en el aprovechamiento de materiales. Asimismo, la estructuración del sistema logístico contribuye a

mejorar la trazabilidad y optimizar los costos operativos, generando mayor eficiencia en la gestión de los RCD en el municipio de Neiva.

1.1.5.4. Criterios de selección de alternativas:

Con el fin de determinar la alternativa más adecuada para abordar la problemática identificada, se realizó una evaluación comparativa de las alternativas propuestas mediante una matriz multicriterio.

Los criterios de evaluación fueron definidos considerando los aspectos técnicos, económicos, institucionales, ambientales y sociales relevantes para la implementación de un modelo de gestión de residuos de construcción y demolición en el municipio de Neiva.

Los criterios utilizados fueron los siguientes:

- Viabilidad técnica: Capacidad de la alternativa para implementarse utilizando los recursos técnicos, tecnológicos y operativos disponibles en el municipio de Neiva.
- Viabilidad económica: Posibilidad de ejecutar la alternativa considerando los costos de implementación y la disponibilidad de recursos financieros.
- Viabilidad institucional: Grado en que la alternativa puede ser implementada mediante la coordinación entre las instituciones públicas, autoridades ambientales y actores del sector construcción.
- Impacto ambiental: Potencial de la alternativa para reducir la disposición inadecuada de residuos de construcción y aumentar el aprovechamiento de materiales reciclables.
- Impacto social: Capacidad de la alternativa para generar beneficios a la comunidad,

mejorar las condiciones del entorno urbano y promover la participación ciudadana.

- Alineación normativa: Nivel de coherencia de la alternativa con la normativa vigente en materia de gestión de residuos sólidos y residuos de construcción y demolición en Colombia.
- Sostenibilidad en el tiempo: Posibilidad de mantener la implementación de la alternativa mediante mecanismos institucionales, operativos y financieros que garanticen su continuidad.
- Articulación de actores: Capacidad de la alternativa para integrar de manera coordinada a los diferentes actores involucrados, incluyendo autoridades locales, empresas constructoras, operadores de residuos y comunidad.

Para la evaluación se utilizó una escala ordinal de calificación de 1 a 5, donde 1 representa un nivel muy bajo de cumplimiento del criterio y 5 un nivel muy alto. Esta escala permite realizar una comparación estructurada entre alternativas, facilitando la toma de decisiones en contextos con múltiples variables cualitativas.

Con el fin de garantizar la consistencia metodológica del proceso de evaluación, los criterios seleccionados fueron definidos a partir de la revisión de literatura especializada en gestión de residuos de construcción y demolición, modelos de logística inversa y criterios para la evaluación de alternativas en sistemas de gestión sostenible. La literatura señala que la evaluación multicriterio constituye una herramienta ampliamente utilizada para apoyar la toma de decisiones en problemas complejos, al permitir integrar de manera sistemática variables técnicas, económicas, ambientales e institucionales dentro de un mismo proceso de análisis (Govindan, Soleimani, & Kannan, 2015).

Dado el carácter exploratorio y aplicado del estudio, se optó por asignar una ponderación equitativa a todos los criterios de evaluación, considerando que cada uno de ellos representa una dimensión crítica para la viabilidad integral de la alternativa propuesta (técnica, económica, institucional, ambiental y social). Esta decisión permite evitar sesgos en la valoración y garantiza un análisis equilibrado entre los diferentes factores involucrados.

Asimismo, la evaluación fue realizada con base en el juicio técnico de los investigadores, sustentado en la información recolectada en campo, el análisis del sistema actual, la revisión documental y los lineamientos establecidos en la normativa vigente, lo que asegura la coherencia entre el diagnóstico realizado y la alternativa seleccionada.

La ponderación de los criterios se realizó considerando la naturaleza estructural del problema identificado en el árbol de problemas, priorizando aquellos aspectos relacionados con la articulación institucional, el impacto ambiental y la sostenibilidad del sistema de gestión.

La evaluación de alternativas se realizó mediante una matriz multicriterio, en la cual se asignó una ponderación equitativa a los criterios definidos de acuerdo con su importancia para la solución del problema. Las calificaciones otorgadas a cada alternativa se fundamentaron en su nivel de contribución a la eficiencia logística, la sostenibilidad ambiental, la viabilidad técnica y la articulación institucional, permitiendo una comparación objetiva entre las opciones planteadas.

Tabla 3.*Resultados de la evaluación de alternativas*

Criterio	Alternativa 1: Modelo integral multiactor de logística inversa	Alternativa 2: Sistema de recolección programada	Alternativa 3: Fortalecimiento institucional y de control
Viabilidad técnica	5	3	2
Viabilidad económica	4	3	2
Viabilidad institucional	5	3	2
Impacto ambiental	5	3	1
Impacto social	4	3	2
Alineación normativa	5	4	3
Sostenibilidad en el tiempo	5	3	2
Articulación de actores	5	3	1
Total	38	25	15

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis realizado evidencia una diferenciación clara entre las alternativas evaluadas, en la cual la alternativa 1 obtiene el mayor puntaje, destacándose por su enfoque integral que articula de manera efectiva aspectos técnicos, ambientales, institucionales y sociales. Esta alternativa presenta ventajas significativas en términos de impacto ambiental, sostenibilidad y viabilidad de implementación en el contexto territorial analizado.

De acuerdo con los enfoques metodológicos de evaluación de proyectos que utilizan matrices multicriterio para comparar alternativas de intervención (CEPAL, 2005; Departamento

Nacional de Planeación, 2022), se realizó el análisis de los resultados obtenidos en la matriz de evaluación.

Los resultados muestran que la alternativa 1 presenta la mayor puntuación total (38 puntos), superando a las alternativas 2 y 3, las cuales obtuvieron 25 y 15 puntos respectivamente.

Este resultado confirma que la alternativa 1 alcanza un desempeño superior en los criterios evaluados, destacándose especialmente en su viabilidad técnica, económica e institucional, así como en su potencial de impacto ambiental y social en el territorio.

La opción seleccionada corresponde al diseño e implementación de un modelo integral multiactor de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición, el cual permite abordar de manera simultánea las principales causas identificadas en el árbol de problemas, tales como la falta de planificación logística, la débil articulación institucional y la limitada trazabilidad en los flujos de residuos.

Este resultado confirma que la alternativa 1 alcanza un desempeño superior en los criterios evaluados, destacándose especialmente en su viabilidad técnica, económica e institucional, así como en su potencial de impacto ambiental y social en el territorio.

En comparación, la alternativa 2 presenta un enfoque parcial centrado en algunos componentes del sistema, lo que limita su alcance, mientras que la alternativa 3 prioriza acciones de control institucional sin abordar de manera integral los procesos logísticos asociados a la gestión de los residuos.

En este sentido, la alternativa 1 se consolida como la opción más adecuada para el desarrollo del modelo propuesto, al ofrecer una solución sistémica que integra de manera articulada los componentes logísticos, institucionales, ambientales y sociales. Su implementación

permitiría no solo optimizar la gestión de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva, sino también avanzar hacia un modelo sostenible y replicable en otros contextos urbanos similares.

1.1.5.5. Justificación del proyecto

La inadecuada gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva representa una problemática ambiental y logística que incide directamente en la sostenibilidad urbana, la eficiencia en el uso de recursos y la calidad del espacio público. El crecimiento de obras menores y adecuaciones domiciliarias, sumado a la baja separación en la fuente y a la informalidad en el transporte y disposición de estos residuos, ha favorecido la proliferación de escombreras ilegales y el deterioro ambiental en zonas residenciales.

De acuerdo con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Neiva, los residuos de construcción y demolición constituyen un flujo significativo dentro de los residuos sólidos urbanos y presentan bajos niveles de aprovechamiento y trazabilidad. Aunque el PGIRS reconoce la necesidad de fortalecer los mecanismos de gestión y control, aún no se ha estructurado un modelo integral de logística inversa que articule de manera eficiente a los diferentes actores involucrados en la cadena de generación, transporte y disposición de estos residuos.

La ausencia de un esquema organizado de logística inversa perpetúa impactos ambientales como la contaminación del suelo, afectaciones paisajísticas, obstrucción de drenajes y aumento de costos operativos para la administración municipal asociados a la limpieza y recuperación de puntos críticos. Además, limita la posibilidad de aprovechar materiales

reciclables que podrían reincorporarse a procesos productivos bajo un enfoque de economía circular.

Los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a hogares del sector evidencian que una alta proporción de residentes ha realizado remodelaciones recientes y que una parte significativa de los residuos generados es gestionada a través de transportadores informales, lo que confirma la existencia de debilidades en la organización del sistema de recolección y disposición de RCD. No obstante, también se identificó una alta disposición de los ciudadanos a separar los residuos para su aprovechamiento, lo que representa una oportunidad estratégica para implementar esquemas formales de gestión basados en principios de economía circular.

Desde el ámbito académico y técnico, si bien la literatura reciente ha desarrollado modelos de gestión sostenible de RCD en grandes centros urbanos, existe un vacío en propuestas aplicadas a ciudades intermedias como Neiva, donde la generación de residuos proviene en gran medida de intervenciones de pequeña escala y remodelaciones domiciliarias. Esta particularidad demanda soluciones logísticas adaptadas al contexto territorial y socioeconómico local.

En este sentido, el presente proyecto propone el diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva, orientado a estructurar procesos de recolección, clasificación, transporte y aprovechamiento, promoviendo la corresponsabilidad entre hogares, empresas constructoras, transportadores y autoridades ambientales. La propuesta contribuye directamente al cumplimiento de las metas del PGIRS 2024–2028 relacionadas con el aumento del aprovechamiento, la reducción de la disposición inadecuada y el fortalecimiento de la gestión ambiental municipal.

Asimismo, el proyecto se alinea con los principios de economía circular promovidos en la política ambiental nacional y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, al fomentar prácticas responsables en el manejo de residuos y optimizar el uso de materiales dentro de los sistemas urbanos.

Los beneficios esperados incluyen la reducción de impactos ambientales locales, la optimización de los costos de gestión municipal, el fortalecimiento institucional en la trazabilidad de los RCD y la generación de oportunidades de aprovechamiento económico. En el ámbito académico, la investigación aporta un modelo contextualizado y potencialmente replicable para ciudades intermedias, contribuyendo a cerrar brechas identificadas en la literatura reciente sobre logística inversa aplicada a residuos de construcción en contextos urbanos no metropolitanos.

De esta manera, el proyecto adquiere relevancia ambiental, institucional y social, al proponer una alternativa técnica que contribuye al mejoramiento de la gestión de residuos de construcción y demolición y al fortalecimiento de la sostenibilidad urbana en el municipio de Neiva.

2. Marco metodológico

2.1. Tipo de estudio de investigación

El proyecto orientado al diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva se desarrolla bajo un enfoque de investigación mixta, al integrar técnicas cuantitativas y cualitativas con el fin de obtener una comprensión integral del problema.

Desde la perspectiva cuantitativa, se analizarán variables medibles asociadas a la generación, recolección, transporte y disposición de los RCD, tales como volúmenes estimados de generación, frecuencia de disposición, costos asociados al manejo formal e informal y niveles de conocimiento normativo. Estos datos permitirán dimensionar la magnitud del problema y establecer indicadores base para el diseño del modelo.

De manera complementaria, el enfoque cualitativo permitirá comprender las dinámicas institucionales, percepciones, prácticas y barreras operativas de los actores involucrados —hogares, empresas constructoras, transportadores y entidades públicas—, elementos fundamentales para estructurar una propuesta ajustada a la realidad territorial.

En cuanto al tipo de investigación, el estudio se clasifica como investigación aplicada, dado que se orienta a la solución de una problemática concreta mediante la formulación de una propuesta técnica contextualizada. Asimismo, presenta un alcance descriptivo–propositivo, ya que no solo caracteriza la situación actual de la gestión de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva, sino que formula un modelo de logística inversa como respuesta estructurada al problema identificado.

El método adoptado corresponde a un estudio de caso, al centrarse en el análisis específico del sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva. Este enfoque permite examinar el fenómeno en su contexto real, identificar particularidades territoriales y estructurar una propuesta viable que, aunque contextualizada, pueda servir como referencia para otros sectores urbanos con características similares.

2.2. Herramientas de recolección de información

La recolección de información se desarrolló mediante la implementación de herramientas de carácter cuantitativo y cualitativo, seleccionadas de manera estratégica con el fin de garantizar una comprensión integral del sistema de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva. La combinación de estas herramientas permitió no solo caracterizar el comportamiento de los actores involucrados, sino también identificar dinámicas operativas, problemáticas estructurales y oportunidades de mejora dentro del sistema.

2.2.1. Encuestas estructuradas

Se diseñó y aplicó un instrumento de encuesta dirigido a los hogares del sector, considerados como principales generadores de residuos de construcción y demolición (RCD) en actividades de autoconstrucción y adecuaciones menores.

La población objeto de estudio estuvo conformada por los hogares ubicados en el sector Neiva La Nueva y barrios aledaños de la Comuna 6 del municipio de Neiva, particularmente aquellos pertenecientes a estratos socioeconómicos 2 y 3 que han realizado actividades de remodelación, ampliación o construcción menor en los últimos años.

Dado el alcance aplicado y exploratorio del estudio, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando unidades de análisis que cumplieran con las características definidas. Este tipo de muestreo resulta pertinente en estudios de carácter territorial, donde el objetivo principal es obtener información diagnóstica que permita diseñar una propuesta técnica contextualizada, más que realizar inferencias estadísticas de tipo generalizable.

El instrumento fue estructurado con preguntas cerradas y de selección múltiple, orientadas a la obtención de información cuantificable sobre las prácticas actuales de manejo de estos residuos.

Las variables analizadas incluyeron la frecuencia de generación de RCD, las formas de disposición, los costos asociados, el nivel de conocimiento normativo y las prácticas de separación en la fuente.

2.2.2. *Revisión documental*

Se realizó una revisión sistemática de fuentes secundarias, incluyendo normatividad vigente a nivel nacional y local, literatura académica, estudios técnicos y documentos institucionales relacionados con la gestión de residuos de construcción y demolición y la logística inversa.

Esta herramienta permitió contextualizar el problema desde un enfoque normativo y técnico, identificar lineamientos aplicables al diseño del modelo y analizar experiencias previas relevantes que sirvieran como referencia para la estructuración de la propuesta.

2.3. Fuentes de información

Para la recolección de información se emplearon diferentes técnicas e instrumentos, entendidos como procedimientos y herramientas metodológicas que permiten obtener información relevante en función de los objetivos de la investigación. En este sentido, las técnicas corresponden a los mecanismos de recopilación de datos, mientras que los instrumentos constituyen los medios mediante los cuales se operacionalizan dichas técnicas, garantizando la medición y análisis de las variables de estudio.

Dado que la investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, se seleccionaron técnicas cuantitativas y cualitativas que permitieran, por un lado, caracterizar la generación y disposición de residuos de construcción y demolición (RCD), y por otro, comprender las dinámicas sociales, institucionales y operativas asociadas a su gestión.

En este sentido, se incluyeron:

- **Encuestas aplicadas a hogares**, que permitieron recolectar información cuantitativa sobre las prácticas de generación, manejo y disposición de RCD, así como identificar patrones de comportamiento y niveles de conocimiento frente a la normativa vigente.

Estas fuentes proporcionaron evidencia empírica directa, fundamental para el desarrollo de la fase de diagnóstico y la construcción de la línea base del sistema.

Las fuentes secundarias incluyeron la revisión y análisis de información documental relevante para el sustento teórico, normativo y técnico de la investigación.

Entre estas se encuentran:

- Normativa vigente a nivel nacional y local aplicable a la gestión de RCD.
- Literatura académica y científica relacionada con logística inversa, economía circular y gestión de residuos.
- Estudios técnicos, informes institucionales y documentos oficiales que abordan experiencias previas en contextos similares.

Estas fuentes permitieron contextualizar la problemática, identificar marcos de referencia aplicables y sustentar el diseño del modelo propuesto desde una perspectiva técnica y normativa.

La integración de fuentes primarias y secundarias, en conjunto con las herramientas de recolección empleadas, permitió la triangulación de la información, fortaleciendo la validez de los resultados obtenidos. Asimismo, estas fuentes sirvieron como insumo fundamental para el desarrollo de las fases de diagnóstico, análisis y diseño del modelo, garantizando coherencia entre el levantamiento de información, su interpretación y la formulación de la propuesta.

2.3.1. Fases de la investigación

El desarrollo de la presente investigación se estructuró en tres fases secuenciales e interrelacionadas, las cuales permitieron abordar de manera sistemática la problemática identificada y orientar la formulación del modelo de logística inversa propuesto. Estas fases responden a un enfoque metodológico aplicado, articulando el levantamiento de información, su análisis y la construcción de una solución técnica contextualizada.

2.3.2. Diagnóstico y levantamiento de información

En esta fase se llevó a cabo la caracterización del sistema actual de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, con el propósito de establecer una línea base que permitiera comprender las dinámicas reales del territorio.

Para ello, se implementaron las herramientas de recolección definidas previamente, incluyendo la aplicación de encuestas a hogares, la realización de entrevistas a actores clave y la revisión de fuentes documentales. Esta información permitió identificar las prácticas de generación, manejo y disposición de los residuos, así como las condiciones operativas, logísticas e institucionales del sistema.

Como resultado, se evidenciaron problemáticas estructurales tales como la disposición informal de residuos, la limitada trazabilidad en el flujo de los RCD, la débil articulación entre actores y las restricciones en la capacidad de gestión institucional, elementos que fundamentan la necesidad de un modelo alternativo.

2.3.3. Análisis

En esta fase se realizó el procesamiento, sistematización e interpretación de la información recolectada, con el fin de identificar las causas estructurales que explican las problemáticas detectadas en el diagnóstico.

El análisis integró los resultados cuantitativos obtenidos a partir de las encuestas con los hallazgos cualitativos derivados de las entrevistas, permitiendo establecer relaciones entre variables, identificar patrones de comportamiento y comprender las dinámicas que favorecen la persistencia de prácticas informales en la gestión de RCD.

Esta fase permitió consolidar una comprensión integral del sistema, identificando brechas entre la situación actual y un modelo de gestión estructurado, lo cual constituyó el soporte técnico para la formulación de la propuesta.

2.3.4. Diseño / Propuesta

Con base en los resultados del diagnóstico y el análisis, se desarrolló el diseño del modelo de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición, orientado a mejorar la eficiencia del sistema y promover prácticas sostenibles.

En esta fase se definieron los componentes operativos del modelo, incluyendo la estructura de la red logística, la identificación de los actores y sus roles, los mecanismos de

trazabilidad y los indicadores de desempeño. Asimismo, se establecieron estrategias orientadas a reducir la disposición informal, optimizar el flujo de los residuos y fortalecer la articulación entre los actores del sistema.

Adicionalmente, se incorporó una evaluación del modelo desde las dimensiones ambiental, logística e institucional, con el fin de estimar su viabilidad y analizar el impacto potencial de su implementación en el contexto de estudio.

3. Marco teórico

El presente capítulo tiene como propósito fundamentar teórica y conceptualmente el diseño del modelo de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva. Para ello, se abordan las bases conceptuales que sustentan la investigación, el estado del arte en torno a la gestión de RCD y la logística inversa, y el marco normativo aplicable al contexto colombiano.

Este desarrollo permite situar el problema de investigación dentro de un contexto académico y técnico, identificar vacíos existentes en la literatura y justificar la pertinencia del modelo propuesto.

3.1. Bases conceptuales

3.1.1. Logística Inversa

La logística inversa se define como el conjunto de procesos relacionados con el flujo de retorno de productos, materiales o residuos desde su punto de consumo hasta su origen o hacia puntos de aprovechamiento, reciclaje o disposición final, con el fin de recuperar valor o garantizar una gestión adecuada (Govindan et al., 2021).

A diferencia de la logística tradicional, que se enfoca en el flujo directo de bienes, la logística inversa incorpora procesos de recolección, clasificación, transporte, tratamiento y reintegración de materiales a la cadena productiva. En el contexto de los residuos de construcción y demolición, la logística inversa permite estructurar sistemas organizados de recuperación de materiales, optimizando costos operativos y reduciendo impactos ambientales.

Desde una perspectiva sistémica, la logística inversa no solo implica la operación de flujos físicos, sino también la articulación entre actores, la definición de roles y la implementación de mecanismos de control y trazabilidad.

3.1.2. *Economía Circular*

La economía circular constituye un modelo de producción y consumo que busca cerrar los ciclos de los materiales mediante estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y valorización, en contraste con el modelo lineal tradicional basado en “extraer–producir–desechar” (Ghisellini et al., 2016).

En el sector de la construcción, la economía circular promueve el aprovechamiento de residuos como insumos para nuevos procesos productivos, reduciendo la demanda de materias primas vírgenes y minimizando la generación de desechos. Este enfoque resulta especialmente relevante en la gestión de RCD, dado el alto volumen de materiales potencialmente reutilizables, como concreto, ladrillo y materiales pétreos.

La implementación de modelos circulares requiere no solo soluciones técnicas, sino también cambios institucionales, económicos y culturales que permitan su adopción efectiva en contextos territoriales específicos.

3.1.2.1. *Gestión de Residuos y control logístico*

Los residuos de construcción y demolición (RCD) corresponden a los materiales generados durante actividades de construcción, remodelación, demolición y adecuación de infraestructuras. Estos incluyen residuos pétreos, madera, metales, plásticos y otros materiales derivados de procesos constructivos.

La gestión integral de RCD comprende las etapas de generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final. Una gestión adecuada busca minimizar impactos ambientales, promover el aprovechamiento de materiales y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

En contextos urbanos intermedios, la gestión de RCD enfrenta desafíos asociados a la informalidad, la baja trazabilidad y la limitada infraestructura para el aprovechamiento, lo que requiere la implementación de modelos logísticos estructurados.

3.1.2.2. *Trazabilidad y control logístico*

La trazabilidad se refiere a la capacidad de realizar seguimiento a los residuos a lo largo de toda la cadena logística, desde su generación hasta su disposición o aprovechamiento final. Este elemento es fundamental para garantizar la transparencia del sistema, prevenir la disposición ilegal y fortalecer los mecanismos de control institucional.

En sistemas de gestión de RCD, la trazabilidad permite identificar actores responsables, monitorear flujos de materiales y generar información para la toma de decisiones. Su implementación requiere herramientas tecnológicas, procedimientos operativos y coordinación entre actores.

3.1.2.3. *Enfoque sistémico y articulación de actores*

La gestión eficiente de los RCD debe abordarse desde un enfoque sistémico que integre a todos los actores involucrados, incluyendo generadores (hogares y constructoras), transportadores, autoridades ambientales y entidades municipales.

La articulación entre estos actores resulta clave para evitar la fragmentación del sistema, reducir la informalidad y optimizar los flujos logísticos. En este sentido, los modelos multiactor permiten estructurar responsabilidades, mejorar la coordinación institucional y aumentar la eficiencia del sistema.

3.1.2.4. *Estado del Arte*

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de enfoques centrados en la disposición final hacia modelos integrados de sostenibilidad, economía circular y logística inversa. Este cambio responde al reconocimiento del sector construcción como uno de los principales generadores de residuos a nivel global, con impactos relevantes en el uso de recursos naturales, la ocupación del suelo y la contaminación ambiental (United Nations Environment Programme [UNEP], 2022; World Bank, 2018).

En el contexto internacional, la economía circular se ha consolidado como el paradigma dominante para la gestión sostenible de los RCD. Diversos estudios evidencian que la reincorporación de materiales reciclados en procesos constructivos permite reducir significativamente la extracción de materias primas vírgenes y disminuir los volúmenes de residuos dispuestos en rellenos sanitarios (European Commission, 2020; Zhang et al., 2020; Ghisellini et al., 2016).

No obstante, autores como Kirchherr et al. (2017) advierten que la transición hacia modelos circulares no depende exclusivamente de soluciones tecnológicas, sino que requiere transformaciones estructurales en los sistemas institucionales, económicos y culturales. En este sentido, la adopción de la economía circular enfrenta barreras relacionadas con la falta de incentivos económicos, la ausencia de infraestructura adecuada y la limitada articulación entre actores (Geissdoerfer et al., 2017).

Esta problemática resulta especialmente evidente en contextos urbanos intermedios de América Latina, donde la gestión de RCD continúa operando bajo esquemas lineales, caracterizados por baja valorización de materiales, limitada separación en la fuente y alta informalidad en la disposición de residuos (Silva & Gómez, 2021; Alzate Rodríguez & Mamolejo Rebellón, 2022).

En este escenario, la logística inversa se posiciona como un componente clave para la implementación de modelos circulares en la gestión de RCD. De acuerdo con Govindan et al. (2015), esta permite estructurar los flujos de retorno de materiales mediante el diseño de redes eficientes de recolección, clasificación y aprovechamiento, contribuyendo a la reducción de costos operativos y al mejoramiento del desempeño ambiental. Asimismo, Agrawal et al. (2021) destacan su papel en la optimización de cadenas de suministro sostenibles.

En esta línea, Akhtar y Sarmah (2021) desarrollan modelos de optimización para el diseño de redes logísticas de RCD, evidenciando que la ubicación estratégica de nodos de acopio y clasificación puede generar reducciones significativas en los costos de transporte y en las emisiones asociadas. De manera complementaria, Yuan (2013) resalta la importancia de estrategias integradas para mejorar la eficiencia en la gestión de residuos en el sector construcción.

Sin embargo, estos modelos presentan una limitación relevante, ya que parten de supuestos de formalidad institucional y cumplimiento normativo que no necesariamente se cumplen en contextos urbanos intermedios. En América Latina, la informalidad en el transporte de escombros y la débil capacidad de control institucional dificultan la implementación de sistemas logísticos estructurados (Silva & Gómez, 2021). Lo anterior sugiere la necesidad de adaptar estos modelos a realidades territoriales específicas.

En el caso colombiano, el país cuenta con un marco normativo relativamente robusto orientado a la gestión de RCD y la promoción de la economía circular. No obstante, el Departamento Nacional de Planeación (2022) señala que persisten brechas significativas entre la regulación y su implementación efectiva, especialmente en municipios intermedios.

Estudios comparativos en América Latina evidencian que esta problemática no es exclusiva de Colombia. Alzate Rodríguez y Mamolejo Rebellón (2022) identifican que, a pesar de la existencia de normativas específicas, la gestión de RCD continúa enfrentando limitaciones estructurales asociadas a la capacidad institucional, la fiscalización y la articulación entre actores.

Adicionalmente, Osmani (2012) introduce un elemento crítico relacionado con la racionalidad económica de los generadores, señalando que cuando los costos de disposición formal superan las alternativas informales, los actores tienden a optar por prácticas ilegales, lo que perpetúa la disposición inadecuada de residuos.

Esta dinámica resulta especialmente relevante en contextos urbanos como el sector Neiva La Nueva, donde la generación de RCD por parte de hogares y pequeñas obras no se encuentra plenamente integrada en sistemas formales de gestión.

Desde una perspectiva ambiental, diversos estudios han demostrado que la inadecuada gestión de RCD genera impactos significativos en los ecosistemas urbanos. Navarro et al. (2021) evidencian que la disposición incontrolada de estos residuos contribuye a la contaminación del suelo y de cuerpos hídricos. Asimismo, Lu et al. (2011) destacan la magnitud de generación de estos residuos en contextos urbanos.

Asimismo, la falta de aprovechamiento de materiales representa una pérdida de valor económico y una oportunidad desaprovechada para la implementación de estrategias de economía circular. En este sentido, la literatura coincide en la necesidad de desarrollar sistemas integrados de gestión que permitan no solo controlar la disposición de residuos, sino también promover su valorización (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Adams et al., 2017).

Un aspecto crítico identificado en la literatura reciente es la limitada inclusión de los hogares dentro de los modelos de gestión de RCD. Zhang et al. (2023) señalan que la mayoría de estudios se enfocan en grandes proyectos constructivos, subestimando el impacto de las actividades de remodelación domiciliaria.

De manera similar, Zhao et al. (2024) destacan que los modelos de economía circular en países en desarrollo suelen excluir a la economía informal y a pequeños generadores, lo que reduce la cobertura y efectividad de los sistemas propuestos. En ciudades intermedias, esta omisión constituye una limitación estructural que favorece la proliferación de prácticas informales.

En conjunto, la literatura revisada evidencia avances significativos en el desarrollo de modelos de gestión sostenible de RCD. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la

implementación territorial, la articulación entre actores, la capacidad institucional y la inclusión de pequeños generadores.

Estos vacíos son particularmente relevantes en contextos urbanos intermedios como el municipio de Neiva, donde la gestión de RCD se caracteriza por la informalidad, la baja trazabilidad y la limitada infraestructura para el aprovechamiento.

En este contexto, el diseño de un modelo de logística inversa multiactor se plantea como una alternativa pertinente para abordar estas limitaciones y contribuir a una gestión más eficiente y sostenible de los residuos de construcción y demolición.

3.2. Marco normativo y legal

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia se encuentra regulada por un conjunto de instrumentos normativos orientados a garantizar su manejo adecuado, promover el aprovechamiento de materiales y reducir los impactos ambientales asociados. Este marco normativo se fundamenta en principios de sostenibilidad, responsabilidad compartida y economía circular, estableciendo obligaciones tanto para generadores como para transportadores y autoridades ambientales.

En el contexto del presente proyecto, el análisis del marco normativo permite identificar los lineamientos que orientan el diseño del modelo de logística inversa propuesto, así como las brechas existentes entre la regulación y su implementación efectiva en contextos urbanos intermedios como el municipio de Neiva.

Tabla 4.*Matriz de interesados*

Instrumento normativo	Nivel	Enfoque principal	Lineamientos clave	Aplicación en el proyecto	Limitaciones identificadas
Resolución 472 de 2017	Nacional	Gestión integral de RCD	Separación en la fuente, transporte autorizado, disposición en sitios controlados	Base para el diseño de los procesos logísticos del modelo (recolección, clasificación y disposición)	Débil control y seguimiento en contextos locales
Resolución 1257 de 2021	Nacional	Fortalecimiento de la gestión de RCD	Promoción del aprovechamiento y economía circular	Integración de estrategias de valorización dentro del modelo propuesto	Limitada infraestructura para reciclaje
Política Nacional de Economía Circular (2019)	Nacional	Sostenibilidad y cierre de ciclos	Uso eficiente de recursos, reutilización y reciclaje	Sustenta el enfoque circular del modelo de logística inversa	Bajo nivel de implementación territorial
Decreto 1076 de 2015	Nacional	Regulación ambiental general	Define competencias de autoridades ambientales	Refuerza el rol institucional en el control del sistema	Falta de articulación interinstitucional
PGIRS Neiva (2024–2028)	Local	Gestión de residuos sólidos	Estrategias para manejo de RCD en el municipio	Justifica la necesidad del modelo en el contexto territorial	Baja trazabilidad y control de residuos

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis del marco normativo evidencia que Colombia cuenta con una base regulatoria sólida para la gestión de residuos de construcción y demolición, la cual incorpora principios de sostenibilidad, trazabilidad y economía circular. No obstante, se identifican brechas significativas en su implementación, particularmente en municipios intermedios, donde persisten

problemáticas asociadas a la informalidad, la limitada capacidad de control institucional y la insuficiente infraestructura para el aprovechamiento de materiales.

En este sentido, el modelo de logística inversa propuesto no solo se alinea con las disposiciones normativas vigentes, sino que busca contribuir a su implementación efectiva mediante la estructuración de procesos logísticos, la articulación de actores y el fortalecimiento de mecanismos de trazabilidad. De esta manera, el proyecto se posiciona como una herramienta que facilita el cumplimiento normativo y mejora la gestión integral de los RCD en el contexto de estudio.

4. Inicio del Proyecto

4.1. Acta de Constitución de Proyecto

Nombre del proyecto: Diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 de la ciudad de Neiva.

Justificación

La inadecuada gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva constituye una problemática ambiental y logística que incide directamente en la sostenibilidad urbana, la eficiencia en el uso de recursos y la calidad del espacio público. El crecimiento de obras menores y adecuaciones domiciliarias, sumado a la baja separación en la fuente y a la informalidad en el transporte y disposición de estos residuos, ha favorecido la proliferación de escombreras ilegales y el deterioro ambiental en zonas residenciales del sector.

De acuerdo con el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva, los residuos de construcción y demolición representan un flujo significativo dentro del total de residuos sólidos urbanos y presentan bajos niveles de aprovechamiento y trazabilidad. Aunque el PGIRS reconoce la necesidad de fortalecer los mecanismos de gestión, control y seguimiento de estos residuos, aún no se ha estructurado un modelo integral de logística inversa que permita articular de manera eficiente a los diferentes actores involucrados en la cadena de generación, transporte, aprovechamiento y disposición final de los RCD.

La ausencia de un sistema organizado de logística inversa contribuye a la persistencia de impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de escombros, tales como la contaminación del suelo, afectaciones paisajísticas, obstrucción de drenajes pluviales y el incremento de costos operativos para la administración municipal relacionados con la limpieza y recuperación de puntos críticos de disposición ilegal. Asimismo, esta situación limita las posibilidades de aprovechamiento de materiales reciclables provenientes de las actividades de construcción, los cuales podrían reincorporarse a nuevos procesos productivos bajo un enfoque de economía circular.

Los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a hogares del sector evidencian que una alta proporción de residentes ha realizado remodelaciones o adecuaciones en sus viviendas en los últimos años y que una parte significativa de los residuos generados es gestionada mediante transportadores informales. Este hallazgo confirma la existencia de debilidades en la organización del sistema de recolección y disposición de residuos de construcción y demolición en el territorio. No obstante, también se identificó una alta disposición de los ciudadanos a separar

los residuos para su aprovechamiento, lo que representa una oportunidad estratégica para promover esquemas formales de gestión basados en principios de economía circular.

Desde el ámbito académico y técnico, si bien la literatura reciente ha desarrollado modelos de gestión sostenible de residuos de construcción y demolición aplicados principalmente en grandes centros urbanos, aún existe un vacío en propuestas orientadas a ciudades intermedias como Neiva, donde la generación de residuos proviene en gran medida de intervenciones de pequeña escala y remodelaciones domiciliarias. Esta particularidad demanda el desarrollo de soluciones logísticas adaptadas a las condiciones territoriales, institucionales y socioeconómicas del contexto local.

En este sentido, se plantea el diseño de un modelo integral de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva. Este modelo busca estructurar procesos organizados de recolección, clasificación, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos, promoviendo la corresponsabilidad entre hogares, empresas constructoras, transportadores y autoridades ambientales, así como el fortalecimiento de los mecanismos de articulación institucional.

La propuesta contribuye directamente al cumplimiento de las metas establecidas en el PGIRS 2024–2028 del municipio de Neiva, particularmente aquellas relacionadas con el aumento del aprovechamiento de residuos, la reducción de la disposición inadecuada de escombros y el fortalecimiento de la gestión ambiental municipal.

De igual manera, el modelo se alinea con los principios de economía circular promovidos en la política ambiental nacional y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles y el ODS 12: Producción y consumo responsables, al fomentar prácticas responsables en el manejo de residuos y optimizar el uso de materiales dentro de los sistemas urbanos.

Entre los beneficios esperados del modelo propuesto se encuentran la reducción de los impactos ambientales asociados a la disposición informal de residuos, la optimización de los costos de gestión municipal, el fortalecimiento institucional en los procesos de trazabilidad de los RCD y la generación de oportunidades de aprovechamiento económico de materiales reciclables.

Adicionalmente, el desarrollo de este modelo de gestión permitirá generar un referente técnico aplicable a contextos urbanos similares, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición en ciudades intermedias. De esta manera, el proyecto adquiere relevancia ambiental, institucional y social al proponer una alternativa técnica orientada al mejoramiento de la gestión de residuos de construcción y demolición y al fortalecimiento de la sostenibilidad urbana en el municipio de Neiva.

Alineación estratégica

El proyecto se encuentra alineado con los principales instrumentos de planificación ambiental y de desarrollo sostenible, entre los cuales se destacan:

- El Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva.
- Las políticas nacionales de economía circular orientadas a promover el aprovechamiento de materiales y la gestión sostenible de residuos.
- Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente:
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS 12: Producción y consumo responsables.

Los principios de sostenibilidad, eficiencia operativa y articulación institucional propios de la gestión logística y supply chain sostenible.

Alcance de alto nivel del proyecto

El proyecto tiene un alcance técnico–propositivo orientado al diseño estructural de un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

El proyecto comprende:

- Diagnóstico y caracterización del sistema actual de gestión de RCD.
- Identificación de actores y análisis de la red logística existente.
- Evaluación de brechas normativas y operativas.
- Diseño conceptual del modelo de logística inversa.
- Propuesta de mecanismos de articulación institucional.
- Formulación de indicadores de seguimiento y evaluación.
- Análisis del impacto potencial del modelo.

El proyecto no contempla la implementación operativa del modelo ni la construcción de infraestructura física, centrándose exclusivamente en su diseño estratégico y estructural.

Objetivo General del Proyecto

Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector.

Objetivos Específicos del Proyecto

- Caracterizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, identificando actores, flujos logísticos, prácticas de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.
- Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los RCD generados en el área de estudio bajo los principios de logística inversa y economía circular.
- Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD en el sector objeto de estudio.
- Evaluar de manera prospectiva la viabilidad ambiental, logística y territorial del modelo propuesto para la reducción de la disposición informal de residuos de construcción y demolición.

Interesados principales en el proyecto

Interesado	Actitud (partidario, opositor, neutral, líder)
Alcaldía de Neiva	Líder
Secretaría de Medio Ambiente	Partidario
Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)	Partidario
Empresas constructoras del sector	Partidario
Empresa de aseo municipal	Partidario
Hogares estratos 2 y 3 del sector	Neutral
Transportadores de escombros	Neutral
Comunidad del sector Neiva la Nueva	Partidario

Supuestos del proyecto

- Disponibilidad de información secundaria proveniente de fuentes institucionales y académicas.
- Existencia de un marco normativo vigente que respalde la gestión sostenible de los RCD.
- Disposición de los actores locales a participar indirectamente en el proceso de análisis.
- Acceso a información básica sobre generación y disposición de residuos en el sector de estudio.

Restricciones del Proyecto

- Tiempo limitado conforme al calendario del programa, plazo máximo de ejecución de doce (12) meses.
- El presupuesto estimado para el desarrollo del modelo se encuentra en un rango entre \$30.000.000 COP (mínimo) y \$90.000.000 COP (máximo)

- Acceso parcial a información primaria de algunos actores institucionales o empresas constructoras y transportadores de escombros.
- El proyecto se limita al diseño del modelo de gestión basado en logística inversa, sin contemplar su implementación operativa ni la construcción de infraestructura para manejo de residuos.
- Dependencia de información secundaria proveniente de fuentes institucionales y ambientales del municipio.

Cronograma de Hitos del Proyecto

Hito	Fecha aproximada
Aprobación del anteproyecto	Mes 1
Finalización del diagnóstico territorial	Mes 4
Aplicación de encuestas y recopilación de información	Mes 5
Consolidación del análisis de resultados	Mes 6
Diseño del modelo de logística inversa	Mes 9
Entrega del documento final	Mes 12

Riesgos Iniciales

- Baja participación o cooperación de actores clave.
- Limitaciones en la calidad o disponibilidad de información.
- Resistencia al cambio por parte de generadores informales.
- Posibles modificaciones en lineamientos normativos durante el desarrollo del proyecto.

Aprobación

Director del Proyecto	Patrocinador
Nombre: Luisa Camila Beltrán Vargas	Nombre: Secretaría de Medio Ambiente de Neiva
Autoridad: El director del proyecto cuenta con la autoridad para gestionar, planificar y coordinar las actividades del proyecto, así como para proponer la asignación y optimización de los recursos necesarios para su desarrollo. Asimismo, está facultado para tomar decisiones técnicas y metodológicas, realizar seguimiento al cumplimiento de los objetivos, coordinar la participación de los actores involucrados y garantizar la coherencia entre el diagnóstico, el diseño del modelo y los resultados del proyecto, en el marco de los lineamientos académicos e institucionales.	
Firma:	Firma:

5. Planeación del Proyecto

5.1. Gestión de alcance

5.1.1. Gestión de Requisitos

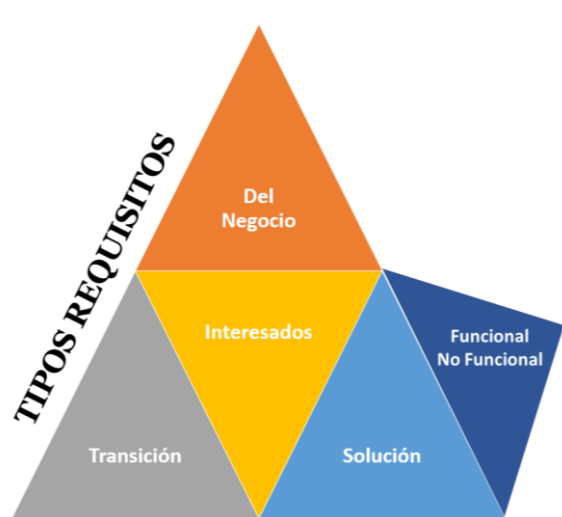
La gestión de requisitos constituye el proceso mediante el cual se identifican, documentan, analizan, priorizan y controlan las necesidades y expectativas de los interesados, asegurando que la solución propuesta responda efectivamente al problema identificado (PMI,

2021). En proyectos aplicados como el presente, la claridad en los requisitos garantiza coherencia entre el diagnóstico, el diseño del modelo y los resultados esperados.

En este caso, los requisitos se derivan directamente del problema central identificado en el árbol de problemas —la disposición informal de RCD y la débil articulación institucional— y de la pregunta de investigación orientada a estructurar un modelo integral de logística inversa que reduzca escombreras ilegales y fortalezca la sostenibilidad territorial.

Figura 5

Pirámide de tipos de requisitos



Nota. Adaptado de A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABOK Guide) (International Institute of Business Analysis [IIBA], 2015)

5.1.1.1. *Requisitos del Negocio*

Los requisitos del negocio describen las necesidades estratégicas que justifican la existencia del proyecto y que deben satisfacerse para generar valor público, ambiental y territorial.

Tabla 5

Matriz de Requisitos del Negocio

COD	Requisitos del negocio	Interesado	Solicitantes
RN01	Diseñar un modelo integral de logística inversa que permita reducir la disposición informal de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6.	Alcaldía de Neiva / Secretaría de Medio Ambiente	Investigadores del proyecto
RN02	Incrementar la trazabilidad de los RCD generados por empresas constructoras y hogares mediante mecanismos logísticos estructurados.	Autoridad ambiental CAM	Alcaldía de Neiva
RN03	Fortalecer la articulación institucional entre generadores, transportadores y autoridades ambientales para mejorar la gestión de los residuos.	CAM / Secretaría de Planeación	Investigadores del proyecto
RN04	Promover el aprovechamiento y valorización de los RCD bajo principios de economía circular.	Empresas constructoras	Autoridad ambiental
RN05	Reducir la proliferación de escombreras ilegales y mejorar la calidad ambiental del sector.	Comunidad sector Neiva La Nueva	Alcaldía de Neiva
RN06	Fortalecer la cultura ciudadana y el conocimiento del servicio formal de recolección de escombros.	Hogares de estratos 2 y 3	Autoridades municipales

Nota: Elaboración propia de los autores

La matriz de requisitos del negocio permite identificar y estructurar las necesidades estratégicas que justifican el desarrollo del proyecto, las cuales se derivan directamente del diagnóstico territorial y del problema central identificado en el estudio: la disposición informal de residuos de construcción y demolición (RCD) y la débil articulación institucional para su gestión en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

Los requisitos definidos evidencian que la problemática no se limita únicamente a la presencia de escombreras ilegales, sino que responde a un conjunto de factores estructurales que incluyen la falta de planificación logística, la baja trazabilidad de los residuos generados por hogares y empresas constructoras, la limitada coordinación entre actores institucionales y la escasa cultura ciudadana frente a la disposición adecuada de escombros. En este sentido, el requisito RN01 se orienta a abordar la dimensión logística del problema mediante el diseño de un modelo integral de logística inversa que permita reducir la disposición informal de residuos, mientras que el requisito RN05 se enfoca en la reducción de los impactos ambientales asociados a la proliferación de escombreras ilegales y el mejoramiento de la calidad ambiental del sector.

Por su parte, los requisitos RN02 y RN03 se relacionan con la dimensión institucional del sistema de gestión de RCD, enfatizando la necesidad de fortalecer los mecanismos de seguimiento, control y articulación entre entidades públicas, generadores y transportadores. Estos requisitos resultan fundamentales para superar la fragmentación institucional identificada en el diagnóstico del proyecto.

Asimismo, el requisito RN04 incorpora la dimensión ambiental y de sostenibilidad al promover el aprovechamiento y valorización de los residuos bajo principios de economía circular. Finalmente, el requisito RN06 reconoce la importancia de la participación social y la

cultura ciudadana en la gestión de residuos, considerando que una parte significativa de los RCD proviene de remodelaciones domiciliarias realizadas por hogares del sector.

En conjunto, esta matriz evidencia que los requisitos del negocio se encuentran directamente alineados con los objetivos del proyecto, permitiendo traducir el problema territorial identificado en necesidades estratégicas claras que orientan el diseño del modelo integral de logística inversa.

5.1.1.2. *Requisitos de la Solución*

Los requisitos de la solución describen las características que debe tener el modelo diseñado para cumplir los requisitos del negocio. Se clasifican en funcionales y no funcionales.

5.1.1.2.1. *Requisitos Funcionales (RF)*

Definen las capacidades operativas que el modelo de distribución urbana debe ejecutar para asegurar la eficiencia del sistema logístico. Estos requisitos se centran en el flujo de bienes e información, garantizando que el modelo actúe como un sistema integrado de ciclo cerrado.

Matriz Requisitos Funcionales debido a la extensión y nivel de detalle de la matriz, esta se presenta de manera completa en el Anexo C, con el fin de facilitar su lectura y análisis sin afectar la fluidez del documento principal.

Tabla 6*Matriz Requisitos Funcionales*

COD	Requisito Funcional	Descripción	Relación con Requisitos del Negocio
RF01	Identificar los actores del sistema de gestión de RCD.	El modelo debe definir claramente los actores involucrados en la generación, transporte y control de los residuos.	RN03

Nota: Elaboración propia de los autores

La matriz de requisitos funcionales describe las capacidades operativas que debe cumplir el modelo de logística inversa propuesto para responder a los requisitos del negocio previamente identificados. Estos requisitos funcionales definen las acciones y procesos que permitirán estructurar el sistema logístico de retorno de residuos de construcción y demolición en el sector de estudio.

En primer lugar, los requisitos RF01 y RF09 se enfocan en la identificación y articulación de los actores involucrados en la gestión de RCD, tales como hogares, empresas constructoras, transportadores, autoridades municipales y entidades ambientales. La definición clara de roles y responsabilidades constituye un elemento fundamental para garantizar la coordinación del sistema y evitar duplicidad de funciones o vacíos institucionales.

Los requisitos RF02 y RF03 se orientan a la estructuración de los flujos logísticos del sistema, estableciendo mecanismos formales de recolección, transporte y trazabilidad de los residuos. Estos elementos son esenciales para garantizar la transparencia y el control del flujo de

materiales desde su generación hasta su disposición final o aprovechamiento, superando las prácticas informales actualmente presentes en el territorio.

Por su parte, los requisitos RF04 y RF06 incorporan estrategias orientadas al aprovechamiento y valorización de los residuos, promoviendo la separación en la fuente y la reincorporación de materiales reciclables a nuevos ciclos productivos bajo principios de economía circular. Estas acciones contribuyen a reducir la presión sobre los sitios de disposición final y a generar beneficios ambientales y económicos.

Adicionalmente, los requisitos RF05 y RF07 fortalecen los mecanismos de control institucional y formalización del sistema, mientras que RF08 incorpora indicadores para evaluar el desempeño logístico y ambiental del modelo.

Finalmente, el requisito RF10 incorpora la evaluación del impacto ambiental y territorial del modelo propuesto, permitiendo analizar sus efectos sobre la reducción de escombreras ilegales y el mejoramiento del entorno urbano del sector.

En conjunto, los requisitos funcionales permiten traducir las necesidades estratégicas del proyecto en componentes operativos concretos, garantizando que el modelo propuesto no se limite a un enfoque conceptual, sino que contemple procesos logísticos estructurados y verificables.

5.1.1.2.2. *Requisitos No Funcionales (RNF)*

Los requisitos no funcionales describen condiciones o atributos de calidad que debe cumplir el modelo, debido a la extensión y nivel de detalle de la matriz, esta se presenta de manera completa en el Anexo D, con el fin de facilitar su lectura y análisis sin afectar la fluidez del documento principal.

Tabla 7*Matriz Requisitos No Funcionales*

COD	Requisito No Funcional	Descripción	Relación con Requisitos del Negocio
RNF01	Viabilidad técnica	El modelo debe poder implementarse con la infraestructura existente en el municipio.	RN05
RNF02	Viabilidad económica	El modelo debe ser sostenible económicamente en el tiempo.	RN06

Nota: Elaboración propia de los autores

La matriz de requisitos no funcionales establece los atributos de calidad, condiciones de viabilidad y criterios de desempeño que debe cumplir el modelo de logística inversa propuesto para garantizar su aplicabilidad en el contexto territorial e institucional del municipio de Neiva.

A diferencia de los requisitos funcionales, que describen las acciones que debe realizar el modelo, los requisitos no funcionales se enfocan en las características que determinan la factibilidad y sostenibilidad del sistema. En este sentido, los requisitos RNF01, RNF02 y RNF03 se relacionan con la viabilidad técnica, económica e institucional del modelo, asegurando que la propuesta pueda implementarse con los recursos, capacidades y competencias disponibles en el territorio.

El requisito RNF04 se orienta al cumplimiento del marco normativo vigente en materia de gestión de residuos de construcción y demolición, particularmente las disposiciones establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y los lineamientos del Plan

de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva. Este aspecto resulta fundamental para garantizar la legitimidad institucional del modelo.

Por otro lado, los requisitos RNF05 y RNF06 abordan la dimensión ambiental y territorial del proyecto, enfatizando la necesidad de que el modelo contribuya a la reducción de impactos ambientales y tenga potencial de replicabilidad en otros sectores urbanos con características similares.

Finalmente, los requisitos RNF07 y RNF08 consideran aspectos sociales y de adaptabilidad del sistema, destacando la importancia de la aceptación por parte de los actores involucrados y la capacidad del modelo para ajustarse a cambios institucionales o territoriales en el futuro.

En conjunto, los requisitos no funcionales complementan los requisitos funcionales al establecer condiciones de calidad que garantizan que el modelo de logística inversa propuesto sea técnicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptado, fortaleciendo así la pertinencia y aplicabilidad de la propuesta en el contexto del sector Neiva La Nueva y la Comuna 6.

5.1.1.3. *Matriz de Trazabilidad de Requisitos*

La matriz de trazabilidad de requisitos permite establecer la relación entre los requerimientos del negocio, los requisitos funcionales y no funcionales, los objetivos del proyecto y los entregables definidos. Esta herramienta facilita el seguimiento y control del cumplimiento de los objetivos planteados, asegurando la coherencia entre las necesidades identificadas y la solución propuesta.

Debido a la extensión y nivel de detalle de la matriz de trazabilidad de requisitos, su versión completa se presenta en el Anexo E.

Tabla 8

Matriz de Trazabilidad de Requisitos

COD	Tipo	Requisito	Interesado / Fuente	Prioridad	Relación con Objetivos	Entregable	WBS / EDT	Verificación
RN01	Requisito del Negocio	Reducir la disposición informal de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6.	Alcaldía de Neiva / CAM	Alta	Objetivo general: Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector	Modelo logístico propuesto	3 diseño del modelo	Validación del modelo

Nota: Elaboración propia de los autores

La matriz de trazabilidad de requisitos constituye una herramienta clave dentro de la gestión del proyecto, ya que permite establecer la relación entre las necesidades estratégicas identificadas en el diagnóstico territorial, los requisitos del negocio y los componentes funcionales y no funcionales que conforman la solución propuesta. En este proyecto, la matriz facilita la conexión entre el problema identificado —la disposición informal de residuos de construcción y demolición (RCD) y la débil articulación institucional para su gestión— y las características técnicas del modelo integral de logística inversa diseñado para el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

A través de esta matriz se asegura que cada requisito del negocio tenga correspondencia con requisitos funcionales y no funcionales, garantizando coherencia entre las necesidades del territorio, los objetivos del proyecto y las funcionalidades del modelo propuesto. De esta manera, los requisitos relacionados con la reducción de la disposición informal de escombros, la mejora en la trazabilidad de los residuos y el fortalecimiento de la articulación institucional se traducen en componentes operativos del modelo, como la definición de flujos de recolección y transporte, la implementación de mecanismos de seguimiento de los residuos y el establecimiento de protocolos de coordinación entre actores públicos y privados.

Asimismo, la matriz integra los requisitos no funcionales como criterios de calidad que aseguran la viabilidad del modelo propuesto. Estos requisitos incorporan condiciones relacionadas con la sostenibilidad ambiental, el cumplimiento normativo, la viabilidad técnica e institucional y la aceptación social del sistema, garantizando que la solución planteada sea aplicable y sostenible en el contexto territorial del municipio de Neiva.

Otro aspecto relevante es que la matriz permite mantener una relación directa entre los requisitos y los objetivos del proyecto, tales como la caracterización de la gestión actual de los

RCD, el análisis del potencial de aprovechamiento de materiales, el diseño del modelo integral de logística inversa y la evaluación de su viabilidad ambiental, logística y territorial. Esto asegura que el diseño del modelo responda a los resultados del diagnóstico y a los propósitos establecidos en la investigación.

En síntesis, la matriz de trazabilidad actúa como un mecanismo de integración entre el diagnóstico territorial, los objetivos de la investigación y el diseño técnico del modelo de logística inversa. Su implementación fortalece la coherencia metodológica del proyecto y garantiza que la solución propuesta responda de manera efectiva a las necesidades ambientales, logísticas e institucionales del sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

5.1.2. *Enunciado del Alcance del Proyecto*

Tabla 9

Alcance del proyecto

PROYECTO	Diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.
Descripción (propósito y justificación) El presente proyecto tiene como propósito diseñar un modelo integral de logística inversa que permita estructurar, coordinar y optimizar los flujos de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva. La gestión actual de estos residuos presenta deficiencias estructurales asociadas a la falta de planificación logística, baja trazabilidad de los flujos de residuos, débil articulación	

institucional y limitada cultura ciudadana en la disposición adecuada de escombros. Esta situación ha generado la proliferación de escombreras ilegales, afectaciones ambientales, deterioro del espacio público y aumento de los costos operativos para la administración municipal.

En este contexto, el proyecto propone el diseño de un modelo de logística inversa que permita integrar a los diferentes actores involucrados —hogares, empresas constructoras, transportadores y autoridades ambientales— dentro de un sistema logístico estructurado orientado al aprovechamiento, control y disposición adecuada de los residuos.

La propuesta se alinea con los lineamientos del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Neiva, la normativa nacional sobre gestión de residuos de construcción y demolición y los principios de economía circular y sostenibilidad ambiental.

Objetivos

Objetivos General:

Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, identificando actores, flujos logísticos y prácticas de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.
- Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los residuos generados en el área de estudio bajo principios de logística inversa y economía circular.
- Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.

- Evaluar la viabilidad ambiental, logística y territorial del modelo propuesto para la reducción de la disposición informal de residuos.

Alcance detallado:

El proyecto tiene un alcance técnico–propositivo orientado al diseño estructural de un modelo integral de logística inversa para la gestión sostenible de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva.

El alcance del proyecto comprende:

- Diagnóstico territorial y logístico del sistema actual de gestión de RCD.
- Identificación y caracterización de los actores involucrados en la generación, transporte y control de residuos.
- Análisis de brechas normativas, logísticas e institucionales.
- Evaluación del potencial de aprovechamiento de materiales provenientes de RCD.
- Diseño conceptual de un modelo integral de logística inversa.
- Definición de roles y responsabilidades de los actores del sistema.
- Propuesta de mecanismos de trazabilidad y control institucional.
- Formulación de indicadores de desempeño logístico y ambiental.
- Evaluación de la viabilidad ambiental, logística e institucional del modelo.

El resultado final corresponde a un modelo conceptual estructurado que puede servir como base para futuras fases de implementación por parte de las autoridades municipales y actores del sector construcción.

No está incluido en el Alcance (exclusiones)

El proyecto no contempla:

- La implementación operativa del modelo de logística inversa.
- La construcción de infraestructura para el manejo de residuos.
- La ejecución presupuestal para la operación del sistema.

- La intervención directa en las operaciones de empresas recolectoras o transportadoras.
- La gestión de residuos peligrosos o industriales distintos a los residuos de construcción y demolición.

El alcance se limita al diseño técnico y conceptual del modelo logístico.

Supuestos:

Para el desarrollo del proyecto se establecen los siguientes supuestos:

- Existencia de información secundaria disponible en fuentes institucionales y académicas.
- Disponibilidad de normativa vigente que respalde la gestión de residuos de construcción y demolición.
- Disposición de los actores locales a participar indirectamente en procesos de diagnóstico o consulta.
- Acceso a información territorial sobre generación y disposición de residuos en el sector de estudio.

Restricciones:

El proyecto presenta las siguientes restricciones:

- Tiempo limitado conforme al calendario del programa de plazo máximo de ejecución de doce (12) meses.
- El presupuesto estimado para el desarrollo del modelo se encuentra en un rango entre \$30.000.000 COP (mínimo) y \$90.000.000 COP (máximo)
- Acceso parcial a información primaria de algunos actores institucionales o empresas constructoras y transportadores de escombros.
- Dependencia de información secundaria proveniente de fuentes institucionales y ambientales del municipio.

Criterios de aceptación:

El proyecto será considerado satisfactorio cuando se cumplan los siguientes criterios:

- Elaboración del diagnóstico territorial y logístico del sistema actual de gestión de RCD.
- Diseño completo del modelo integral de logística inversa.
- Identificación clara de actores, flujos logísticos y mecanismos de control.
- Evaluación de la viabilidad ambiental, logística e institucional del modelo.
- Entrega del documento final del proyecto.

Entregables principales:

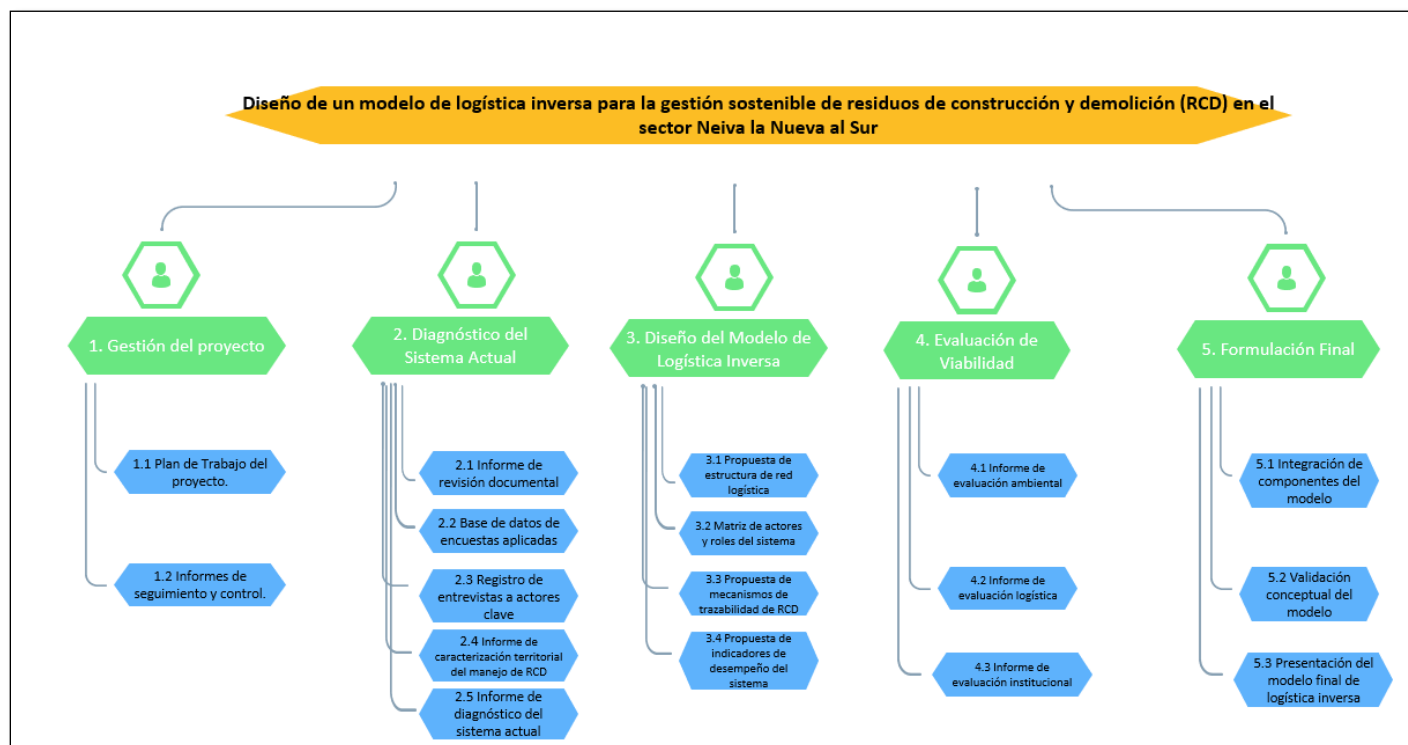
Los entregables principales del proyecto son:

- Diagnóstico del sistema actual de gestión de RCD.
- Caracterización de actores involucrados en la cadena logística.
- Modelo conceptual de logística inversa para gestión de RCD.

• Propuesta de articulación institucional y logística.	
Fechas Inicio: enero 2026 Finalización: diciembre 2026	
Hitos del Proyecto: cronograma • Aprobación del acta de constitución del proyecto. • Finalización del diagnóstico del sistema actual de RCD. • Selección de la alternativa óptima de solución. • Diseño del modelo de logística inversa finalizado. • Entrega del documento final del proyecto.	
Director del Proyecto Nombre: Luisa Camila Beltrán Vargas	Firma
Patrocinador Nombre: Secretaría de Medio Ambiente de Neiva	Firma

Nota: Elaboración propia de los autores

5.1.3. Estructura de desglose de trabajo (EDT)

Figura 6*Estructura de Desglose del Trabajo (EDT)***Nota:** Elaboración propia de los autores

5.1.4. Diccionario de la EDT para paquetes de trabajo críticos

Se constituye el componente detallado de la línea base del alcance, cuya función principal es proporcionar una descripción exhaustiva de los componentes técnicos, los responsables y los criterios de calidad de cada paquete de trabajo definido en el diagrama jerárquico.

Debido a la extensión y nivel de detalle del diccionario de la EDT, esta se presenta de manera completa en el Anexo F, con el fin de facilitar su lectura y análisis sin afectar la fluidez del documento principal.

Tabla 10

Diccionario de la EDT

Código EDT	Entregables / Fases	Descripción
1	Gestión del Proyecto	Incluye la planificación, organización, seguimiento y control del proyecto, orientados a garantizar el cumplimiento de los objetivos, tiempos y entregables definidos. Comprende la estructuración del plan de trabajo, la gestión de recursos, el monitoreo del avance y la consolidación de los resultados del proyecto, asegurando la coherencia metodológica y el cumplimiento de los lineamientos establecidos

Nota: Elaboración propia de los autores

5.2. Gestión de Cronograma

La gestión del cronograma constituye uno de los procesos fundamentales para la planificación y control del proyecto, permitiendo establecer la secuencia lógica de las actividades, la estimación de sus duraciones y la definición de la duración total del proyecto.

En este estudio, el cronograma fue estructurado a partir de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), organizando el proyecto en fases, paquetes de trabajo y actividades, lo que permitió garantizar coherencia metodológica y trazabilidad en la ejecución.

5.2.1. Listado de actividades por paquete de trabajo

La definición de actividades se realizó a partir de la descomposición de los paquetes de trabajo establecidos en la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y su respectivo diccionario, permitiendo identificar de manera detallada las tareas necesarias para el desarrollo del proyecto. Debido a la extensión y nivel de detalle del diccionario de la EDT, esta se presenta de manera completa en el Anexo G, con el fin de facilitar su lectura y análisis sin afectar la fluidez del documento principal.

Tabla 11

Plan de trabajo del proyecto

CODIGO	FASES/PAQUETES EDT	ACTIVIDADES
1	GESTION DEL PROYECTO	
1.1	Plan de trabajo del proyecto	• Definir alcance del proyecto • Identificar entregables principales • Elaborar EDT (estructura de desglose del trabajo) • Definir cronograma preliminar • Asignar recursos (humanos y técnicos) • Estimar presupuesto del proyecto • Elaborar plan de gestión de riesgos • Validar plan con interesados

Nota: Elaboración Propia de los autores

Una vez identificadas las actividades principales, se procedió a establecer la secuencia lógica de ejecución con el propósito de organizar el desarrollo del proyecto de manera estructurada y coherente con los objetivos de investigación.

5.2.2. *Listado de hitos principales*

Los hitos corresponden a eventos clave dentro del cronograma del proyecto que representan la finalización de entregables relevantes y permiten realizar seguimiento al avance del mismo sin considerar duración. Estos constituyen puntos de control que facilitan la verificación del cumplimiento de los objetivos en cada fase del proyecto.

En el marco del presente estudio, los hitos fueron definidos en coherencia con los paquetes de trabajo establecidos en la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y distribuidos a lo largo del horizonte temporal de doce meses, conforme al calendario académico del programa de maestría.

A continuación, se presentan los principales hitos del proyecto, junto con su ubicación temporal:

Mes 1: Aprobación del acta de constitución del proyecto

Este hito marca el inicio formal del proyecto y la validación de su alcance, objetivos y estructura general.

Mes 2: Finalización de la revisión documental y normativa

Corresponde a la culminación del análisis de literatura especializada y del marco normativo aplicable a la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que permite sustentar el enfoque conceptual del estudio.

Mes 3: Instrumento de recolección de información diseñado y validado.

Se diseñan y validan las encuestas y guías de entrevista necesarias para el levantamiento de información.

Mes 4: Finalización del proceso de recolección de información en campo.

Se incluye la elaboración de encuestas y la realización de entrevistas a actores clave, así como el cierre del proceso de levantamiento de información en campo.

Mes 5: Consolidación y análisis de la información completado

En este punto se completa la sistematización de datos y el análisis de resultados, permitiendo identificar tendencias y problemáticas del sistema actual.

Mes 6: Finalización del diagnóstico del sistema actual de RCD

Este hito representa la caracterización integral del sistema, incluyendo actores, flujos logísticos y principales brechas.

Mes 7: Definición de lineamientos del modelo de logística inversa

Se establecen las bases conceptuales del modelo, incluyendo estructura logística y actores.

Mes 8: Formulación de mecanismos del modelo de logística inversa

Se definen los mecanismos de trazabilidad del flujo de RCD.

Mes 9: Definición de indicadores de desempeño del sistema

Se establecen los indicadores para medir eficiencia, desempeño y sostenibilidad del modelo.

Mes 10: Diseño completo del modelo de logística inversa

Se consolida el diseño integral del modelo logístico propuesto.

Mes 11: Evaluación de viabilidad del modelo completado

Se analizan aspectos técnicos, ambientales e institucionales que permiten validar la factibilidad conceptual del modelo propuesto.

Mes 12: Entrega del documento final del proyecto

Este hito corresponde a la consolidación y presentación final del proyecto, incluyendo todos los componentes desarrollados a lo largo del proceso.

5.2.3. *Cronograma de alto nivel por fases*

El cronograma presentado en la Figura 8, fue elaborado mediante la herramienta Microsoft Project, a partir de la descomposición estructurada del proyecto definida en la EDT. En este se organizan las actividades en cinco fases principales, cada una compuesta por paquetes de trabajo y actividades específicas, lo que permite visualizar de manera integral la planificación temporal del proyecto.

El diagrama de Gantt permite identificar la duración de cada fase, así como las fechas de inicio y finalización, evidenciando una duración total del proyecto de 270 días hábiles, equivalente aproximadamente a 12 meses de ejecución.

En cuanto a la lógica de programación, se establecieron relaciones de dependencia entre actividades, utilizando principalmente vínculos de tipo fin a inicio (FS) para actividades secuenciales y comienzo a comienzo (CC) en aquellas tareas que pueden desarrollarse de manera paralela. Esta combinación permitió optimizar la duración total del proyecto sin afectar la coherencia técnica de las actividades.

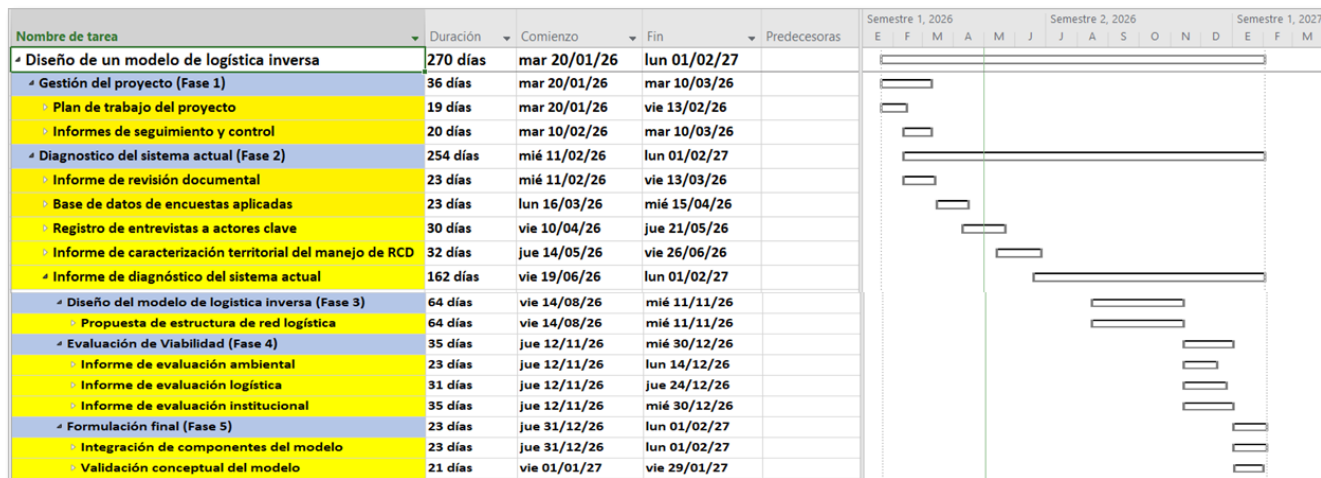
Adicionalmente, el cronograma incorpora hitos de control al final de cada fase, los cuales permiten verificar el cumplimiento de los entregables parciales y facilitar el seguimiento del avance del proyecto.

De manera general, se observa que las fases iniciales corresponden a la planificación y diagnóstico, seguidas por el diseño del modelo de logística inversa, la evaluación de su viabilidad y, finalmente, la integración y validación del modelo propuesto. Esta secuencia garantiza que cada etapa se sustente en los resultados obtenidos en la fase anterior.

Finalmente, el cronograma fue consolidado mediante el establecimiento de una línea base, la cual servirá como referencia para el seguimiento y control del proyecto, permitiendo identificar desviaciones y tomar acciones correctivas en caso de ser necesario.

Figura 7

Cronograma del proyecto elaborado en Microsoft Project



Nota: Elaboración propia de los autores

A partir de la estructura presentada en el cronograma, el proyecto se organiza en cinco fases secuenciales e interrelacionadas, cada una con objetivos específicos, productos definidos y una duración acorde con su nivel de complejidad.

5.2.3.1. *Fase 1. Gestión Del Proyecto*

Esta fase inicial tiene una duración de 36 días y corresponde a la planificación y organización del proyecto. En ella se establecen los elementos fundamentales que orientan su ejecución, tales como la definición del alcance, la identificación de entregables y la elaboración de la estructura de desglose del trabajo (EDT).

Adicionalmente, se construye el cronograma preliminar, se asignan los recursos necesarios y se realiza la estimación presupuestal. Como complemento, se formula el plan de gestión de riesgos, permitiendo anticipar posibles contingencias.

Paralelamente, se desarrollan actividades de seguimiento y control, incluyendo la definición de indicadores, la recolección de información de avance y la elaboración de informes periódicos. Esta fase culmina con el hito de aprobación del plan de trabajo, el cual habilita el inicio formal de la fase de diagnóstico.

5.2.3.2. *Fase 2. Diagnóstico del sistema actual de RCD*

Con una duración aproximada de 254 días, esta fase constituye la etapa más extensa del proyecto, debido a su carácter analítico y de levantamiento de información.

Se inicia con la revisión documental, donde se analizan fuentes normativas, estudios previos y literatura relevante sobre el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD).

Posteriormente, se desarrolla la recolección de información empírica mediante la aplicación de encuestas y la realización de entrevistas a actores clave del sector, incluyendo constructores, recicladores y entidades relacionadas. Esta información es procesada, depurada y sistematizada para garantizar su calidad.

De manera complementaria, se lleva a cabo la caracterización territorial, en la cual se identifican zonas de generación de RCD, rutas de disposición, puntos críticos y capacidades de infraestructura existente.

Finalmente, toda la información recopilada es integrada y analizada para identificar brechas, problemáticas y oportunidades de mejora del sistema actual, culminando con el informe de diagnóstico, que sirve como insumo principal para el diseño del modelo.

5.2.3.3. *Fase 3. Diseño del modelo de logística inversa*

Esta fase, con una duración de 64 días, corresponde al desarrollo técnico del modelo de logística inversa propuesto para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). En esta etapa se consolidan los elementos estructurales, operativos y de control del sistema, a partir de los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico.

Inicialmente, se define la estructura de la red logística, identificando los nodos que conforman el sistema, incluyendo los puntos de generación, acopio, transferencia, aprovechamiento y disposición final. De manera complementaria, se establecen las rutas de transporte y se analizan alternativas de localización que permiten optimizar el flujo de materiales.

Posteriormente, se desarrolla el modelamiento del flujo de materiales, mediante la definición de las etapas que recorren los residuos desde su generación hasta su aprovechamiento

o disposición final, garantizando un enfoque organizado, eficiente y alineado con los principios de economía circular.

De forma paralela, se construye la matriz de actores y roles del sistema, en la cual se identifican los actores involucrados, tales como generadores, transportadores, autoridades y operadores, definiendo sus responsabilidades y relaciones dentro del proceso logístico.

Asimismo, se diseñan los mecanismos de control y trazabilidad, estableciendo variables de seguimiento como origen, volumen y destino de los residuos, así como herramientas de registro y procedimientos que permiten monitorear el comportamiento del sistema y asegurar su adecuada gestión.

Adicionalmente, se formulan los indicadores de desempeño, los cuales abarcan dimensiones logísticas, ambientales y de eficiencia, permitiendo evaluar el funcionamiento del modelo y medir su impacto en términos de aprovechamiento de materiales, reducción de impactos y control operativo

5.2.3.3.1. Estructura operativa del modelo de logística inversa

Durante esta etapa se consolida la estructura operativa del modelo, integrando los nodos de la red logística, los flujos de materiales, los roles de los actores y los mecanismos de control y seguimiento del sistema.

Como resultado, se establecen las frecuencias de recolección, se diseñan las rutas logísticas bajo criterios de optimización territorial y se definen herramientas de gestión que permiten garantizar la eficiencia y sostenibilidad del modelo en el contexto analizado.

Este proceso permite estructurar una propuesta técnica coherente con las necesidades identificadas en el diagnóstico, asegurando su aplicabilidad en el municipio de Neiva.

Nodos de la red logística

El sistema se compone de los siguientes puntos:

a) Generadores

- Hogares (estratos 2 y 3)
- Empresas constructoras

b) Puntos de acopio primario (PAP)

- Ubicados estratégicamente en barrios de la Comuna 6
- Funcionan como puntos de recepción temporal

c) Centros de transferencia (CT)

- Consolidación de volúmenes
- Clasificación inicial

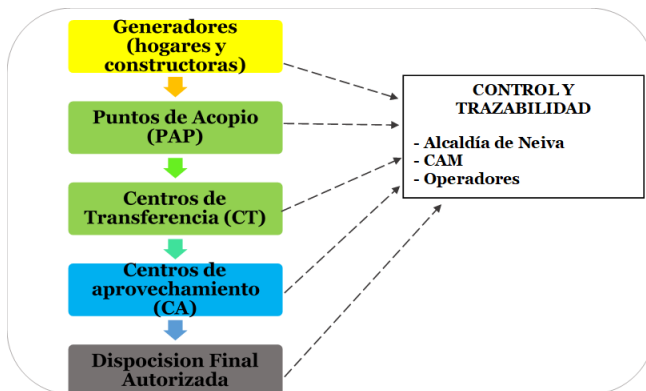
d) Centros de aprovechamiento (CA)

- Trituración y reutilización de materiales pétreos

e) Sitio de disposición final autorizado

Figura 8

Modelo de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD)



Nota: Elaboración propia de los autores

El diagrama representa la estructura operativa del modelo de logística inversa, evidenciando los flujos de materiales, los nodos del sistema y los mecanismos de control y trazabilidad que permiten gestionar los RCD desde su generación hasta su disposición o aprovechamiento final.

Flujos del sistema

Se definen tres flujos principales:

- Flujo 1: Generador → Punto de acopio
- Flujo 2: Punto de acopio → Centro de transferencia
- Flujo 3: Centro de transferencia → Aprovechamiento o disposición final

Roles operativos

Tabla 12

Matriz de roles operativos

Actor	Rol
Hogares	Separación básica y entrega
Constructoras	Clasificación y entrega programada
Transportadores	Recolección y traslado
Alcaldía	Regulación y coordinación
CAM	Control ambiental
Operadores	Aprovechamiento

Nota: Elaboración propia de los autores

Frecuencia de recolección

Hogares: 1–2 veces por semana (programado)

Constructoras: según generación (bajo demanda)

Puntos de acopio: cada 48–72 horas

Esquema básico de rutas

Rutas tipo circuito urbano

Cobertura por zonas (clusterización de barrios)

Optimización por volumen generado

Adicionalmente, se realiza una evaluación preliminar de la viabilidad del modelo, considerando aspectos técnicos, ambientales e institucionales que permiten validar su factibilidad en el contexto territorial del municipio de Neiva.

5.2.3.3.2. Comparación entre el sistema actual y el modelo propuesto

Con el fin de evidenciar la transformación estructural planteada, se realiza una comparación entre el sistema actual de gestión de RCD y el modelo de logística inversa propuesto.

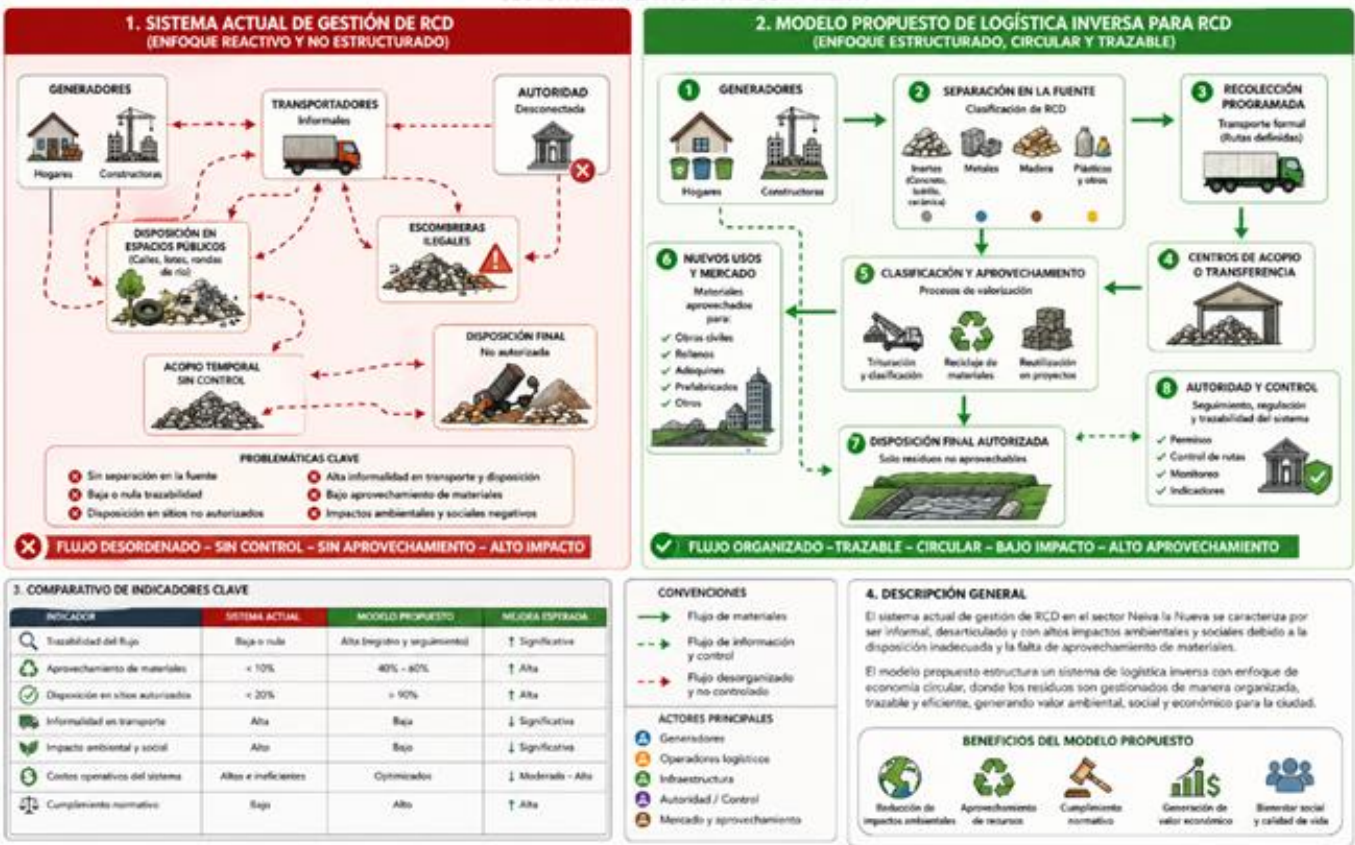
El sistema actual se caracteriza por presentar flujos desarticulados, baja trazabilidad, alta informalidad en el transporte y disposición inadecuada de residuos en sitios no autorizados, lo que genera impactos ambientales y sociales significativos.

En contraste, el modelo propuesto plantea un sistema organizado y controlado, en el cual se establecen procesos definidos desde la separación en la fuente hasta el aprovechamiento de materiales, incorporando mecanismos de trazabilidad y control institucional que permiten mejorar la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo.

Asimismo, se evidencian mejoras en indicadores clave como el incremento en el aprovechamiento de materiales, la reducción de la informalidad y el fortalecimiento del control del sistema, lo que permite transitar hacia un enfoque de economía circular.

Figura 9

Comparación entre el sistema actual de gestión de RCD y el modelo de logística inversa propuesto



Nota. Elaboración propia con base en el diagnóstico realizado en la investigación y en los principios de la logística inversa y la economía circular (Govindan et al., 2015; Ghisellini et al., 2016).

Finalmente, la fase concluye con la consolidación del diseño del modelo de logística inversa, integrando sus componentes estructurales, operativos y de control, lo cual constituye la base para su posterior evaluación en términos de viabilidad técnica, ambiental e institucional en la siguiente fase del proyecto.

5.2.3.4. Fase 4. Evaluación de Viabilidad del modelo de logística inversa

Esta fase, con una duración de 35 días, tiene como propósito evaluar la factibilidad de implementación del modelo de logística inversa propuesto, a partir de un análisis integral que contempla dimensiones ambientales, logísticas e institucionales.

En esta etapa se valida la pertinencia del modelo frente a las condiciones reales del sistema de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), asegurando que la propuesta no solo sea técnicamente viable, sino también operativamente funcional y normativamente aplicable.

5.2.3.4.1. Evaluación ambiental

El componente ambiental se enfoca en analizar los impactos asociados a la implementación del modelo, particularmente en términos de reducción de la disposición inadecuada de residuos, incremento en el aprovechamiento de materiales y mitigación de efectos negativos sobre el entorno.

El modelo propuesto permite disminuir la presión sobre los sitios de disposición final, al promover la reutilización de materiales pétreos y la separación en la fuente, contribuyendo así a la transición hacia un enfoque de economía circular. Asimismo, se evidencian beneficios en la reducción de contaminación del suelo, afectaciones paisajísticas y generación de puntos críticos de disposición ilegal.

5.2.3.4.2. Evaluación logística

Desde el enfoque logístico, se analiza el desempeño operativo del modelo, considerando la eficiencia de la red diseñada en la fase anterior. Se evalúan aspectos como la articulación de

los flujos de materiales, la capacidad de los nodos logísticos (puntos de acopio, centros de transferencia y centros de aprovechamiento), así como la optimización de rutas y tiempos de operación.

Adicionalmente, se revisan los costos asociados al transporte, recolección y procesamiento de los residuos, junto con la identificación de posibles cuellos de botella en el sistema. Este análisis permite validar que el modelo propuesto es funcional, escalable y capaz de responder a la dinámica de generación de RCD en el contexto urbano.

5.2.3.4.3. *Evaluación institucional*

La evaluación institucional analiza las condiciones normativas y organizacionales necesarias para la implementación del modelo. Se examina el marco regulatorio vigente en materia de gestión de RCD, así como el rol de las entidades responsables de la regulación, control y operación del sistema.

Se identifican posibles barreras legales y operativas, tales como la informalidad en el transporte de residuos y la limitada capacidad de control, proponiendo ajustes orientados a fortalecer la trazabilidad, la supervisión institucional y el cumplimiento de la normativa ambiental.

Asimismo, se resalta la importancia de la articulación entre actores públicos y privados, como elemento clave para garantizar la sostenibilidad del modelo.

5.2.3.4.4. *Análisis comparativo del sistema*

Con el fin de evidenciar la transformación estructural planteada, se presenta una comparación entre el sistema actual de gestión de RCD y el modelo de logística inversa propuesto (ver Figura 10).

En el sistema actual, se identifican deficiencias como la ausencia de separación en la fuente, la disposición inadecuada de residuos, la informalidad en el transporte y la falta de control institucional, lo que genera baja trazabilidad y altos impactos ambientales.

Por el contrario, el modelo propuesto configura un sistema organizado, en el cual se establecen procesos definidos desde la generación hasta el aprovechamiento de los residuos, incorporando mecanismos de control, seguimiento y regulación. Esto permite mejorar significativamente indicadores como la trazabilidad del sistema, el porcentaje de aprovechamiento de materiales y el cumplimiento normativo.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el modelo de logística inversa propuesto es viable desde el punto de vista técnico, ambiental e institucional, evidenciando mejoras sustanciales frente al sistema actual.

La fase culmina con el hito de evaluación de viabilidad del modelo finalizado, el cual valida la solidez de la propuesta y habilita su consolidación en la fase de formulación final del proyecto.

5.2.3.5. *Fase 5. Formulación y presentación final del proyecto*

Esta fase, con una duración de 23 días, corresponde a la etapa final del proyecto, en la cual se consolidan, integran y validan todos los componentes del modelo de logística inversa

propuesto. Su propósito es garantizar que la propuesta final sea coherente, técnicamente consistente y aplicable en el contexto territorial analizado.

En esta etapa se realiza la integración de los resultados obtenidos en las fases anteriores, articulando los componentes logísticos, ambientales e institucionales en un modelo único que responde de manera estructurada a las problemáticas identificadas en el diagnóstico.

5.2.3.5.1. *Integración del modelo*

Inicialmente, se consolidan los elementos técnicos del modelo, incluyendo la red logística, los flujos de materiales, los nodos del sistema, los roles de los actores y los mecanismos de control y trazabilidad.

Esta integración permite estructurar una propuesta completa y funcional, en la cual cada componente se articula de manera coherente, garantizando la continuidad del sistema desde la generación hasta el aprovechamiento o disposición final de los residuos.

Asimismo, se incorporan los resultados de la evaluación de viabilidad, ajustando el modelo en función de los hallazgos obtenidos en términos ambientales, logísticos e institucionales, con el fin de fortalecer su aplicabilidad y sostenibilidad.

5.2.3.5.2. *Validación del modelo*

Posteriormente, se desarrolla la validación conceptual del modelo, la cual consiste en la revisión de su consistencia técnica, operativa y normativa.

En esta etapa se realiza la presentación del modelo a actores clave, lo que permite recoger observaciones y retroalimentación sobre su funcionamiento, pertinencia y posibles ajustes. Esta

interacción fortalece la propuesta, al incorporar perspectivas externas que contribuyen a su mejora.

A partir de esta retroalimentación, se realizan los ajustes necesarios al modelo, garantizando que cumpla con criterios de viabilidad, eficiencia y alineación con las condiciones del entorno.

5.2.3.5.3. *Consolidación del modelo final*

Como resultado de esta fase, se obtiene un modelo de logística inversa integral, estructurado bajo un enfoque de economía circular, que permite mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en el municipio de Neiva.

El modelo final incorpora:

- Un sistema logístico organizado y trazable
- Roles claramente definidos para cada actor
- Mecanismos de control y seguimiento
- Estrategias de aprovechamiento de materiales
- Cumplimiento de la normativa vigente

Todo lo anterior garantiza que la propuesta no solo es técnicamente viable, sino también sostenible y aplicable en el contexto real.

Finalmente, la fase culmina con el hito de modelo de logística inversa validado y formulado, el cual representa la consolidación del producto final del proyecto.

Este resultado constituye un aporte significativo a la gestión de RCD, al proponer una alternativa estructurada que mejora la eficiencia operativa, reduce impactos ambientales y fortalece el control institucional.

En conjunto, la estructuración del proyecto en cinco fases permitió desarrollar de manera progresiva y coherente el modelo de logística inversa, garantizando la articulación entre el diagnóstico, el diseño, la evaluación y la formulación final. Esta metodología asegura que la propuesta no solo responde a las necesidades identificadas, sino que también presenta condiciones reales de implementación en el contexto territorial analizado.

5.2.4. *Línea base del cronograma*

La línea base del cronograma constituye la versión aprobada del plan de trabajo, en la cual se establecen las fechas de inicio y fin, duraciones y secuencia de todas las actividades del proyecto. Esta línea base sirve como referencia para el seguimiento y control, permitiendo comparar el desempeño real frente a lo planificado.

En el presente proyecto, la línea base fue definida a partir del cronograma elaborado en Microsoft Project, el cual integra la totalidad de actividades organizadas en cinco fases: gestión del proyecto, diagnóstico del sistema actual, diseño del modelo de logística inversa, evaluación de viabilidad y formulación final.

A partir de esta estructuración, se establecieron las relaciones de precedencia entre actividades mediante dependencias tipo Fin a Comienzo (FC) y Comienzo a Comienzo (CC), lo que permitió una adecuada secuenciación lógica y la ejecución paralela de tareas cuando fue necesario. Esto se evidencia en el cronograma, donde varias actividades del diagnóstico y diseño se desarrollan simultáneamente para optimizar el tiempo total del proyecto.

La línea base definida contempla una duración total de aproximadamente 270 días, iniciando en enero de 2026 y finalizando en enero de 2027. Esta programación incorpora tiempos realistas asociados a la recolección de información en campo, análisis técnico, validación con actores y estructuración del modelo.

Asimismo, el cronograma permite identificar la ruta crítica del proyecto, representada por aquellas actividades que no cuentan con holgura y cuyo retraso impactaría directamente la fecha final del proyecto. En las imágenes presentadas (ver Figura 11), se observa cómo las fases de diagnóstico del sistema actual y diseño del modelo concentran gran parte de las actividades críticas, debido a su alta dependencia secuencial.

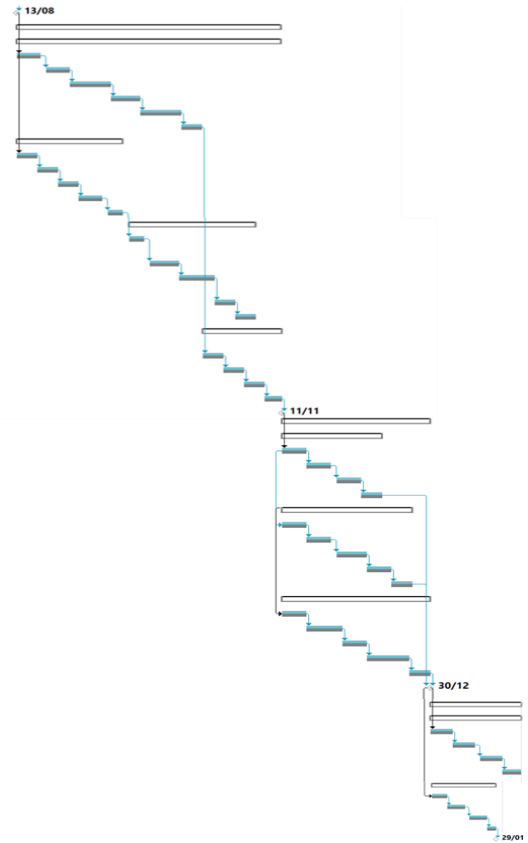
La línea base también refleja la articulación progresiva de los entregables del proyecto, donde cada fase se sustenta en los resultados de la anterior. Por ejemplo, el diseño del modelo (Fase 3) depende directamente de los resultados del diagnóstico (Fase 2), mientras que la evaluación de viabilidad (Fase 4) valida los componentes estructurados previamente.

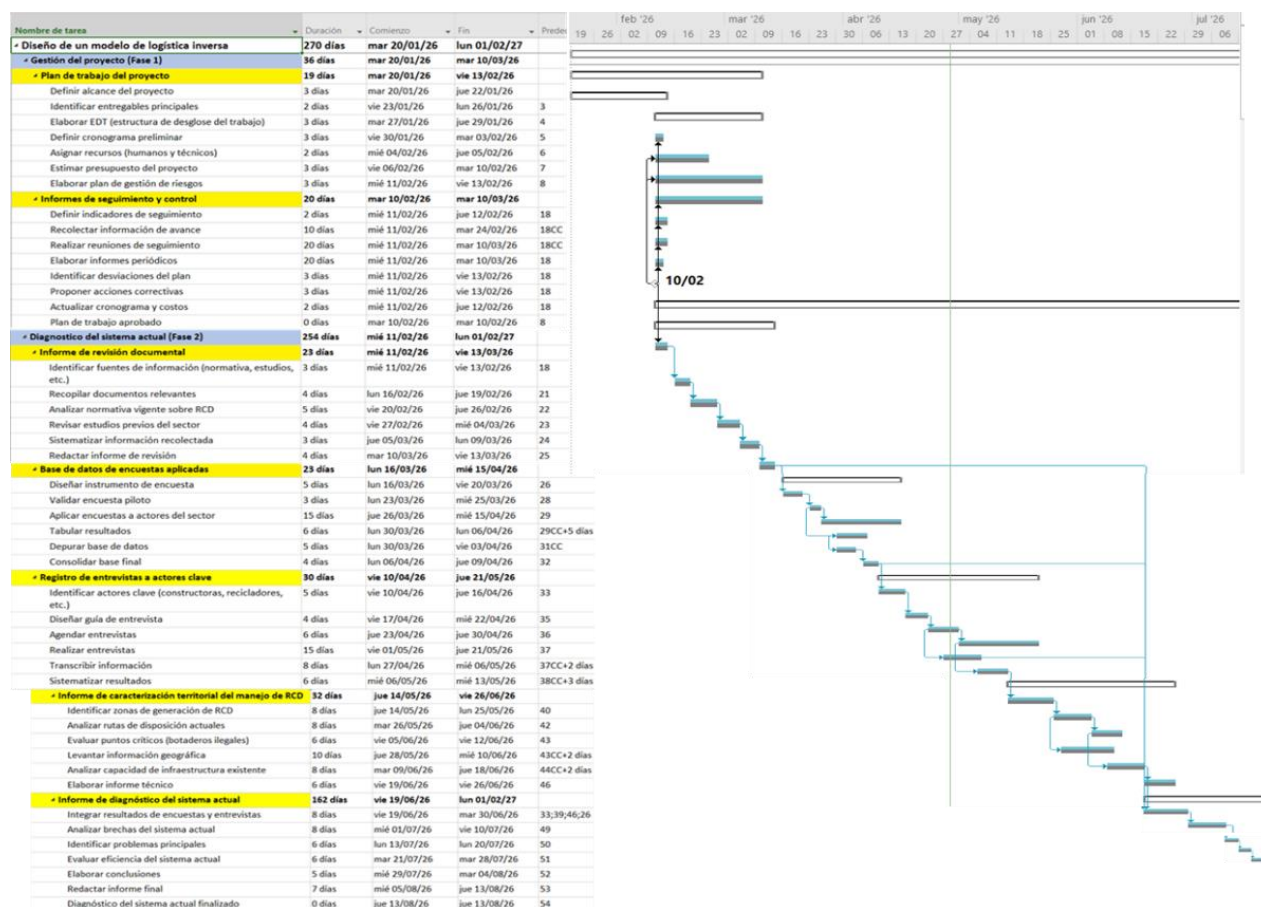
Finalmente, la definición de la línea base del cronograma permite establecer un punto de control para la gestión del proyecto, facilitando el monitoreo del avance, la identificación de desviaciones y la implementación de acciones correctivas en caso de retrasos, garantizando así el cumplimiento de los objetivos planteados.

Figura 10

Línea base del cronograma

• Diseño del modelo de logística inversa (Fase 3)	64 días	vie 14/08/26	mié 11/11/26	
• Propuesta de estructura de red logística	64 días	vie 14/08/26	mié 11/11/26	
Definir nodos de recolección	6 días	vie 14/08/26	vie 21/08/26	55
Identificar centros de acopio	6 días	lun 24/08/26	lun 31/08/26	58
Diseñar rutas de transporte	10 días	mar 01/09/26	lun 14/09/26	59
Evaluar alternativas de localización	8 días	mar 15/09/26	jue 24/09/26	60
Modelar flujo de materiales	10 días	vie 25/09/26	jue 08/10/26	61
Validar propuesta preliminar	5 días	vie 09/10/26	jue 15/10/26	62
• Matriz de actores y roles del sistema	26 días	vie 14/08/26	vie 18/09/26	
Identificar actores del sistema	5 días	vie 14/08/26	jue 20/08/26	55
Definir responsabilidades de cada actor	5 días	vie 21/08/26	jue 27/08/26	65
Analizar relaciones entre actores	5 días	vie 28/08/26	jue 03/09/26	66
Construir matriz poder/interés	6 días	vie 04/09/26	vie 11/09/26	67
Validar roles con actores clave	5 días	lun 14/09/26	vie 18/09/26	68
• Propuesta de mecanismos de trazabilidad de RCD	31 días	lun 21/09/26	lun 02/11/26	
Definir variables de control (origen, volumen, destino)	5 días	lun 21/09/26	vie 25/09/26	69
Diseñar sistema de registro	8 días	lun 28/09/26	mié 07/10/26	71
Proponer herramientas tecnológicas (apps, formatos)	8 días	jue 08/10/26	lun 19/10/26	72
Establecer procedimientos de seguimiento	5 días	mar 20/10/26	lun 26/10/26	73
Validar viabilidad del sistema	5 días	mar 27/10/26	lun 02/11/26	74
• Propuesta de indicadores de desempeño del sistema	19 días	vie 16/10/26	mié 11/11/26	
Definir indicadores logísticos (tiempos, costos)	5 días	vie 16/10/26	jue 22/10/26	63
Definir indicadores ambientales	5 días	vie 23/10/26	jue 29/10/26	77
Establecer métricas de eficiencia	5 días	vie 30/10/26	jue 05/11/26	78
Definir frecuencia de medición	4 días	vie 06/11/26	mié 11/11/26	79
Diseño del modelo de logística inversa finalizado	0 días	mié 11/11/26	mié 11/11/26	80
• Evaluación de Viabilidad (Fase 4)	35 días	jue 12/11/26	mié 30/12/26	
• Informe de evaluación ambiental	23 días	jue 12/11/26	lun 14/12/26	
Identificar impactos ambientales	6 días	jue 12/11/26	jue 19/11/26	81
Analizar reducción de residuos	6 días	vie 20/11/26	vie 27/11/26	84
Evaluar beneficios ambientales	6 días	lun 30/11/26	lun 07/12/26	85
Elaborar informe	5 días	mar 08/12/26	lun 14/12/26	86
• Informe de evaluación logística	31 días	jue 12/11/26	jue 24/12/26	
Analizar costos operativos	6 días	jue 12/11/26	jue 19/11/26	84CC
Evaluar eficiencia de rutas	6 días	vie 20/11/26	vie 27/11/26	89
Simular funcionamiento del sistema	8 días	lun 30/11/26	mié 09/12/26	90
Identificar cuellos de botella	6 días	jue 10/12/26	jue 17/12/26	91
Elaborar informe	5 días	vie 18/12/26	jue 24/12/26	92
• Informe de evaluación institucional	35 días	jue 12/11/26	mié 30/12/26	
Analizar marco normativo	6 días	jue 12/11/26	jue 19/11/26	88CC
Evaluar capacidad institucional	8 días	vie 20/11/26	mar 01/12/26	95
Identificar barreras legales	6 días	mié 02/12/26	mié 09/12/26	96
Proponer ajustes normativos	10 días	jue 10/12/26	mié 23/12/26	97
Elaborar informe	5 días	jue 24/12/26	mié 30/12/26	98
Evaluación de viabilidad del modelo finalizada	0 días	mié 30/12/26	mié 30/12/26	99;87;93
• Formulación final (Fase 5)	23 días	jue 31/12/26	lun 01/02/27	
• Integración de componentes del modelo	23 días	jue 31/12/26	lun 01/02/27	
Consolidar resultados técnicos	6 días	jue 31/12/26	jue 07/01/27	100
Integrar diseño logístico	6 días	vie 08/01/27	vie 15/01/27	103
Integrar componentes ambientales y económicos	6 días	lun 18/01/27	lun 25/01/27	104
Ajustar modelo final	5 días	mar 26/01/27	lun 01/02/27	105
• Validación conceptual del modelo	21 días	vie 01/01/27	vie 29/01/27	
Presentar modelo a los interesados	5 días	vie 01/01/27	jue 07/01/27	100CC+1 día
Recoger observaciones	6 días	vie 08/01/27	vie 15/01/27	108
Ajustar propuesta según retroalimentación	6 días	lun 18/01/27	lun 25/01/27	109
Validar consistencia técnica	4 días	mar 26/01/27	vie 29/01/27	110
Modelo final de logística inversa validado	0 días	vie 29/01/27	vie 29/01/27	111





Nota: Elaboración propia - Microsoft Project

Adicionalmente, la línea base del cronograma se complementa con la línea base de costos y alcance, conformando la línea base de desempeño del proyecto, la cual permite una gestión integral bajo los lineamientos del Project Management Institute (PMI).

5.3. Gestión de Costos

La gestión de costos del proyecto se desarrolló con el objetivo de estimar, estructurar y controlar los recursos financieros necesarios para la ejecución del modelo de logística inversa. Esta gestión se fundamenta en la EDT y el cronograma definido previamente, permitiendo asignar costos a cada actividad y consolidar un presupuesto total del proyecto.

5.3.1. Presupuesto por actividades

El presupuesto del proyecto fue estimado mediante un enfoque ascendente (bottom-up), a partir de la desagregación de actividades definidas en la EDT. A cada actividad se les asignaron costos asociados a recursos humanos, logística de campo, procesamiento de información y actividades de validación.

Esta metodología permitió agrupar los costos por paquetes de trabajo y fases del proyecto, facilitando una estimación más precisa y el posterior control financiero.

Tabla 13

Estimación de costo por actividades del proyecto

Fase 1 Gestión del Proyecto \$ 3.100.000

Paquete de trabajo	Actividad	Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total (COP)
Plan de trabajo	Definir alcance	Profesional	100.000	3 días	300.000
	Identificar entregables	Profesional	100.000	2 días	200.000
	Elaborar EDT	Profesional	100.000	3 días	300.000
	Definir cronograma	Profesional	100.000	3 días	300.000
Gestión de recursos	Asignar recursos	Profesional	100.000	2 días	200.000
Presupuesto	Estimar costos	Profesional	100.000	3 días	300.000
Riesgos	Plan de riesgos	Profesional	100.000	3 días	300.000
Seguimiento	Definir indicadores	Profesional	100.000	2 días	200.000
	Reuniones de seguimiento	Profesional	100.000	5 días	500.000
	Informes periódicos	Profesional	100.000	5 días	500.000

Fase 2 Diagnostico del sistema actual de RCD \$ 7.150.000

Paquete de trabajo	Actividad	Recurso principal	Costo unitario	Cantidad	Costo total (COP)
Base de datos de encuestas	Diseñar instrumento	Profesional	100.000	2 días	200.000

	Validar encuesta piloto	Profesional	100.000	3 días	300.000
	Aplicar encuestas	Encuestadores	80.000	15 días	1.200.000
	Tabular resultados	Auxiliar	70.000	6 días	420.000
	Depurar base de datos	Auxiliar	70.000	5 días	350.000
	Consolidar base final	Profesional	100.000	4 días	400.000
Entrevistas	Identificar actores	Profesional	100.000	5 días	500.000
	Diseñar guía	Profesional	100.000	4 días	400.000
	Agendar entrevistas	Auxiliar	70.000	6 días	420.000
	Realizar entrevistas	Profesional	120.000	15 días	1.800.000
	Transcribir información	Auxiliar	70.000	8 días	560.000
	Sistematizar resultados	Profesional	100.000	6 días	600.000

Fase 3 Diseño del modelo de logística inversa \$ 6.180.000

Paquete	Actividad	Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total (COP)
Red logística	Definir nodos	Profesional	120.000	6 días	720.000
	Diseñar rutas	Profesional	120.000	10 días	1.200.000
	Modelar flujo	Profesional	120.000	10 días	1.200.000
Actores	Identificar actores	Profesional	100.000	5 días	500.000
	Construir matriz	Profesional	100.000	6 días	600.000
Trazabilidad	Diseñar sistema	Profesional	120.000	8 días	960.000
	Procedimientos	Profesional	100.000	5 días	500.000
Indicadores	Definir indicadores	Profesional	100.000	5 días	500.000

Fase 4 Evaluación de viabilidad del modelo de logística inversa \$ 2.160.000

Paquete	Actividad	Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total (COP)
Ambiental	Análisis impactos	Profesional	120.000	6 días	720.000
Logístico	Evaluación rutas	Profesional	120.000	6 días	720.000
Institucional	Análisis normativo	Profesional	120.000	6 días	720.000

Fase 5 Formulación y presentación final del proyecto \$ 2.040.000

Paquete	Actividad	Recurso	Costo unitario	Cantidad	Costo total (COP)
Integración	Consolidar modelo	Profesional	120.000	6 días	720.000
Validación	Socialización	Profesional	120.000	5 días	600.000
Ajustes	Ajuste final	Profesional	120.000	6 días	720.000

Fase	Nombre	Costo REAL
Fase 1	Gestión	\$3.100.000
Fase 2	Diagnóstico	\$7.150.000
Fase 3	Diseño	\$6.180.000
Fase 4	Evaluación	\$2.160.000
Fase 5	Formulación	\$2.040.000
Total, del Proyecto		\$ 20.630.000

Nota: Elaboración propia de los autores

Los resultados de la estimación evidencian que la mayor proporción del costo del proyecto se concentra en las fases de diagnóstico y diseño del modelo, debido a la intensidad del trabajo de campo, la recolección de información y el desarrollo técnico requerido.

Por su parte, las fases de evaluación de viabilidad y formulación final presentan una menor participación en el costo total, al centrarse principalmente en actividades de análisis, validación y consolidación de resultados.

Esta distribución del presupuesto es coherente con la naturaleza del proyecto, donde el mayor esfuerzo operativo y técnico se desarrolla en las etapas intermedias, garantizando una adecuada asignación de los recursos disponibles.

5.3.2. Línea base de costos

La línea base de costos fue estructurada a partir de los costos estimados para cada una de las actividades del proyecto, incorporando además una reserva de contingencia equivalente al 10% del presupuesto total. Esta reserva tiene como finalidad cubrir posibles eventos inciertos o riesgos identificados durante el proceso de gestión del proyecto.

Para su cálculo, se tomó como referencia el costo total estimado del proyecto, correspondiente a \$20.630.000. A partir de este valor, se determinó una reserva de contingencia del 10%, equivalente a \$2.063.000. En consecuencia, la línea base total de costos del proyecto asciende a un valor de \$22.693.000, incluyendo tanto los costos directos estimados como la provisión para contingencias.

Tabla 14*Línea base de costos del proyecto*

FASE	COSTOS ESTIMADOS	RESERVA CONTIGENCIA 10%	LINEA BASE FASE
Fase 1 Gestión	\$3.100.000	\$310.000	\$3.410.000
Fase 2 Diagnóstico	\$7.150.000	\$310.000	\$7.865.000
Fase 3 Diseño	\$6.180.000	\$310.000	\$6.798.000
Fase 4 Evaluación	\$2.160.000	\$216.000	\$2.376.000
Fase 5 Formulación	\$2.040.000	\$204.000	\$2.244.000
TOTAL	\$20.630.000	\$2.063.000	\$22.693.000

Nota: Elaboración propia de los autores

La línea base de costos fue estructurada a partir de los costos estimados por actividad más una reserva de contingencia equivalente al 10% del presupuesto total, destinada a cubrir eventos inciertos identificados en la gestión de riesgos del proyecto.

5.3.2.1. Curva S del proyecto

La Curva S representa el comportamiento acumulado de los costos del proyecto a lo largo del tiempo, permitiendo visualizar la evolución progresiva del gasto desde el inicio hasta la finalización del mismo. En el presente proyecto, la curva fue elaborada a partir de la línea base de costos, incluyendo la reserva de contingencia definida dentro de la gestión de riesgos, lo que permite reflejar de manera integral la planificación financiera del proyecto.

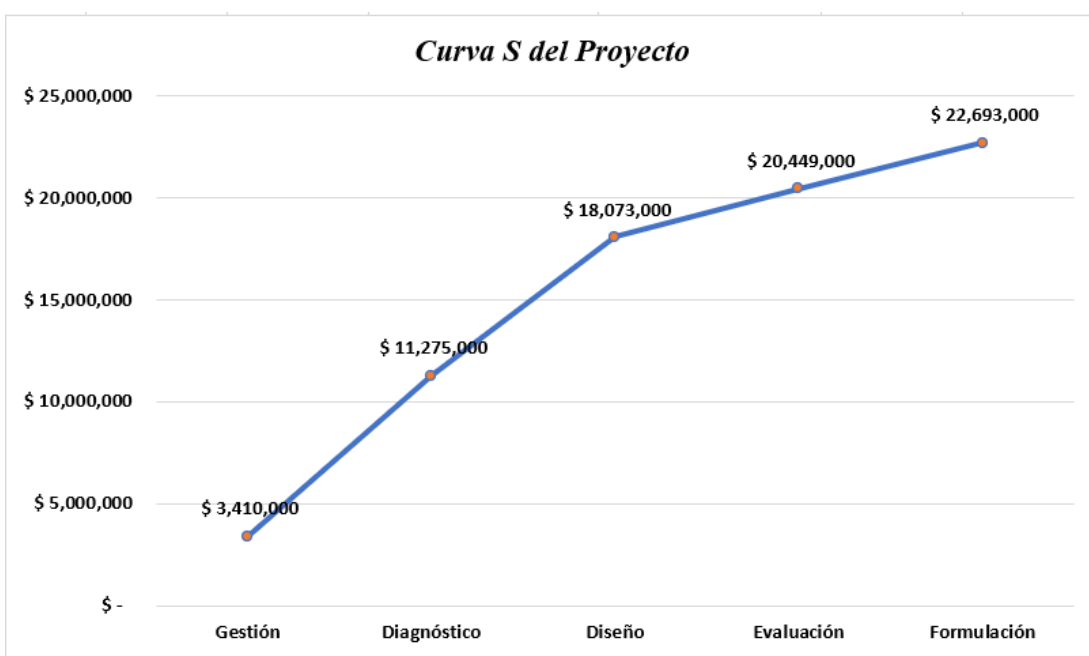
Durante la fase inicial, correspondiente a la gestión del proyecto, el crecimiento del costo acumulado es moderado debido a que las actividades se concentran principalmente en procesos de planificación, organización y estructuración metodológica. Posteriormente, en las fases de diagnóstico y diseño del modelo, se presenta el mayor incremento en los costos, asociado al

desarrollo de actividades de campo, recopilación y procesamiento de información, así como a la estructuración técnica del modelo de logística inversa.

Finalmente, en las fases de evaluación de viabilidad y formulación final, el crecimiento del costo acumulado tiende a estabilizarse, reflejando la consolidación, análisis y validación conceptual de la propuesta planteada. Este comportamiento evidencia una distribución progresiva y planificada de los recursos del proyecto, concentrando el mayor esfuerzo económico en las etapas críticas del desarrollo metodológico y técnico.

Figura 11

Curva S del proyecto



Nota: Elaboración propia de los autores

La Curva S del proyecto representa el comportamiento acumulado de la línea base de costos durante las diferentes fases del proyecto. La gráfica incorpora una reserva de contingencia equivalente al 10% del presupuesto total, permitiendo visualizar la distribución progresiva de los recursos financieros conforme a la planificación establecida.

5.4. Gestión de Recursos

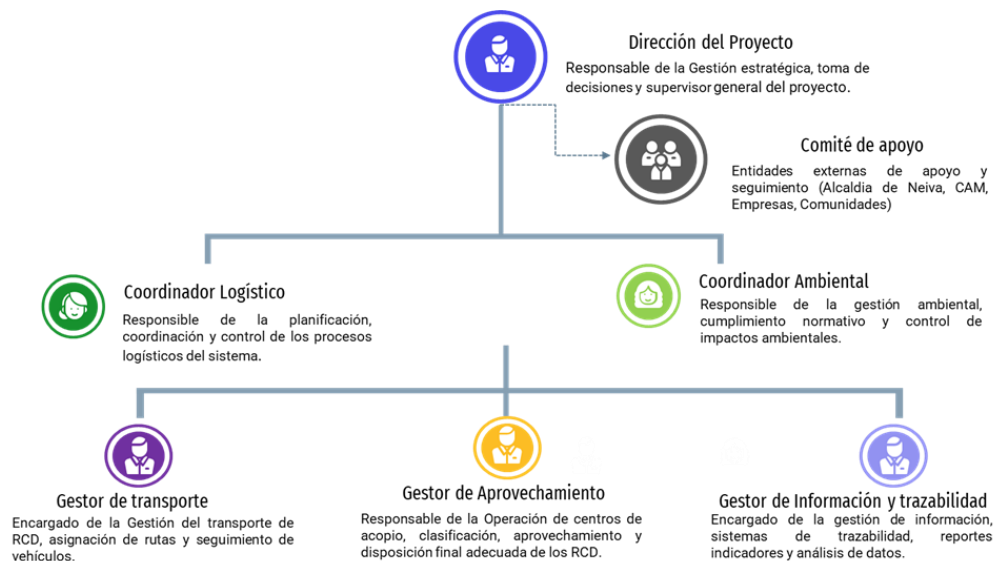
La gestión de recursos del proyecto se enfoca en la adecuada asignación de responsabilidades, roles y estructura organizacional necesarios para la implementación del modelo logístico propuesto para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Neiva.

Este componente permite garantizar la coordinación efectiva entre los actores involucrados, optimizando el uso de los recursos humanos y fortaleciendo la toma de decisiones dentro del proyecto. De acuerdo con el Project Management Institute (2021), una adecuada gestión de recursos contribuye al cumplimiento de los objetivos del proyecto mediante la definición clara de roles y responsabilidades.

5.4.1. Organigrama del Proyecto

Figura 12

Organigrama del proyecto



Nota: Elaboración propia de los autores

El organigrama del proyecto se estructura en tres niveles: estratégico, táctico y operativo. En el nivel estratégico se encuentra la Dirección del Proyecto, encargada de la toma de decisiones y la supervisión general. En el nivel táctico se ubican los coordinadores logístico y ambiental, responsables de la planificación y control de las actividades. Finalmente, en el nivel operativo se encuentran los gestores encargados de ejecutar las actividades relacionadas con el transporte, aprovechamiento y trazabilidad de los residuos.

5.4.2. *Matriz RACI*

En el marco del diseño del modelo logístico para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Neiva, se hace necesario establecer una asignación clara de roles y responsabilidades que permita garantizar la adecuada ejecución de las actividades definidas en el proyecto.

La complejidad inherente a la gestión de los RCD, caracterizada por la participación de múltiples actores y la interacción de diferentes procesos logísticos, requiere herramientas que faciliten la coordinación, eviten la duplicidad de funciones y aseguren la trazabilidad de las decisiones. En este contexto, la matriz RACI se constituye como un instrumento fundamental para la gestión de recursos humanos dentro del proyecto.

La matriz RACI permite identificar de manera estructurada los niveles de responsabilidad asociados a cada actividad, definiendo quién ejecuta, quién supervisa, quién debe ser consultado y quién debe mantenerse informado. Esta herramienta es ampliamente utilizada en la gestión de proyectos para mejorar la eficiencia organizacional y fortalecer la gobernanza de los procesos, tal como lo plantea el Project Management Institute (2021).

En el presente proyecto, la implementación de la matriz RACI permite articular los roles definidos dentro del modelo logístico propuesto, facilitando la integración entre los niveles estratégico, táctico y operativo. De esta manera, se contribuye a optimizar la gestión de los RCD, garantizando una adecuada coordinación entre los responsables de la planificación, ejecución, control y seguimiento de las actividades.

Como resultado de esta herramienta fortalece la capacidad de respuesta del sistema frente a los riesgos identificados, al establecer líneas claras de responsabilidad que permiten una toma de decisiones oportuna y efectiva, en concordancia con los objetivos de eficiencia, sostenibilidad y trazabilidad planteados en el proyecto.

La presente matriz RACI se desarrolla a nivel de paquetes de trabajo, definidos a partir de la estructura de descomposición del proyecto (EDT), lo cual permite asignar responsabilidades sobre componentes estratégicos del modelo logístico, garantizando una adecuada coordinación entre los actores involucrados.

Tabla 15
Matriz RACI

PAQUETES DE TRABAJO	ROLES / ACTORES DEL PROYECTO					
	DIRECTOR DEL PROYECTO	COORDINADOR LOGÍSTICO	COORDINADOR AMBIENTAL	GESTOR DE TRANSPORTE	GESTOR DE APROVECHAMIENTO	GESTOR DE INFORMACIÓN Y TRAZABILIDAD
1.1 Plan de trabajo del proyecto	A	I	I	I	I	I
1.2 Seguimiento y control del proyecto	A	I	I	I	I	I
2.1 Revisión documental	C	I	I	I	I	I
2.2 Gestión de encuestas en campo	C	R	I	I	I	C
2.3 Gestión de entrevistas a actores clave	C	R	I	I	I	C
2.4 Caracterización del sistema territorial	C	C	R	C	C	C
2.5 Diagnóstico del sistema actual	C	R	R	C	C	C
3.1 Diseño de la red logística	C	R	C	C	C	C
3.2 Definición de actores y roles	A	C	C	C	C	C
3.3 Diseño de sistema de trazabilidad	C	C	C	C	C	R
3.4 Definición de indicadores de desempeño	C	R	R	C	C	C
4.1 Evaluación ambiental	C	C	R	I	I	C
4.2 Evaluación logística	C	R	C	C	C	C
4.3 Evaluación institucional	A	C	C	C	C	C
5.1 Integración del modelo	A	C	C	C	C	C
5.2 Validación del modelo	A	C	C	C	C	C
5.3 Presentación final del modelo	A	C	C	C	C	C
CONVENCIONES						
R Responsable Ejecuta la actividad A Aprobador Tiene la decisión final C Consultado Aporta información o criterio I Informado Recibe información sobre el avance						
NOTA Cada paquete de trabajo tiene un único Aprobador (A) para garantizar claridad en la toma de decisiones.						

Nota: Elaboración propia de los autores

5.5. Gestión de Interesados y comunicaciones

5.5.1. Registro de Interesados

La gestión de interesados constituye un elemento fundamental para el desarrollo e implementación del modelo logístico propuesto, en la medida en que permite identificar los actores que influyen o se ven impactados por el proyecto.

En este sentido, se realiza el registro de interesados, con el propósito de caracterizar su rol, nivel de interés e influencia dentro del sistema, facilitando la definición de estrategias de comunicación e involucramiento acordes con las necesidades del proyecto en la ciudad de Neiva.

Tabla 16

Registro de Interesados

Interesado	Tipo	Rol en el proyecto	Interés	Influencia	Expectativas
Alcaldía de Neiva	Institucional	Dirección y articulación del proyecto	Alto	Alto	Implementación eficiente del modelo
Autoridad ambiental	Institucional	Regulación, control y seguimiento	Alto	Alto	Cumplimiento normativo y ambiental
Generadores de RCD	Comunidad	Fuente de generación de residuos	Medio	Medio	Facilidad en disposición de residuos
Transportadores formales	Operativo	Ejecución del transporte de RCD	Alto	Medio	Claridad en rutas y operación
Gestores de aprovechamiento	Operativo	Tratamiento y valorización de residuos	Alto	Medio	Flujo constante de materiales
Comunidad en general	Social	Actor impactado indirectamente	Medio	Bajo	Reducción de impactos ambientales
Equipo investigador	Técnico	Diseño y estructuración del modelo	Alto	Alto	Validación y aplicabilidad del modelo

Nota: Elaboración propia de los autores

El registro de interesados permite establecer una visión integral de los actores vinculados al proyecto, sirviendo como base para la clasificación según poder e interés y la posterior definición de estrategias de comunicación e involucramiento.

5.5.2. Clasificación de interesados según poder e interés

Una vez identificados los interesados del proyecto, se procede a su clasificación de acuerdo con su nivel de poder e interés, con el fin de establecer estrategias diferenciadas de gestión e involucramiento.

Esta clasificación permite priorizar la atención sobre aquellos actores que tienen mayor capacidad de influencia en la implementación del modelo logístico, así como aquellos que presentan un alto nivel de interés en sus resultados, facilitando la toma de decisiones y la adecuada gestión del proyecto en la ciudad de Neiva.

Figura 13

Clasificación de interesados según poder e interés



Nota: Elaboración propia de los autores

La clasificación evidencia que los actores institucionales, como la Alcaldía y la autoridad ambiental, requieren una gestión prioritaria debido a su alta capacidad de influencia y nivel de interés en el proyecto. Por su parte, los actores operativos, como transportadores y gestores, aunque presentan menor poder, poseen un alto interés, por lo que su participación resulta clave para la viabilidad del modelo.

Finalmente, la comunidad y los generadores de residuos se ubican en niveles de menor influencia, pero su adecuada sensibilización resulta fundamental para garantizar la sostenibilidad del sistema propuesto.

5.5.3. Matriz del plan de involucramiento de interesados y comunicaciones

En coherencia con la identificación y clasificación de los interesados del proyecto, se establece el plan de involucramiento y comunicaciones, con el propósito de garantizar un flujo de información estructurado, oportuno y efectivo entre los actores vinculados al modelo logístico propuesto.

Este plan se fundamenta en la necesidad de adaptar los mecanismos de comunicación según el nivel de poder e interés de cada interesado, asegurando que la información transmitida contribuya a la toma de decisiones, la articulación institucional y la apropiación del modelo en la ciudad de Neiva.

Figura 14

Estrategia de Gestión por Categoría



Nota: Elaboración propia de los autores

Figura 15

Clasificación de interesados según poder e interés

No.	REQUIRIMIENTO O TEMA	¿QUÉ SE COMUNICA? (MENSAJE)	¿QUIÉN COMUNICA? (EMISOR)	¿A QUIÉN SE COMUNICA? (RECEPTOR)	¿CÓMO SE COMUNICA? (MEDIO)	¿CUÁNDO SE COMUNICA? (FRECUENCIA)	OBJETIVO DE LA COMUNICACIÓN
1	 Seguimiento al proyecto – Avance general	Estado de avance de las actividades y cumplimiento del cronograma del proyecto.	Equipo investigador	- Alcaldía de Neiva - Autoridad ambiental	 Reunión virtual / presencial	 Semanal	Mantener informados a los tomadores de decisión sobre el progreso del proyecto.
2	 Seguimiento al proyecto – Informe de avances	Informe de avances, cumplimiento de objetivos e indicadores preliminares.	Equipo investigador	- Alcaldía de Neiva - Autoridad ambiental	 Documento e informe	 Mensual	Presentar resultados periódicos y asegurar el cumplimiento de metas establecidas.
3	 Validación del modelo	Presentación de la estructura del modelo logístico y resultados parciales.	Equipo investigador	- Autoridades - Expertos técnicos - Aliados institucionales	 Reunión / presentación	 Según avance del proyecto	Obtener retroalimentación técnica para ajustar y validar el modelo propuesto.
4	 Articulación institucional	Sociulización del modelo logístico y beneficios esperados para la ciudad.	Equipo investigador	- Alcaldía de Neiva - Autoridad ambiental - Entidades aliadas	 Reunión institucional	 Puntual (según hitos del proyecto)	Fortalecer alianzas y garantizar el respaldo institucional para la implementación.
5	 Sensibilización comunitaria	Buenas prácticas en el manejo de RCD y su impacto ambiental y social.	Equipo investigador	- Hogares generadores - Comunidad en general	 Material informativo (físico y digital) / talleres	 Puntual / Campañas periódicas	Promover la cultura ambiental y la separación y disposición adecuada de RCD.
6	 Operación del modelo	Lineamientos y protocolos para la recolección, transporte y disposición de RCD.	Equipo investigador	- Transportadores formales - Gestores de aprovechamiento	 Reunión técnica / documento operativo	 Puntual (antes de la implementación)	Asegurar la correcta ejecución operativa del modelo logístico por parte de los actores.
7	 Riesgos del sistema	Impactos y riesgos asociados a la disposición inadecuada de RCD.	Equipo investigador	- Comunidad en general - Generadores de RCD	 Socialización / campañas	 Ocasional	Generar conciencia sobre los riesgos y promover comportamientos responsables.
8	 Evaluación del modelo	Resultados finales, indicadores de desempeño y lecciones aprendidas.	Equipo investigador	- Interesados clave - Entidades financiadoras - Comunidad académica	 Informe final / presentación pública	 Al finalizar el proyecto	Comunicar los resultados obtenidos y su impacto, garantizando transparencia y rendición de cuentas.

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis de la matriz de comunicaciones evidencia que los esfuerzos se concentran principalmente en los actores con alto poder e interés, como las entidades institucionales y autoridades ambientales, para quienes se establecen mecanismos de comunicación frecuentes y formales, orientados a facilitar la toma de decisiones y el seguimiento del proyecto.

De igual manera, se identifican estrategias diferenciadas para los actores operativos, como transportadores y gestores de aprovechamiento, priorizando espacios de validación técnica y lineamientos operativos que garanticen la correcta implementación del modelo.

Por su parte, la comunidad y los generadores de residuos son abordados mediante estrategias de sensibilización y socialización, reconociendo su papel en la sostenibilidad del sistema, aunque con menor nivel de influencia directa.

En conjunto, la matriz permite estructurar una gestión de comunicaciones alineada con las características de los interesados, fortaleciendo la coordinación entre actores, la transparencia en la información y la viabilidad del modelo logístico propuesto.

5.6. Gestión de Riesgos.

5.6.1. Estructura desagregación de riesgos (RBS)

La gestión de riesgos del proyecto inicia con la identificación estructurada de los posibles eventos que pueden afectar el cumplimiento de sus objetivos. Para ello, se emplea la Estructura de Desagregación de Riesgos, una herramienta que permite organizar de manera jerárquica y sistemática los riesgos, facilitando su análisis y posterior tratamiento.

En el contexto del presente proyecto, la RBS se construye a partir de la clasificación de los riesgos en tipologías directamente relacionadas con su naturaleza y alcance, tales como

riesgos estratégicos, operativos, financieros, normativos y sociales. Esta categorización permite identificar de manera integral las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a la ejecución del proyecto, especialmente en lo relacionado con la articulación institucional, la gestión de recursos, la operación logística y la participación de los actores involucrados.

De esta manera, la desagregación de los riesgos no solo facilita su comprensión, sino que también garantiza la coherencia con las condiciones reales del entorno en el que se desarrolla el proyecto, evitando omisiones en el proceso de identificación. Como resultado de la RBS constituye la base para el análisis por tipología y la posterior evaluación mediante la matriz de probabilidad e impacto, asegurando la trazabilidad entre los riesgos identificados y las estrategias definidas para su tratamiento.

Figura 16

Estructura de desagregación de riesgos



Nota: Elaboración propia de los autores

5.6.2. Listado de riesgos analizado por tipología

A partir de la identificación y clasificación de riesgos realizada mediante la Estructura de Desagregación de Riesgos (RBS), se desarrolla el análisis por tipología, en el cual se evalúan los principales riesgos que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Este análisis considera las causas, consecuencias, probabilidad de ocurrencia, impacto y nivel de riesgo, así como las estrategias de tratamiento correspondientes.

Tabla 17

Matriz Análisis de Riesgos

Tipología	Riesgo	Causa	Consecuencia
Estratégico	Falta de articulación institucional	Descoordinación entre entidades	Retrasos en la implementación
Estratégico	Cambios en políticas públicas	Transición administrativa	Desviación del enfoque del proyecto
Operativo	Ineficiencia en rutas de recolección	Mala planificación logística	Incremento de costos operativos
Operativo	Baja cobertura del servicio	Limitación de recursos	Insatisfacción de usuarios
Operativo	Fallas en la recolección	Problemas en la operación	Disminución de la eficiencia del sistema
Técnico	Fallas en sistemas de información	Infraestructura tecnológica limitada	Información no confiable
Técnico	Baja calidad de datos	Errores en el registro	Decisiones incorrectas
Técnico	Incompatibilidad tecnológica	Falta de integración de sistemas	Interrupciones operativas
Financiero	Insuficiencia de presupuesto	Limitación de recursos	Retrasos en actividades
Financiero	Incremento en costos	Variación en precios de insumos	Reducción del alcance
Financiero	Sobrecostos	Mala estimación	Afectación financiera

Legal	Incumplimiento normativo	Desconocimiento de la regulación	Sanciones o multas
Legal	Cambios en regulación	Actualizaciones normativas	Ajustes en el proyecto
Legal	Falta de permisos	Retrasos en trámites	Paralización de actividades
Ambiental	Impactos no previstos	Falta de control ambiental	Daño al entorno
Ambiental	Contaminación de suelo y agua	Manejo inadecuado de RCD	Afectación ambiental
Ambiental	Condiciones climáticas	Eventos extremos	Interrupción del servicio
Social	Baja participación ciudadana	Falta de cultura ambiental	Baja adopción del sistema
Social	Resistencia al cambio	Desinformación	Retrasos en implementación
Social	Conflictos con la comunidad	Percepción negativa	Pérdida de legitimidad

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis realizado evidencia que los riesgos con mayor nivel de criticidad se concentran en las tipologías estratégica, operativa, financiera y ambiental, debido a su alta probabilidad de ocurrencia y su impacto significativo sobre los objetivos del proyecto. En este sentido, se prioriza la implementación de estrategias de mitigación orientadas a fortalecer la articulación institucional, optimizar los procesos logísticos, asegurar la disponibilidad de recursos financieros y garantizar el cumplimiento de las condiciones ambientales. Como resultado se identifican riesgos que pueden ser evitados mediante el cumplimiento normativo y la adecuada gestión de permisos, así como riesgos de menor criticidad que pueden ser aceptados bajo condiciones controladas.

5.6.3. Matriz de probabilidad e impacto

Con el fin de priorizar los riesgos identificados, se empleó una matriz de probabilidad e impacto, herramienta utilizada en la gestión de riesgos para evaluar el nivel de criticidad de cada evento identificado. La valoración se realizó mediante una escala ordinal de cinco niveles tanto para la probabilidad de ocurrencia como para el impacto potencial sobre los objetivos del proyecto.

El nivel de riesgo se determinó a partir del producto entre la probabilidad (P) y el impacto (I), permitiendo clasificar los riesgos en categorías baja, media y alta, con el propósito de definir prioridades de tratamiento y estrategias de respuesta.

La Tabla 19 presenta los criterios de valoración utilizados para la asignación de puntajes en la evaluación de riesgos.

Tabla 18

Escala de valoración de probabilidad e impacto

PROBABILIDAD (P)			IMPACTO (I)		
Valor	Nivel	Descripción	Valor	Nivel	Descripción
1	Muy baja	Probabilidad $\leq 10\%$	1	Insignificante	Afectación mínima al proyecto
2	Baja	Probabilidad entre 11% y 30%	2	Menor	Impacto reducido y manejable
3	Media	Probabilidad entre 31% y 60%	3	Moderado	Afectación parcial en cronograma, costo o alcance
4	Alta	Probabilidad entre 61% y 80%	4	Mayor	Impacto significativo sobre los objetivos del proyecto
5	Muy alta	Probabilidad $\geq 80\%$	5	Catastrófico	Compromete seriamente el cumplimiento del proyecto

Nota: Elaboración propia de los autores

Tabla 19

Matriz de probabilidad e impacto

		IMPACTO				
		Insignificante (Muy bajo)	Menor (Bajo)	Moderado (Medio)	Mayor (Alto)	Catastrófico (Muy alto)
PROBABILIDAD	Muy Alta (≥ 80%)	Medio	Alto	Alto	Muy Alto R1	Muy Alto R2
	Alta (61% - 80%)	Medio	Medio	Alto	Muy Alto R8 R5	Muy Alto R3
	Media (31% - 60%)	Bajo	Medio	Medio R6	Alto R4	Alto
	Baja (11% - 30%)	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto R7
	Muy Baja (≤ 10%)	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
		RIESGO BAJO		RIESGO MEDIO		RIESGO ALTO
		Riesgos aceptables. Monitoreo regular.		Requieren atención. Definir acciones de mitigación.		Requieren atención inmediata. Plan de respuesta prioritario.

Código	Riesgo	Probabilidad (P)	Impacto (I)	Nivel de Riesgo (P x I)	Nivel
R1	Baja participación ciudadana	5	4	20	Alto
R2	Falta de articulación institucional	5	5	25	Alto
R3	Limitaciones presupuestales	4	5	20	Alto
R4	Fallas en el sistema de información	3	4	12	Medio
R5	Resistencia al cambio organizacional	4	4	16	Alto
R6	Incremento en costos operativos	3	4	12	Medio
R7	Incumplimiento de normativas ambientales	2	5	10	Medio
R8	Ineficiencia en rutas de recolección	4	4	16	Alto

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis de la matriz evidencia que los riesgos con mayor nivel de criticidad se concentran en valores altos de probabilidad e impacto, destacándose aquellos asociados a la baja participación ciudadana, la falta de articulación institucional y las limitaciones presupuestales. Estos riesgos requieren atención prioritaria y la implementación de estrategias de mitigación inmediata.

Por otro lado, los riesgos clasificados en niveles medios deben ser gestionados mediante seguimiento y control continuo, mientras que los riesgos de nivel bajo pueden ser aceptados bajo monitoreo periódico, sin comprometer significativamente los objetivos del proyecto.

5.6.4. *Priorización de Riesgos (TOP 5)*

La priorización de los riesgos se realizó con base en los resultados obtenidos en la matriz de probabilidad e impacto, garantizando la coherencia entre la representación gráfica y el análisis cuantitativo. Para ello, se tomaron los valores asignados a cada riesgo en términos de probabilidad y nivel de impacto, calculando su nivel mediante el producto de ambas variables ($P \times I$).

A partir de este resultado, los riesgos fueron clasificados en niveles alto, medio y bajo, lo que permitió establecer un orden de atención enfocado en aquellos eventos que representan mayor amenaza para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Tabla 20*Priorización de Riesgos*

Ranking	Código	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel	Clasificación
1	R2	Falta de articulación institucional	5	5	25	Alto
2	R1	Baja participación ciudadana	5	4	20	Alto
3	R3	Limitaciones presupuestales	4	5	20	Alto
4	R4	Ineficiencia operativa	4	4	16	Alto
5	R5	Incumplimiento normativo	3	5	15	Medio

Nota: Elaboración propia de los autores

El análisis evidencia que los riesgos con mayor nivel de criticidad se concentran en factores estratégicos y operativos, particularmente aquellos relacionados con la articulación institucional, la disponibilidad de recursos y la participación de los actores involucrados. Estos riesgos, al ubicarse en las zonas de alta probabilidad y alto impacto dentro de la matriz, requieren una atención prioritaria.

Por su parte, los riesgos clasificados como medios deben ser monitoreados de manera continua, con el fin de evitar su escalamiento, mientras que los de nivel bajo pueden ser gestionados mediante controles básicos sin comprometer significativamente el desarrollo del proyecto.

Para efectos del presente estudio, se seleccionaron los cinco riesgos más críticos con base en su nivel de riesgo, priorizando aquellos ubicados en la zona de mayor criticidad de la matriz de probabilidad e impacto. En los casos en que el número de riesgos con clasificación alta no fue suficiente para completar el análisis, se incluyó el riesgo con mayor valor dentro de la categoría media, garantizando así un enfoque integral en la gestión de riesgos del proyecto.

5.6.5. Estrategia de respuesta (TOP 5)

Una vez priorizados los riesgos más críticos del proyecto, se establece el plan de tratamiento, el cual tiene como propósito definir las estrategias y acciones necesarias para reducir la probabilidad de ocurrencia o mitigar el impacto de dichos riesgos.

Este plan se enfoca en los cinco riesgos con mayor nivel de criticidad, identificados a partir de la matriz de probabilidad e impacto, y contempla estrategias de gestión como evitar, mitigar, transferir o aceptar, de acuerdo con la naturaleza de cada riesgo.

Tabla 21

Estrategia de Respuesta

Código	Riesgo	Estrategia	Acción	Responsable	Indicador	Formula	Meta	Seguimiento
R1	Falta de articulación institucional	Mitigar	Establecer mesas de coordinación interinstitucional	Dirección del proyecto	Nivel de cumplimiento de coordinación interinstitucional	$(\text{N}^\circ \text{ de reuniones ejecutadas} / \text{N}^\circ \text{ de reuniones programadas}) \times 100$	> 90%	Mensual
R2	Baja participación ciudadana	Mitigar	Implementar campañas de sensibilización	Área social	Tasa de participación ciudadana en actividades del proyecto	$(\text{N}^\circ \text{ de participantes} / \text{N}^\circ \text{ de población objetivo convocada}) \times 100$	>70%	Mensual
R3	Limitaciones presupuestales	Mitigar	Gestionar fuentes de financiación adicionales	Área financiera	Nivel de ejecución presupuestal	$(\text{Recursos ejecutados} / \text{Recursos asignados}) \times 100$	95% - 100%	Trimestral
R4	Ineficiencia operativa	Mitigar	Optimizar rutas y procesos logísticos	Área operativa	Índice de eficiencia operativa en rutas	$(\text{Tiempo estándar de operación} / \text{Tiempo real de operación}) \times 100$	>85%	Mensual
R5	Incumplimiento normativo	Evitar	Verificación permanente del cumplimiento legal	Área jurídica	Índice de cumplimiento normativo	$(\text{N}^\circ \text{ de requisitos cumplidos} / \text{N}^\circ \text{ total de requisitos aplicables}) \times 100$	100%	Trimestral

Nota: Elaboración propia de los autores

Los indicadores definidos para el seguimiento del plan de tratamiento de riesgos fueron estructurados bajo criterios de medición objetiva, permitiendo evaluar de manera cuantitativa el nivel de control sobre cada riesgo. Estos indicadores incorporan variables de desempeño, cumplimiento y eficiencia, lo que facilita la toma de decisiones basada en evidencia y el monitoreo continuo del comportamiento de los riesgos a lo largo del ciclo del proyecto.

5.6.6. *Registro de Riesgo Resultante (Consolidado)*

El registro de riesgos del proyecto consolida de manera estructurada la información asociada a los riesgos identificados, evaluados, priorizados y tratados, constituyéndose en una herramienta clave para el monitoreo y control continuo. Este instrumento permite integrar los elementos de análisis, las estrategias definidas y los indicadores de seguimiento, facilitando la toma de decisiones informadas y la gestión proactiva de los riesgos a lo largo del ciclo del proyecto.

Tabla 22

Registro de Riesgo Resultante

Cód .	Riesgo	Causa	Consecuencia	P	I	Nivel	Estrategia	Acción	Responsable	Indicador	Estado
R1	Baja participación ciudadana	Baja difusión y apropiación del proyecto	Disminución del impacto social	5	4	20	Mitigar	Implementar campañas de sensibilización y jornadas participativas	Área social / Comunicaciones	(Participantes / población objetivo) $\times 100 \geq 70\%$	En seguimiento
R2	Falta de articulación institucional	Débil coordinación entre entidades	Retrasos en ejecución del proyecto	5	5	25	Mitigar	Establecer mesas interinstitucionales y acuerdos de cooperación	Dirección del proyecto	(Reuniones ejecutadas / programadas) $\times 100 \geq 90\%$	En seguimiento
R3	Limitaciones presupuestales	Insuficiencia de recursos asignados	Afectación en la ejecución del proyecto	4	5	20	Mitigar	Gestión de fuentes de financiación y optimización de recursos	Área financiera	(Recursos ejecutados / asignados) $\times 100 \geq 95\%$	En seguimiento
R4	Ineficiencia operativa en rutas	Deficiencia en planificación logística	Incremento de tiempos y costos operativos	4	4	16	Mitigar	Optimización de rutas mediante análisis técnico	Área operativa / Logística	(Tiempo estándar / tiempo real) $\times 100 \geq 85\%$	En seguimiento
R5	Incumplimiento normativo	Falta de control y actualización normativa	Sanciones legales y retrasos	3	5	15	Evitar	Implementación de controles y verificación normativa continua	Área jurídica	(Requisitos cumplidos / totales) $\times 100 = 100\%$	En seguimiento

Nota: Elaboración propia de los autores

El registro de riesgos permite evidenciar la trazabilidad completa del proceso de gestión, desde la identificación hasta la implementación de acciones de tratamiento. Como resultado se facilita el seguimiento continuo mediante indicadores cuantificables, lo que contribuye a la anticipación de eventos adversos y al fortalecimiento de la toma de decisiones dentro del proyecto.

6. Lecciones aprendidas

a) El desarrollo del presente trabajo de grado permitió identificar una serie de aprendizajes relevantes tanto a nivel metodológico como en la gestión de proyectos logísticos aplicados a contextos territoriales, los cuales pueden ser considerados como insumos clave para futuras investigaciones o procesos de implementación.

b) Se evidenció que uno de los principales desafíos del proyecto fue la limitación en el acceso a información primaria confiable, lo que obligó a depender en gran medida de fuentes secundarias y aproximaciones metodológicas.

Como aprendizaje, se reconoce que en proyectos de carácter territorial es fundamental establecer desde etapas tempranas estrategias de articulación con actores institucionales que faciliten el acceso a información validada y oportuna.

c) Uno de los hallazgos más relevantes fue la alta participación de los hogares como generadores de RCD, así como su bajo nivel de conocimiento frente a los mecanismos formales de disposición.

Esto permitió comprender que los modelos tradicionales de gestión de residuos resultan insuficientes si no incorporan estrategias de sensibilización y participación ciudadana.

d) El desarrollo del análisis de riesgos evidenció que factores como la resistencia al cambio, la informalidad y la falta de información pueden comprometer la efectividad del modelo propuesto.

Como aprendizaje, se resalta la importancia de integrar la gestión de riesgos desde las etapas iniciales del diseño, no solo como un requisito metodológico, sino como un elemento estratégico para la toma de decisiones.

e) Finalmente, se evidenció que la gestión de residuos de construcción y demolición requiere un enfoque integral que articule componentes logísticos, ambientales e institucionales.

En este sentido, la logística inversa se consolida como una herramienta clave para estructurar soluciones sostenibles, siempre que se aborde desde una perspectiva sistémica y no fragmentada.

7. Conclusiones

a) En relación con el primer objetivo específico, orientado al diagnóstico de la gestión actual de los residuos de construcción y demolición (RCD), se concluye que en la ciudad de Neiva existen deficiencias estructurales en la articulación de actores, así como una alta presencia de prácticas informales en la disposición de residuos.

Asimismo, se evidenció que los hogares constituyen una fuente significativa de generación de RCD, lo que no está completamente contemplado en los esquemas tradicionales de gestión, generando impactos ambientales y operativos relevantes.

b) Frente al segundo objetivo específico, enfocado en el diseño de un modelo de logística inversa, se estructuró una propuesta conceptual e integral orientada a fortalecer la gestión de los RCD mediante la articulación de procesos de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final, incorporando los principales actores identificados durante el diagnóstico.

La propuesta desarrollada plantea una alternativa de organización logística y articulación institucional que, desde una perspectiva teórica y operativa, podría contribuir al fortalecimiento de la eficiencia del sistema actual y a la promoción de prácticas más sostenibles en la gestión de este tipo de residuos.

c) En cumplimiento del tercer objetivo específico, se realizó una evaluación conceptual del modelo propuesto mediante herramientas de análisis de riesgos, indicadores de desempeño y revisión de escenarios operativos, con el propósito de identificar sus principales fortalezas, limitaciones y condiciones necesarias para una eventual implementación.

A partir de dicho análisis, se identificó que la viabilidad del modelo depende de factores externos como la articulación institucional, la disponibilidad y trazabilidad de la información, la asignación de recursos y el nivel de participación de los actores involucrados.

En este sentido, se concluye que la propuesta constituye una base metodológica y operativa susceptible de ser implementada y validada en estudios futuros o escenarios piloto de aplicación territorial.

d) El análisis de riesgos permitió identificar variables críticas que pueden afectar la implementación del modelo, tales como la resistencia al cambio, la informalidad del sector y la limitada cultura ambiental.

En este sentido, se concluye que la gestión de riesgos constituye un componente fundamental para garantizar la sostenibilidad del modelo en el tiempo.

En términos generales, el desarrollo del presente trabajo permitió demostrar que la aplicación de la logística inversa en la gestión de RCD en Neiva representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia operativa, reducir impactos ambientales y fortalecer la articulación entre actores.

No obstante, su éxito dependerá de la implementación de estrategias complementarias de gobernanza, sensibilización y control institucional.

7.1. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la implementación y sostenibilidad del modelo de logística inversa propuesto:

Se recomienda a las entidades municipales y autoridades ambientales promover la implementación gradual del modelo, iniciando con proyectos piloto en zonas estratégicas del sector Neiva La Nueva, con el fin de validar su funcionamiento operativo y realizar los ajustes necesarios antes de una expansión a mayor escala.

Es importante fortalecer los mecanismos de articulación institucional entre los diferentes actores involucrados en la gestión de los residuos de construcción y demolición, mediante la definición de responsabilidades claras, canales de comunicación efectivos y estrategias de coordinación que faciliten la operación del sistema.

Se sugiere implementar campañas de sensibilización dirigidas a los generadores de residuos, especialmente hogares y pequeñas constructoras, con el propósito de fomentar prácticas adecuadas de disposición, separación en la fuente y aprovechamiento de los materiales.

Desde el punto de vista operativo, se recomienda avanzar en el diseño detallado de aspectos logísticos como la definición de rutas de recolección, frecuencias de operación y localización óptima de los puntos de acopio y transferencia, lo cual permitirá mejorar la eficiencia del sistema propuesto.

En relación con el componente económico, se sugiere desarrollar estudios complementarios que permitan estimar con mayor precisión los costos operativos del modelo, así

como los beneficios económicos derivados del aprovechamiento de materiales reciclables, con el fin de fortalecer su viabilidad financiera.

Finalmente, se recomienda continuar con investigaciones futuras que profundicen en la aplicación de herramientas cuantitativas y modelos de optimización logística, así como en la evaluación del impacto ambiental del sistema, con el objetivo de mejorar continuamente la gestión de los residuos de construcción y demolición en el contexto urbano.

7.2. Limitaciones de la investigación

La presente investigación se enfocó en el diseño de un modelo de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, constituyéndose como una propuesta de carácter conceptual, metodológico y estructural. Su alcance estuvo orientado a la identificación de actores, flujos, procesos y estrategias que permitan establecer las bases para una gestión más eficiente y sostenible de los RCD. En consecuencia, no se contempló la implementación operativa ni la validación del modelo en escenarios reales, debido a que ello requiere recursos financieros, técnicos, institucionales y logísticos que superan el alcance de la presente investigación. Por tanto, los resultados obtenidos representan una ruta inicial de planificación que puede servir como referencia para futuras iniciativas de gestión integral de estos residuos en el municipio.

Adicionalmente, aunque el modelo propuesto promueve el aprovechamiento y la reincorporación de materiales bajo los principios de la economía circular, la investigación no abordó el desarrollo de los procesos industriales necesarios para la transformación de los RCD en nuevos productos o materiales reutilizables. Dichos procesos demandan infraestructura especializada, maquinaria de trituración, clasificación y procesamiento, áreas de almacenamiento, controles de calidad y estudios técnicos que permitan garantizar la viabilidad de los materiales obtenidos. Por esta razón, se considera que la principal contribución del estudio consiste en establecer un marco teórico y estructural que facilite la articulación entre entidades gubernamentales, empresas constructoras, gestores de residuos y demás actores involucrados, con el fin de promover en futuras etapas la implementación del modelo y el desarrollo de proyectos de valorización y aprovechamiento de los RCD en el municipio de Neiva.

8. Referencias

Adams, K. T., Osmani, M., Thorpe, T., & Thornback, J. (2017). Circular economy in construction: Current awareness, challenges and enablers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Waste and Resource Management*, 170(1), 15–24

Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2021a). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76–92.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.009>

Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2021b). Reverse logistics performance for sustainable development in the construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127763. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127763>

Alcaldía de Neiva. (2024). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS Neiva 2024–2028

Alzate Rodríguez, D., & Mamolejo Rebellón, L. (2022). Gestión de residuos de construcción y demolición en América Latina: Retos y oportunidades

Congreso de Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5.^a ed.). SAGE Publications

Departamento Nacional de Planeación. (2022). Gestión de residuos de construcción y demolición en Colombia

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*

European Commission. (2020). A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Govindan, K., Shaw, M., & Majumdar, A. (2022). Social sustainability tensions in multi-tier supply chain: A systematic literature review towards conceptual framework development. *Journal of Cleaner Production*, 338, 130636

Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603–626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education

Hosseini, M. R., Martek, I., Zavadskas, E. K., & Edwards, D. J. (2021). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123733

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2022). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union. *Ecological Economics*, 150, 264–272

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232

Lu, W., Yuan, H., Li, J., Hao, J. J. L., Mi, X., & Ding, Z. (2011). An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen. *Waste Management*, 31(4), 680–687

Marzouk, M., & Azab, S. (2021). Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105576

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 472 de 2017

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Política Nacional de Economía Circular

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 1257 de 2021

Navarro, A., Martínez, J., & Pérez, L. (2021). Environmental impacts of construction waste: A life cycle assessment approach

Osmani, M. (2012). Construction waste minimization in the UK: Current pressures for change and approaches. *Waste Management*, 32(2), 345–356

Ramírez, J. (2018). La logística inversa como estrategia para la gestión de residuos en el sector construcción

Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2022). Sustainable management of construction and demolition waste in developing countries. *Waste Management*, 138, 1–12

Zhang, Y., Li, H., & Tam, V. W. Y. (2023). Critical success factors for reverse logistics of construction and demolition waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106647

Zhao, X., Hwang, B. G., & Low, S. P. (2024). Circular economy strategies for construction and demolition waste management. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136825

International Institute of Business Analysis. (2015). A guide to the business analysis body of knowledge (BABOK guide) (3rd ed.). IIBA.

9. Anexos

Anexo A Encuesta aplicada a hogares del sector Neiva La Nueva

Encuesta sobre Gestión de Residuos de Construcción en Hogares

1. ¿Ha realizado remodelaciones o adecuaciones en su vivienda en los últimos 2 años?

☐ Sí

☐ No

2. Tipo de intervención realizada:

☐ Ampliación

☐ Remodelación Interna

☐ Cambio de Pisos o enchapes

☐ Demolición parcial

3. ¿Qué hizo con los escombros generados?

☐ Contrató servicio formal

☐ Contrato transportador Informal

☐ Los dejo en espacio público.

☐ No sabe

4. ¿Conoce el servicio formal de recolección de escombros del municipio?

☐ Sí

☐ No

5. ¿Considera costoso el servicio formal?

☐ Sí

☐ No

☐ No lo conoce

Encuesta sobre Gestión de Residuos de Construcción en Hogares

6. ¿Estaría dispuesto(a) a pagar por un servicio organizado y programado de recolección?

☐ Sí

☐ No

☐ Depende del costo

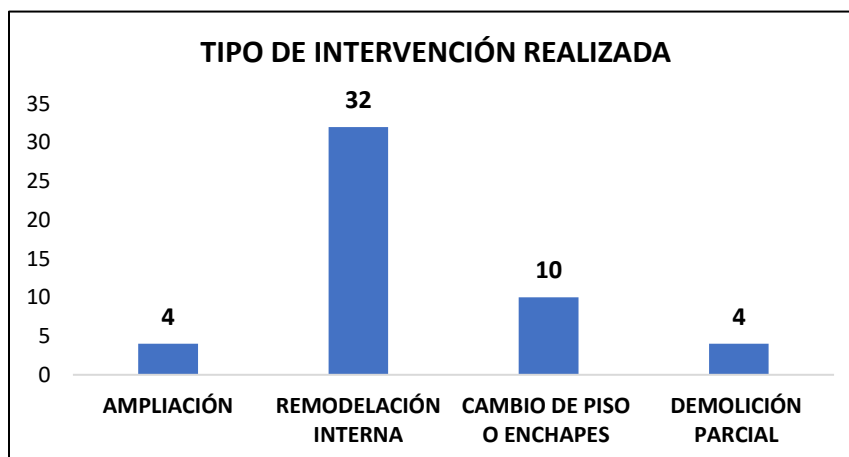
7. ¿Separaría los residuos si existiera un sistema que permitiera su aprovechamiento?

☐ Sí

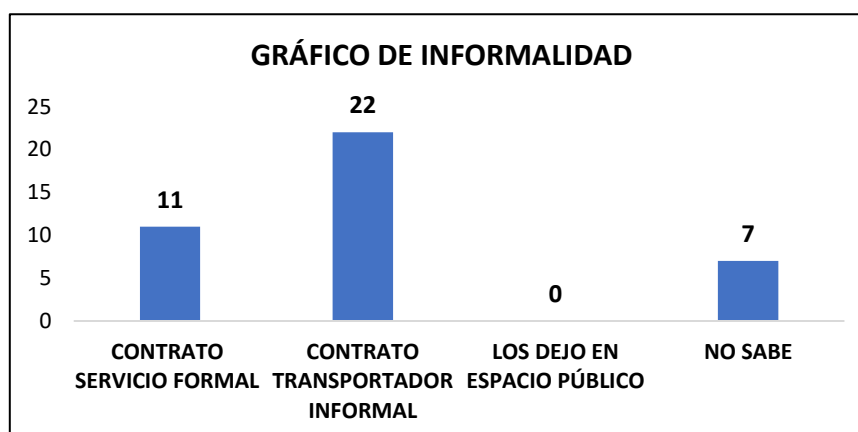
☐ No

Anexo B Resultados de la encuesta aplicada

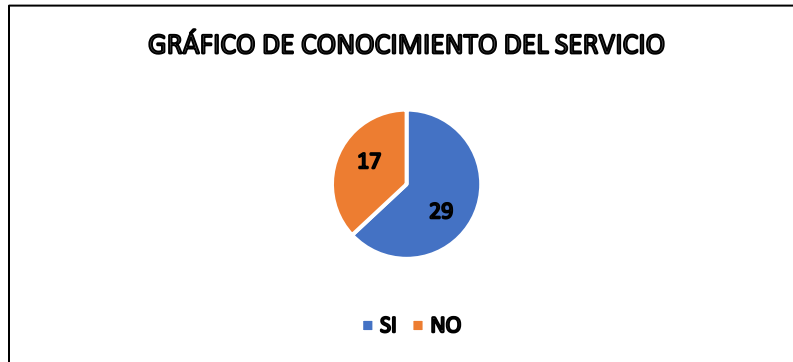
Se incluyen los gráficos y resultados estadísticos obtenidos a partir de la aplicación del instrumento.



Fuente: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026).



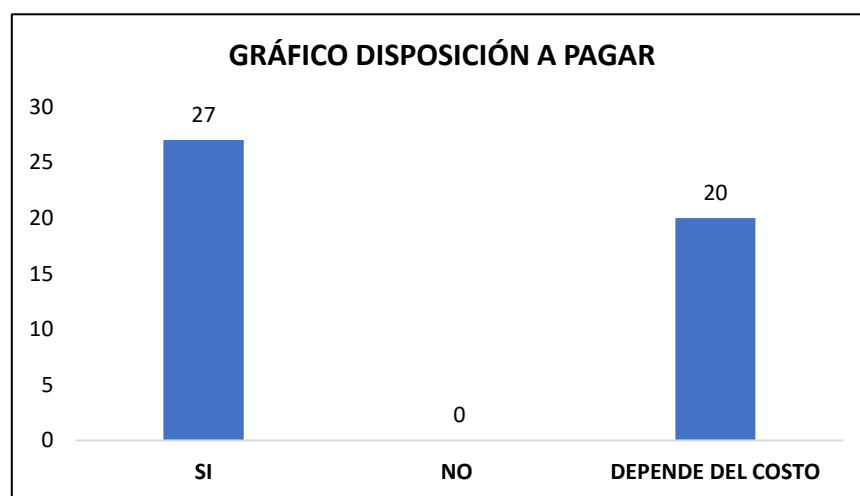
Fuente: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026).



Fuente: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026).



Fuente: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026).



Fuente: Elaboración propia con base en encuesta aplicada (2026).

Anexo C Matriz Requisitos Funcionales

Tabla 7. Matriz requisitos funcionales

Fuente: Elaboración propia de los autores

COD	Requisito Funcional	Descripción	Relación con Requisitos del Negocio
RF01	Identificar los actores del sistema de gestión de RCD.	El modelo debe definir claramente los actores involucrados en la generación, transporte y control de los residuos.	RN03
RF02	Definir flujos logísticos para recolección y transporte de RCD.	Establecer rutas y procesos para el manejo adecuado de residuos desde su origen.	RN01, RN05
RF03	Incorporar mecanismos de trazabilidad de los residuos.	Permitir seguimiento desde la generación hasta la disposición final.	RN02
RF04	Establecer lineamientos para la separación en la fuente.	Definir criterios para clasificación de residuos aprovechables.	RN04
RF05	Incluir mecanismos de control y seguimiento institucional.	Permitir monitoreo por parte de autoridades ambientales y municipales.	RN03
RF06	Proponer estrategias de aprovechamiento y valorización de materiales reciclables.	Integrar principios de economía circular en el modelo.	RN04
RF07	Establecer incentivos para formalización del transporte de escombros.	Promover la participación de transportadores formales.	RN01

RF08	Incorporar indicadores de desempeño logístico y ambiental.	Medir eficiencia y sostenibilidad del modelo.	RN06
RF09	Establecer protocolos de coordinación interinstitucional.	Facilitar cooperación entre entidades públicas y privadas.	RN03
RF10	Evaluar el impacto ambiental y territorial del modelo propuesto.	Analizar efectos positivos del modelo en el entorno urbano.	RN06
RF11	Definir puntos de acopio y transferencia	Establecer ubicaciones estratégicas para la recepción, almacenamiento temporal y consolidación de residuos de construcción y demolición, facilitando su posterior transporte, aprovechamiento o disposición final.	RN01 RN05
RF12	Establecer frecuencias de recolección	Definir la periodicidad del servicio de recolección de residuos de construcción y demolición para hogares y generadores, con el fin de garantizar continuidad operativa y reducir la acumulación y disposición informal.	RN01
RF13	Diseñar rutas logísticas	Diseñar rutas eficientes de recolección y transporte de residuos de construcción y demolición, optimizando tiempos, costos operativos y permitiendo la trazabilidad desde el punto de generación hasta su destino final.	RN01 RN02

Anexo D Matriz Requisitos No Funcionales

Tabla 8. Matriz Requisitos No Funcionales

Fuente: Elaboración propia de los autores

COD	Requisito No Funcional	Descripción	Relación con Requisitos del Negocio
RNF01	Viabilidad técnica	El modelo debe poder implementarse con la infraestructura existente en el municipio.	RN05
RNF02	Viabilidad económica	El modelo debe ser sostenible económicamente en el tiempo.	RN06
RNF03	Viabilidad institucional	El modelo debe alinearse con las competencias de las autoridades ambientales y municipales.	RN03
RNF04	Cumplimiento normativo	El modelo debe cumplir con las resoluciones nacionales sobre gestión de RCD y el PGIRS.	RN02
RNF05	Sostenibilidad ambiental	El modelo debe contribuir a la reducción de impactos ambientales.	RN01, RN06
RNF06	Escalabilidad	El modelo debe poder replicarse en otros sectores de la ciudad.	RN05
RNF07	Aceptación social	El modelo debe ser aceptado por la comunidad y actores involucrados.	RN06
RNF08	Flexibilidad	El modelo debe permitir adaptaciones según cambios institucionales o territoriales.	RN06

Anexo E Matriz de Trazabilidad de Requisitos

Tabla 9. Matriz de trazabilidad de requisitos

Fuente: Elaboración propia de los autores

COD	Tipo	Requisito	Interesado / Fuente	Prioridad	Relación con Objetivos	Entregable	WBS / EDT	Verificación
RN01	Requisito del Negocio	Reducir la disposición informal de residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6.	Alcaldía de Neiva / CAM	Alta	Objetivo general: Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector	Modelo logístico propuesto	3 diseño del modelo	Validación del modelo

RN02	Requisito del Negocio	Incrementar la trazabilidad de los residuos generados por hogares y constructoras.	Autoridad ambiental	Alta	Objetivo específico 1: Caracterizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, identificando actores, flujos logísticos y prácticas de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final. Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Sistema conceptual de trazabilidad	3 diseño del modelo	Revisión técnica
-------------	-----------------------	--	---------------------	------	--	------------------------------------	---------------------	------------------

RN03	Requisito del Negocio	Mejorar la articulación institucional entre generadores, transportadores y autoridades ambientales.	Secretaría de Medio Ambiente	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Propuesta de articulación institucional	3 diseño del modelo	Validación institucional
RN04	Requisito del Negocio	Promover el aprovechamiento y valorización de materiales reciclables provenientes de RCD.	Empresas constructoras	Media	Objetivo específico 2: Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los residuos generados en el área de estudio bajo principios de logística inversa y economía circular.	Estrategia de valorización de residuos	3 diseño del modelo	Evaluación ambiental
RN05	Requisito del Negocio	Reducir los impactos ambientales asociados a escombreras ilegales.	Comunidad / Alcaldía	Alta	Objetivo general: Diseñar un modelo integral de logística inversa para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) generados por empresas constructoras	Modelo de gestión ambiental RCD	2 diagnóstico	Validación del diagnóstico

					y hogares en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6 del municipio de Neiva, orientado a reducir la disposición informal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y territorial del sector.			
RF01	Requisito Funcional	El modelo debe identificar claramente los actores involucrados en la gestión de RCD.	Investigadores	Alta	Objetivo específico 1: Caracterizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en el sector Neiva La Nueva y la Comuna 6, identificando actores, flujos logísticos y prácticas de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final.	Caracterización de actores	2 diagnóstico	Revisión documental

RF02	Requisito Funcional	El modelo debe establecer flujos logísticos para la recolección, transporte y disposición final de RCD.	Alcaldía	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Red logística propuesta	3 diseño del modelo	Evaluación del modelo
RF03	Requisito Funcional	El modelo debe incorporar mecanismos de trazabilidad desde la generación hasta la disposición final.	CAM	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Sistema de trazabilidad	3 diseño del modelo	Revisión técnica

RF04	Requisito Funcional	El modelo debe incluir lineamientos para la separación en la fuente y clasificación de residuos.	Empresas constructoras	Media	Objetivo específico 2: Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los residuos generados en el área de estudio bajo principios de logística inversa y economía circular.	Propuesta de clasificación	3 diseño del modelo	Validación del modelo
RF05	Requisito Funcional	El modelo debe definir mecanismos de control y seguimiento institucional.	Autoridades municipales	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Estrategia de control	3 diseño del modelo	Evaluación institucional
RF06	Requisito Funcional	El modelo debe proponer esquemas de aprovechamiento de materiales reciclables.	Sector construcción	Media	Objetivo específico 2: Analizar el potencial de aprovechamiento y valorización de los residuos generados en el área de estudio bajo principios de logística inversa y economía circular.	Estrategia de valorización	3 diseño del modelo	Evaluación ambiental

RNF01	Requisito No Funcional	El modelo debe ser técnicamente viable con la infraestructura disponible en el municipio.	Autoridades locales	Alta	Evaluación del modelo	Informe de viabilidad	4 evaluación	Revisión técnica
RNF02	Requisito No Funcional	El modelo debe ser económicamente sostenible en el mediano plazo.	Alcaldía / sector privado	Alta	Evaluación de viabilidad	Análisis de sostenibilidad	4 evaluación	Validación financiera
RNF03	Requisito No Funcional	El modelo debe cumplir con la normativa nacional sobre gestión de RCD.	CAM	Alta	Alineación normativa	Revisión normativa	4 evaluación	Validación normativa

RNF04	Requisito No Funcional	El modelo debe permitir replicabilidad en otros sectores de la ciudad.	Academia	Media	Escalabilidad del proyecto	Documento final	5 entrega final	Evaluación académica
RF11	Requisito Funcional	Definir puntos de acopio y transferencia	Alcaldía / Operadores	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Red logística propuesta	3 diseño del modelo	Evaluación técnica
RF12	Requisito Funcional	Establecer frecuencias de recolección	Operadores / Comunidad	Media	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Plan de operación logística	3 diseño del modelo	Validación operativa

RF13	Requisito Funcional	Diseñar rutas logísticas de recolección	Transportadores	Alta	Objetivo específico 3: Diseñar un modelo integral de logística inversa que articule actores, flujos logísticos y mecanismos de control para optimizar la gestión de los RCD.	Diseño de rutas	3 diseño del modelo	Evaluación del modelo
-------------	---------------------	---	-----------------	------	--	-----------------	---------------------	-----------------------

Anexo F Diccionario EDT

Tabla 11. Diccionario de la EDT

Fuente Elaboración propia de los autores

Código	Entregables / fases	Descripción
1	Gestión del Proyecto	Incluye la planificación, organización, seguimiento y control del proyecto, orientados a garantizar el cumplimiento de los objetivos, tiempos y entregables definidos. Comprende la estructuración del plan de trabajo, la gestión de recursos, el monitoreo del avance y la consolidación de los resultados del proyecto, asegurando la coherencia metodológica y el cumplimiento de los lineamientos establecidos.
2	Diagnóstico del Sistema Actual de RCD	Comprende el levantamiento, recopilación y análisis de información primaria y secundaria relacionada con la gestión actual de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el área de estudio. Incluye la revisión documental y normativa, la aplicación de instrumentos de recolección de información como encuestas y entrevistas, así como la caracterización territorial, con el fin de identificar problemáticas, actores involucrados y condiciones existentes que fundamenten el diseño del modelo.
3	Diseño del Modelo Integral de Logística Inversa	Incluye la formulación y estructuración del modelo de logística inversa para la gestión de RCD, considerando la definición de la red logística de retorno, la identificación y articulación de actores, el establecimiento de mecanismos de trazabilidad y la construcción de indicadores de desempeño. Esta fase se fundamenta en los resultados del diagnóstico y busca proponer una solución técnica, funcional y adaptada al contexto territorial.

4	Evaluación de Viabilidad del Modelo	Corresponde al análisis de factibilidad del modelo propuesto desde las dimensiones ambiental, logística e institucional, con el fin de determinar su pertinencia, sostenibilidad y aplicabilidad en el contexto de estudio. Incluye la valoración de impactos, capacidades operativas y condiciones normativas que pueden influir en la implementación del modelo.
5	Formulación y Presentación Final del Proyecto	Comprende la integración y consolidación de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, incluyendo la estructuración final del modelo de logística inversa y su validación conceptual. Se enfoca en la presentación técnica de la propuesta, asegurando coherencia, claridad y soporte metodológico en la formulación del modelo.

Anexo G Listado de actividades por paquetes de trabajo

Tabla 12: Plan de trabajo del proyecto

Fuente: Elaboración propia de los autores

CODIGO	FASES/PAQUETES EDT	ACTIVIDADES
1	GESTION DEL PROYECTO	
1.1	Plan de trabajo del proyecto	- Definir alcance del proyecto - Identificar entregables principales - Elaborar EDT (estructura de desglose del trabajo) - Definir cronograma preliminar - Asignar recursos (humanos y técnicos) - Estimar presupuesto del proyecto - Elaborar plan de gestión de riesgos - Validar plan con interesados
1.2	Informes de seguimiento y control	- Definir indicadores de seguimiento - Recolectar información de avance - Realizar reuniones de seguimiento - Elaborar informes periódicos - Identificar desviaciones del plan - Proponer acciones correctivas - Actualizar cronograma y costos
2	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL	
2.1	Informe de revisión documental	- Identificar fuentes de información (normativa, estudios, etc.) - Recopilar documentos relevantes - Analizar normativa vigente sobre RCD - Revisar estudios previos del sector - Sistematizar información recolectada - Redactar informe de revisión

CODIGO	FASES/PAQUETES EDT	ACTIVIDADES
2.2	Base de datos de encuestas aplicadas	• Diseñar instrumento de encuesta • Validar encuesta piloto • Aplicar encuestas a actores del sector • Tabular resultados • Depurar base de datos • Consolidar base final
2.3	Registro de entrevistas a actores clave	• Identificar actores clave (constructoras, recicladores, etc.) • Diseñar guía de entrevista • Agendar entrevistas • Realizar entrevistas • Transcribir información • Sistematizar resultados
2.4	Informe de caracterización territorial del manejo de RCD	• Identificar zonas de generación de RCD • Analizar rutas de disposición actuales • Evaluar puntos críticos (botaderos ilegales) • Levantar información geográfica • Analizar capacidad de infraestructura existente • Elaborar informe técnico
2.5	Informe de diagnóstico del sistema actual	• Integrar resultados de encuestas y entrevistas • Analizar brechas del sistema actual • Identificar problemas principales • Evaluar eficiencia del sistema actual • Elaborar conclusiones • Redactar informe final
CODIGO	FASES/PAQUETES EDT	ACTIVIDADES

3 DISEÑO DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA		
3.1	Propuesta de estructura de red logística	• Definir nodos de recolección • Identificar centros de acopio • Diseñar rutas de transporte • Evaluar alternativas de localización • Modelar flujo de materiales • Validar propuesta preliminar
3.2	Matriz de actores y roles del sistema	• Identificar actores del sistema • Definir responsabilidades de cada actor • Analizar relaciones entre actores • Construir matriz poder/interés • Validar roles con actores clave
3.3	Propuesta de mecanismos de trazabilidad de RCD	• Definir variables de control (origen, volumen, destino) • Diseñar sistema de registro • Proponer herramientas tecnológicas (apps, formatos) • Establecer procedimientos de seguimiento • Validar viabilidad del sistema
3.4	Propuesta de indicadores de desempeño del sistema	• Definir indicadores logísticos (tiempos, costos) • Definir indicadores ambientales • Establecer métricas de eficiencia • Definir frecuencia de medición
CODIGO	FASES/PAQUETES EDT	ACTIVIDADES
4	EVALUACIÓN DE VIABILIDAD	

4.1	Informe de evaluación ambiental	• Identificar impactos ambientales • Analizar reducción de residuos • Evaluar beneficios ambientales • Elaborar informe
4.2	Informe de evaluación logística	• Analizar costos operativos • Evaluar eficiencia de rutas • Simular funcionamiento del sistema • Identificar cuellos de botella • Elaborar informe
4.3	Informe de evaluación institucional	• Analizar marco normativo • Evaluar capacidad institucional • Identificar barreras legales • Proponer ajustes normativos • Elaborar informe
5	FORMULACIÓN FINAL	
5.1	Integración de componentes del modelo	• Consolidar resultados técnicos • Integrar diseño logístico • Integrar componentes ambientales y económicos • Ajustar modelo final
5.2	Validación conceptual del modelo	• Presentar modelo a los interesados • Recoger observaciones • Ajustar propuesta según retroalimentación • Validar consistencia técnica
5.3	Presentación del modelo final de logística inversa	• Elaborar documento final • Diseñar presentación ejecutiva • Preparar sustentación • Socializar resultados • Entregar informe final