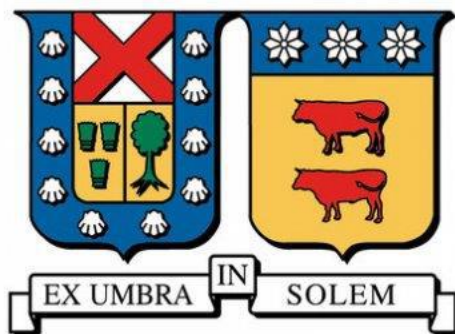




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA COMERCIAL

**GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: PROPUESTA
DE UN PLAN DE MEJORA PARA LA CONSTRUCTORA DUFFCO**

Memoria presentada por

IGNACIO ANDRÉS PAREDES BARAHONA

Como requisito para optar al título de

INGENIERO COMERCIAL

PROFESOR GUÍA

LUIS G. ACOSTA ESPEJO

Junio de 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: **GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORA PARA LA CONSTRUCTORA DUFFCO**

Nombre del candidato(a): **Ignacio Andrés Paredes Barahona**

Carrera / Grado: **Ingeniería Comercial**

Campus: Vitacura Departamento: Departamento de Ingeniería Comercial

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Luis G. Acosta Espejo, en mi calidad de profesor guía del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12/06/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 11-06-2026 Firma:

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta memoria no habría sido posible sin el apoyo, orientación y colaboración de diversas personas, a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

Agradezco especialmente al profesor Luis G. Acosta Espejo por su guía, disposición y valiosos comentarios durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradezco a la empresa DUFFCO por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo.

A mi familia, especialmente a mis padres, por su amor, confianza y apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación. Este logro también es fruto de su esfuerzo y acompañamiento constante.

A mis hermanos, Patricio y Nicolás, por estar siempre presentes en mi vida. A Patricio, por su compañía y apoyo incondicional en cada etapa; y a Nicolás, por motivarme constantemente a perseverar, crecer como persona y no renunciar a mis metas. A mi Monito, por su amor, compañía y apoyo incondicional durante este proceso. A mis tíos, primos y a toda mi familia, por el cariño y respaldo que siempre me han brindado. A mi abuelita, quien durante años me preguntó con ilusión cuándo terminaría esta etapa. Hoy puedo decirle que lo logré. Este logro también es suyo.

Y a mi abuelito, cuya ausencia se siente cada día, pero cuya presencia permanece en mis recuerdos y enseñanzas. Espero que, dondequiera que esté, se sienta orgulloso de este logro. Con todo mi amor y gratitud, este también es para usted.

RESUMEN EJECUTIVO

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) constituye un desafío relevante para las empresas constructoras, debido a sus implicancias ambientales, operativas y económicas, particularmente en obras públicas de infraestructura vial y de borde costero. En este tipo de proyectos, la generación de residuos es constante y heterogénea, y se desarrolla bajo restricciones logísticas, espaciales y normativas que dificultan su manejo eficiente. En el caso de la empresa DUFFCO, si bien existe cumplimiento formal de las exigencias regulatorias, la gestión de RCD se aborda de manera fragmentada, con escasa estandarización operativa y bajo uso de información para la toma de decisiones, lo que impacta negativamente en la eficiencia, la trazabilidad y las oportunidades de valorización.

Frente a este contexto, la presente memoria tiene como objetivo desarrollar una propuesta de Plan de Gestión de RCD aplicable a DUFFCO, orientada a ordenar, estandarizar y fortalecer la gestión interna de estos residuos desde una perspectiva de Ingeniería Comercial. El estudio se desarrolla como un caso aplicado, basado en un diagnóstico construido a partir de entrevistas semiestructuradas a personal operativo y profesional, observación directa en obra y revisión documental. Los resultados evidencian brechas estructurales en seis dimensiones clave: segregación en origen, acopios y logística interna, documentación y trazabilidad, gobernanza y definición de roles, cultura organizacional y capacitación, y relación con gestores autorizados. Estas brechas se manifiestan de forma transversal entre obras y roles, afectando la consistencia del sistema de gestión.

A partir del diagnóstico, se analizan distintas alternativas de mejora, concluyéndose que la principal solución viable y efectiva corresponde al diseño de un Plan de Gestión de RCD estructurado, simple y operativo, alineado con la NCh 3562:2019, el Anexo ETG-45 del Ministerio de Obras Públicas y buenas prácticas nacionales e internacionales. La propuesta se construye directamente sobre las debilidades detectadas y se articula en torno a procedimientos estandarizados por fracción de residuo, layouts de acopio y señalética base, un sistema de trazabilidad documental consolidado, una estructura de gobernanza definida mediante una matriz RACI, un programa de capacitación progresiva y un conjunto acotado de indicadores clave de desempeño.

La validación de la propuesta se sustenta en información cualitativa levantada en terreno y en un esquema de KPIs orientados a la gestión operativa y al control del desempeño, tales como nivel de segregación efectiva por fracción, porcentaje de residuos valorizados, costo de gestión por tonelada, frecuencia de retiro, y grado de completitud de la documentación asociada. Estos indicadores permiten avanzar hacia una gestión basada en evidencia, comparable entre obras y orientada a la mejora continua, sin generar sobrecarga operativa. En síntesis, la memoria demuestra que la gestión de RCD en DUFFCO puede transformarse desde un requisito principalmente administrativo en una herramienta de apoyo a la eficiencia operativa, la trazabilidad y el cumplimiento normativo, entregando una base concreta para su aplicación futura y eventual estandarización corporativa.

ABSTRACT

Construction and Demolition Waste (CDW) management represents a significant challenge for construction companies due to its environmental, operational, and economic implications, particularly in public road and coastal infrastructure projects. In these types of projects, waste generation is continuous and heterogeneous, occurring under logistical, spatial, and regulatory constraints that hinder efficient management. In the case of DUFFCO, although regulatory requirements are formally met, CDW management is carried out in a fragmented manner, with limited operational standardization and insufficient use of information for decision-making, negatively affecting efficiency, traceability, and waste valorization opportunities.

This thesis aims to develop a Construction and Demolition Waste Management Plan for DUFFCO, designed to organize, standardize, and strengthen internal waste management practices from a business and management perspective. The study was conducted as an applied case study based on a diagnosis developed through semi-structured interviews with operational and professional staff, on-site observations, and document reviews. The findings revealed structural gaps in six key dimensions: source segregation, storage and internal logistics, documentation and traceability, governance and role definition, organizational culture and training, and relationships with authorized waste management providers.

Based on the diagnosis, several improvement alternatives were analyzed. The most feasible and effective solution was identified as the implementation of a structured, practical, and operational CDW Management Plan aligned with Chilean Standard NCh 3562:2019, the ETG-45 Annex of

the Ministry of Public Works, and national and international best practices. The proposed plan includes standardized procedures for each waste stream, storage layouts and signage, a consolidated document traceability system, a governance structure supported by a RACI matrix, a progressive training program, and a set of key performance indicators (KPIs).

The proposal is validated through qualitative evidence collected in the field and a KPI framework focused on operational management and performance monitoring, including effective segregation rates, waste valorization percentages, management cost per ton, collection frequency, and documentation completeness. These indicators support evidence-based management, facilitate comparisons across projects, and promote continuous improvement without creating excessive administrative burden. Overall, the study demonstrates that CDW management at DUFFCO can evolve from a primarily administrative requirement into a strategic tool that enhances operational efficiency, traceability, and regulatory compliance, providing a solid foundation for future implementation and corporate standardization.

Índice de contenido

RESUMEN EJECUTIVO.....	4
CÁPITULO 1	12
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Contexto y problema.....	13
1.1.1. Contextualización para el caso DUFFCO	13
1.1.2 Problema.....	16
1.2. Objetivo general y objetivos específicos	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
CÁPITULO 2	19
2. METODOLOGÍA.....	19
2.1. Diseño metodológico	19
2.1.1. Instrumentos utilizados	21
2.2. Alcance de la investigación.....	22
2.3. Limitaciones del estudio	23
2.4. Unidad de análisis y caso de estudio	24
2.5. Criterios de la investigación	24
CÁPITULO 3	26
3. CONCEPTUAL Y REGULATORIO.....	26
3.1. Propósito y alcance	26
3.1.1. Enfoque en obras viales y de borde costero	26

3.1.2. Relación con los objetivos del estudio	27
3.1.3. Criterios de inclusión normativa	28
3.2. Principios y enfoques de la gestión de RCD	29
3.2.1. Jerarquía de gestión (prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización y eliminación)	29
3.2.2. Economía circular en construcción y diseño para la valorización	30
3.2.3. Segregación en origen y control de la contaminación cruzada	31
3.2.4. Trazabilidad y principio de evidencia	33
3.3. Marco legal general aplicable en Chile	34
3.3.1. Ley N. ° 20.920 (Ley REP)	34
3.3.2. Ley 19.300 y Reglamento del SEIA (DS N.° 40/2012): pertinencia para obras viales y costeras	35
CÁPITULO 4	37
4. DIAGNÓSTICO DUFFCO	37
4.1. Propósito del diagnóstico	37
4.1.1. Caracterización del tipo de obras ejecutadas por DUFFCO	37
4.2. Metodología del diagnóstico	39
4.3. Resultados del diagnóstico	39
4.3.1. Segregación en origen	39
4.3.2. Acopios y logística interna	41
4.3.3. Documentación y trazabilidad	42
4.3.4. Gobernanza y roles	43
4.3.5. Cultura y capacitación	44
4.3.6. Relación con gestores autorizados	45
4.4. Síntesis del diagnóstico	46
4.4.1. Tabla de síntesis y priorización de brechas	48

CÁPITULO 5.....	50
5. PROPUESTA DE PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA DUFFCO.....	50
5.1. Introducción al plan	50
5.2. Principios del plan	51
5.3. Diseño del Plan de Gestión de RCD	52
5.3.1. Procedimientos por fracción	53
5.3.2. Layouts de acopio y señalética estandarizada	54
5.3.3. Sistema de trazabilidad documental.....	54
5.3.4 Gobernanza Interna y matriz RACI	55
5.3.5. Programa de capacitación y cultura organizacional.....	57
5.3.6. Indicadores de desempeño (KPIs)	57
5.3.7. Requisitos técnicos y documentales para gestores autorizados	62
5.4. Propuesta de piloto para validación del Plan	62
5.5. Estimación del costo del Plan piloto.....	64
5.5.1 Propósito y alcance	64
5.5.2 Supuestos del piloto	64
5.5.3 Desglose de costos del piloto.....	65
a) Costos de habilitación en terreno	66
c) Costos de capacitación e inducción	66
d) Costos de gestión documental y trazabilidad	67
e) Costos de seguimiento y auditoría interna	67
5.6. Beneficios esperados de la implementación del Plan	69
CÁPITULO 6.....	73
6.CONCLUSIONES.....	73

6.1. Cumplimiento de los objetivos específicos	73
6.1.1. Caracterizar el contexto operativo de DUFFCO.....	73
6.1.2. Analizar el marco conceptual y normativo aplicable.....	74
6.1.3. Diagnosticar la gestión actual de RCD en DUFFCO.....	74
6.1.4. Diseñar una propuesta de Plan de Gestión de RCD.....	74
6.2. Cumplimiento del objetivo general	75
6.3. Respuesta a la problemática planteada	75
6.4. Conclusión integradora	76
Bibliografía	78

CÁPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) se ha convertido en un eje importante del sector, debido a su impacto ambiental y por sus efectos directos sobre costos, productividad y reputación del gremio. En faenas con múltiples frentes y subcontratos, se genera una variedad de materiales, tales como áridos, hormigón, madera, metales, cartón, plástico y cerámicos. Esta diversidad obliga a una organización operativa precisa para que se eviten reprocesos, traslados innecesarios y sobre costos de disposición. De igual manera, la presión regulatoria y las expectativas de comunidades piden trazabilidad y resultados verificables, en conformidad con los principios de economía circular.

Desde una perspectiva de gestión de operaciones, los RCD no constituyen solo un requisito ambiental, sino un factor que incide en costos, continuidad operativa, productividad y control de riesgos. Una dirección profesional permite convertir buenas prácticas en procedimientos sencillos y medibles, con roles claros y registros útiles para decidir. Cuando se establecen criterios de separación en el principio, uso eficiente de los acopios, coordinación con gestores autorizados y soportes documentales, surgen eficiencias, las cuales se reflejan en menor disposición final.

Para la empresa DUFFCO, mejorar un plan de RCD implica ordenar procesos y responsabilidades, disponer de información confiable para decidir y orientar mejoras graduales sostenibles en el tiempo. El objetivo es contar con lineamientos aplicables en obra que reduzcan

pérdidas, mitiguen riesgos y capitalicen oportunidades de valorización, al tiempo que fortalecen la cultura interna y la rendición de cuentas basada en indicadores. De este modo, la empresa puede transformar la gestión de residuos en un habilitador del desempeño operativo y del cumplimiento normativo, en lugar de asumirla como un costo inevitable.

1.1. Contexto y problema

1.1.1. Contextualización para el caso DUFFCO

La actividad de infraestructura vial y de bordes costeros genera flujos de residuos de construcción y demolición (RCD) con alta variabilidad materiales tales como el hormigón, asfalto fresado, metales, maderas de encofrado, embalajes, suelos. En este tipo de obras la segregación en origen y la logística de acopio/retiro compiten con lapsos operativos cortos, lo que exige estándares simples y rutinas visuales, así como una trazabilidad documental para demostrar el cumplimiento y negociar con gestores (Aldana & Serpell, 2012; Menegaki & Damigos, 2018).

En Chile, la NCh 3562:2019 reconoce contenidos mínimos de un plan de gestión de RCD (clasificación, segregación, layouts, control documental) y fue oficializada por el Decreto Exento N.º 37 del MINVU, la cual da un marco operativo adoptable por empresas que buscan establecer roles, evidencias y metas (BCN, 2019). En obra pública, anexos y guías del MOP exigen planes y registros para almacenamiento temporal, tratamiento y disposición, reforzando el uso de formatos, manifiestos y certificaciones de gestores (MOP, 2025).

A nivel de capacidades de valorización, se han consolidado actores como Revaloriza (Región de Valparaíso) y Río Claro (Región Metropolitana), los cuales procesan el hormigón endurecido

y residuos para producir áridos reciclados/áridos artificiales usados en capas granulares y otras aplicaciones, estas prácticas muestran que cuando las empresas segregan con baja contaminación y coordinan logística con especificaciones mínimas por fracción, la valorización se vuelve técnica y económicamente factible (Construye2025, 2022; 2024).

En la revisión internacional, las empresas europeas operan bajo objetivos fuertes de recuperación de RCD (Directiva Marco de Residuos; protocolo europeo de RCD actualizado en 2024), con un énfasis en auditorías pre-demolición y demolición selectiva para maximizar reuso y reciclaje de alta calidad (Wahlström, 2019; European Commission, 2024). Estas prácticas estandarizan la identificación de materiales reutilizables y elevan la calidad de fracciones reciclables, habilitando mercados de secundarios (Gálvez-Martos et al., 2018).

Las tasas de recuperación reportadas para la UE incluyendo reciclaje y otras formas de recuperación como backfilling logran alcanzar valores altos en promedio, pero la literatura subraya que el reto es migrar de downcycling a reciclaje de mayor calidad como, por ejemplo, árido reciclado para nuevo hormigón mediante diseño para desmontaje, pre-auditorías y requisitos de calidad (Papamichael et al., 2023; Zhang et al., 2020).

En Asia, revisiones para China y otras economías muestran que barreras como bajo costo de disposición, déficit de estándares de diseño para reducir residuos, e inmadurez del mercado para materiales recuperados limitan la valorización, por lo que las empresas que avanzan combinan 3R que es reducir-reutilizar-reciclar con cuidado eficiente y plataformas de trazabilidad (Huang et al., 2018; Kabirifar et al., 2020).

Otros estudios demuestran estrategias empresariales replicables como lo son:

- ✓ segregación en origen con colorimetría y señalética coherente
- ✓ auditorías pre-demolición y demolición selectiva para priorizar reúso
- ✓ procura “waste-efficient” (formatos de empaques, unidades de pedido, prefabricación, logística “justo a tiempo”)
- ✓ contratos con metas y bonos / penalidades por calidad de segregación
- ✓ digitalización liviana de registros y tableros comparables por obra (Ajayi & Oyedele, 2018; Turkeyilmaz et al., 2019; Ann et al., 2021).

Para el segmento vial, existen evidencias técnicas de uso de áridos reciclados como el hormigón triturado y escorias en bases y sub-bases cuando se cumplen especificaciones de granulometría y límites de impurezas; esto requiere segregación de alta calidad y ensayos que aseguren desempeño mecánico (Construye2025, 2024; Zhang et al., 2020).

En resumen, la experiencia comparada entre Chile y el mundo muestra que las empresas con mejor desempeño combinan: normas internas simples (segregación, layouts, señalética), trazabilidad (manifiestos, certificados, fotos), contratos con metas de desvío y alianzas con valorizadores; y, en entornos regulados (UE), incorporan preauditorías y demolición selectiva como paso previo no negociable. Todo ello se apoya en KPIs mínimos (t/obra por fracción, % valorización, costo por t, frecuencia de retiro, % documentación al día) que permiten comparar obras y sostener mejoras.

En este marco comparado, la realidad de DUFFCO se inserta en un escenario intermedio, donde existen referencias normativas claras y experiencias técnicas consolidadas tanto a nivel nacional como internacional, pero cuya aplicación efectiva en obra depende de la existencia de estándares internos simples y trazables. Si bien el portafolio de la empresa presenta una predominancia de

obras viales, la inclusión de obras de borde costero dentro del alcance del estudio resulta pertinente, ya que estas comparten flujos relevantes de residuos de construcción y demolición (hormigón, áridos, enrocados, maderas y embalajes) bajo condiciones logísticas y ambientales más exigentes. Considerar ambos tipos de obra permite que la propuesta de plan de gestión de RCD se diseñe con criterios operativos suficientemente robustos y transferibles, asegurando su aplicabilidad en escenarios de mayor complejidad sin perder coherencia con la realidad predominante de ejecución de DUFFCO.

1.1.2 Problema

La empresa presenta brechas simultáneas de proceso, información y gobernanza, segregación en origen irregular, acopios mixtos que degradan la calidad de fracciones valorizables (áridos, metales, maderas), registros no comparables (toneladas/m³ por fracción, frecuencias, costos por t, manifiestos) y listas difusas entre cuadrillas, supervisión y subcontratos. Esta combinación se convierte en costos sin trazabilidad lo que pueden generar retrabajos, tiempos muertos, transporte innecesario, baja captura de valorización y exposición a riesgo regulatorio por trazabilidad incompleta. En palabras operativas y económicos, la ausencia de medición por fracción y de rutinas estandarizadas limita la toma de decisiones y perpetúa ineficiencias entre obras.

Superar el problema requiere un plan agrupado de gestión de RCD adaptado a obras viales y de borde costero, la cual integre segregación por fracción, trazabilidad como formatos mínimos, manifiestos y certificaciones, contratos con metas y esquemas de incentivos por calidad de segregación y un tablero simple de KPIs para comparar obras (t/obra por fracción, % de

valorización, costo por t, frecuencia de retiro y porcentaje de documentación al día). Esto debe complementarse con pre-auditorías y demolición selectiva cuando corresponda.

En síntesis, la situación descrita evidencia que la problemática central de DUFFCO en materia de gestión de RCD no se explica por la ausencia de exigencias normativas ni por la inexistencia de gestores autorizados, sino por brechas estructurales en la forma en que los residuos son gestionados a nivel operativo, documental y organizacional. En particular, se identifican deficiencias en la estandarización de la segregación en origen, en la planificación de acopios y logística interna, en la trazabilidad de la información generada y en la asignación clara de roles y responsabilidades asociadas al proceso completo de gestión de residuos.

Estas brechas no solo afectan la eficiencia operativa y la valorización de los residuos, sino que limitan la capacidad de la empresa para contar con información verificable que sustente el cumplimiento normativo y la mejora continua. En consecuencia, el abordaje del problema requiere un enfoque aplicado que permita caracterizar la gestión real de los RCD en obra, identificar de manera sistemática las brechas existentes y, a partir de ello, diseñar un Plan de Gestión de RCD estructurado, coherente y operativo, cuyos componentes respondan directamente a las debilidades detectadas y sean compatibles con las condiciones reales de ejecución de obras viales y de borde costero.

A partir de lo anterior, surge la siguiente pregunta orientadora del estudio: ¿cómo estructurar un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición que permita a DUFFCO estandarizar la segregación en origen, asegurar trazabilidad verificable y mejorar la eficiencia operativa en obras viales y de borde costero, bajo las condiciones reales de ejecución y las exigencias normativas vigentes?

1.2. Objetivo general y objetivos específicos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de plan de gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD) para la empresa DUFFCO, que permita optimizar el manejo de estos materiales y contribuir al cumplimiento de la normativa vigente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el contexto operativo de DUFFCO (tipos de obra vial y de borde costero, etapas y puntos de generación de RCD) para identificar prácticas actuales, actores involucrados y oportunidades de mejora.
- Adaptar el marco conceptual y normativo a la gestión de RCD y derivar criterios operativos para su implementación en obras.
- Diseñar el plan de gestión de RCD, definiendo procesos de prevención, segregación por fracción, acopios, logística y valorización, roles y responsabilidades, y los formatos de trazabilidad.
- Definir un conjunto de indicadores clave y un mecanismo de seguimiento por etapas para la mejora continua.

CÁPITULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño metodológico

La investigación se diseña como estudio de caso aplicado con un enfoque cualitativo de carácter descriptivo, complementado con elementos cuantitativos simples cuando la información disponible lo permitió, orientado a diseñar un plan de gestión de RCD operativo y medible para obras viales y de borde costero. El diseño metodológico se alinea con los objetivos del proyecto, los cuales son caracterizar el contexto operativo y los puntos de generación de RCD; sintetizar el marco conceptual y normativo aplicable; diseñar procesos, roles y trazabilidad del plan; y definir un conjunto pequeño de indicadores clave con metas, frecuencias y responsables.

En coherencia con este enfoque, la metodología se estructura en etapas sucesivas y complementarias que permiten vincular el levantamiento empírico de información en terreno con el análisis normativo y el diseño del plan propuesto. En una primera etapa, se aborda la caracterización del contexto operativo, identificando los principales frentes de trabajo, los tipos de residuos generados y las prácticas efectivas de manejo observadas en obra. Esta caracterización se apoya en observación no interventiva y revisión de registros operativos existentes, con el fin de comprender el funcionamiento real del sistema de gestión de residuos, más allá de los procedimientos formales.

En una segunda etapa, se desarrolla la síntesis del marco conceptual y normativo aplicable, considerando normativa vigente, guías técnicas y buenas prácticas relevantes para la gestión de

residuos de construcción y demolición. Este análisis permite traducir los requisitos normativos en criterios operativos observables, los cuales sirven como referencia para evaluar el nivel de cumplimiento y detectar brechas entre las exigencias formales y las prácticas identificadas en terreno.

Posteriormente, se realiza el levantamiento de información primaria, mediante entrevistas semiestructuradas a personal operativo, mandos medios y profesionales técnicos vinculados a la gestión de residuos, así como encuestas estructuradas dirigidas a trabajadores en terreno. Estas técnicas permiten recoger percepciones, prácticas habituales y dificultades operativas asociadas a la segregación, acondicionamiento, acopio, retiro y disposición o valorización de los residuos. La combinación de ambos instrumentos posibilita construir una línea base descriptiva, comparando visiones entre distintos roles y frentes de trabajo.

Finalmente, la información obtenida es integrada a través de un **análisis cualitativo por categorías temáticas**, tales como segregación en origen, logística y acopios, documentación y trazabilidad, gobernanza y cultura organizacional. Mediante la triangulación entre entrevistas, encuestas, observaciones en obra y documentación de gestores autorizados, se priorizan las brechas críticas del sistema actual, las cuales constituyen el insumo principal para el diseño del Plan de Gestión de RCD desarrollado en los capítulos siguientes.

De este modo, la metodología adoptada permite asegurar que la propuesta elaborada no responda a un enfoque genérico o normativo abstracto, sino que se fundamente en evidencia empírica levantada en terreno y en un análisis sistemático del contexto específico de DUFFCO, garantizando su pertinencia técnica y aplicabilidad operativa.

2.1.1. Instrumentos utilizados

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron **instrumentos de levantamiento de información de carácter cualitativo**, seleccionados en coherencia con el enfoque de estudio de caso aplicado y con los objetivos del trabajo.

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- **Entrevistas semiestructuradas diferenciadas por rol**, aplicadas a obreros, jefe de obra, gerente técnico, encargado de medio ambiente, encargado de calidad y prevencionista de riesgos. Las preguntas fueron adaptadas a las funciones y responsabilidades de cada cargo, con el fin de identificar el rol efectivo que cada actor cumple en la gestión de RCD, las prácticas habituales y las principales dificultades operativas observadas.
- **Observación directa no interventiva en terreno**, realizada mediante recorridos por frentes de trabajo, zonas de acopio y puntos de manejo de residuos, orientada a verificar las prácticas reales de segregación, orden, señalización y control, contrastándolas con los procedimientos formales existentes.
- **Revisión documental**, que consideró procedimientos internos, registros operativos disponibles, órdenes o contratos de retiro, certificados de disposición o valorización emitidos por gestores autorizados y otros antecedentes relevantes para evaluar el nivel de trazabilidad documental del sistema de gestión de RCD.

La utilización conjunta de estos instrumentos permitió levantar evidencia empírica desde distintas perspectivas, la cual fue posteriormente integrada mediante análisis cualitativo por

categorías y triangulación de fuentes, fortaleciendo la consistencia interna del diagnóstico desarrollado en el Capítulo 4.

2.2. Alcance de la investigación

La presente investigación tiene un alcance **aplicado, descriptivo y propositivo**, centrado en el análisis y diseño de un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) para una obra vial y de borde costero ejecutada por la empresa DUFFCO. En este contexto, el estudio se orienta a comprender el funcionamiento real del manejo de residuos en obra y a estructurar una propuesta técnica ajustada a dicho funcionamiento, sin pretender evaluar el desempeño ambiental global de la empresa ni establecer comparaciones cuantitativas entre distintos proyectos.

El alcance del trabajo se limita al **diagnóstico de las prácticas efectivamente observadas** durante el período de levantamiento de información, considerando los frentes de trabajo activos, los tipos de residuos generados y los mecanismos operativos existentes para su segregación, acopio, retiro y disposición final o valorización. Dicho diagnóstico constituye la base para el diseño del plan desarrollado en los capítulos posteriores.

Asimismo, el estudio comprende el **diseño conceptual y operativo** del Plan de Gestión de RCD, incluyendo la definición de procesos por fracción de residuo, roles y responsabilidades, flujos de manejo, requerimientos documentales y un conjunto acotado de indicadores de seguimiento. Estos elementos se desarrollan como una **propuesta técnica**, sin contemplar su implementación en obra ni la medición de resultados derivados de su aplicación.

En consecuencia, el alcance de la investigación se restringe a la **formulación del plan**, entendida como una herramienta de apoyo a la gestión, que puede ser utilizada como base para

futuras etapas de implementación o mejora continua, pero que no forma parte del desarrollo empírico del presente trabajo.

2.3. Limitaciones del estudio

Una de las principales limitaciones de la investigación corresponde a la **disponibilidad de información cuantitativa**, dado que la obra analizada no cuenta con registros históricos consolidados de generación de residuos desagregados por tipo, frente de trabajo o actividad constructiva. En este sentido, los elementos cuantitativos incorporados se limitan a datos referenciales, estimaciones simples y antecedentes proporcionados por gestores autorizados, sin desarrollar balances de masa detallados.

Otra limitación relevante se relaciona con el **carácter temporal del levantamiento de información**, el cual representa una situación específica de la obra durante el período de observación. Considerando que las obras viales y de borde costero presentan variaciones significativas en sus frentes de trabajo y tipos de residuos a lo largo del tiempo, los resultados del diagnóstico deben interpretarse como una caracterización contextual y no como una condición permanente del proyecto.

Adicionalmente, la investigación se apoya parcialmente en **información declarada** por los actores entrevistados y encuestados, lo que puede incorporar percepciones subjetivas asociadas a la experiencia y rol de cada participante. No obstante, esta limitación es abordada mediante la triangulación con observaciones directas en terreno y revisión de documentación operativa, fortaleciendo la consistencia interna del diagnóstico presentado en el Capítulo 4.

Finalmente, el estudio no contempla la evaluación de costos asociados a la implementación del plan ni el análisis de su impacto económico o ambiental posterior, dado que dichas evaluaciones

requieren una fase de aplicación práctica que excede los objetivos y el alcance de la presente memoria.

2.4. Unidad de análisis y caso de estudio

La unidad de análisis de la investigación corresponde al **sistema de gestión de residuos de construcción y demolición** de una obra vial y de borde costero ejecutada por la empresa DUFFCO, considerando tanto las prácticas operativas en terreno como los mecanismos de gestión, control y relación con gestores externos autorizados.

El caso de estudio se selecciona por su **representatividad operativa**, en cuanto presenta características comunes a proyectos de infraestructura pública, tales como múltiples frentes de trabajo simultáneos, generación heterogénea de residuos, restricciones logísticas y exigencias normativas específicas. Esta condición permite que el plan propuesto tenga un potencial de **transferibilidad conceptual** a otras obras de características similares, sin pretender una extrapolación directa de resultados.

La selección del caso responde, por tanto, a criterios de **pertinencia técnica y disponibilidad de información**, coherentes con el enfoque de estudio de caso aplicado adoptado en la investigación.

2.5. Criterios de la investigación

Con el fin de asegurar el rigor metodológico del estudio, se adoptan criterios propios de la investigación cualitativa aplicada, tales como la coherencia interna del diseño, la triangulación de fuentes y la trazabilidad entre diagnóstico y propuesta.

La información levantada mediante entrevistas diferenciadas por rol, observación en terreno y revisión documental es analizada de manera integrada, permitiendo contrastar prácticas formales y reales del manejo de RCD. Esta triangulación sustenta las brechas identificadas en el Capítulo 4 y fundamenta directamente las decisiones de diseño desarrolladas en el Capítulo 5.

Asimismo, el Plan de Gestión de RCD propuesto se construye a partir de los hallazgos del diagnóstico, evitando la incorporación de medidas genéricas o descontextualizadas. De este modo, se garantiza que los procesos, roles e indicadores definidos respondan a las condiciones reales observadas en obra, reforzando la consistencia metodológica y la aplicabilidad operativa de la propuesta.

CÁPITULO 3

3. CONCEPTUAL Y REGULATORIO

3.1. Propósito y alcance

3.1.1. Enfoque en obras viales y de borde costero

La elección del sector se fundamenta en los flujos característicos de residuos de construcción y demolición (RCD) asfalto fresado (RAP), hormigón, suelos y áridos, metales, maderas de encofrado y embalajes y en las condiciones operativas que imponen restricciones específicas de espacio, tránsito y seguridad. Dicho esto, el plan de gestión debe prever los puntos de generación y establecer layouts de acopio diferenciados por fracción, con medidas de control ante escurrimientos y arrastre de finos, y con una señalización constante desde el inicio de la obra, esto con el fin de reducir el riesgo de contaminación cruzada (MOP, 2025). La trazabilidad debe incorporarse desde la etapa de diseño del frente de trabajo, evitando que se realicen correcciones tardías que resultan más costosas.

La valorización del RAP en mezclas asfálticas es técnicamente viable siempre y cuando se controlen las impurezas, se asegure la relación entre ligantes y se cumplan los parámetros de producción adecuados. Teniendo en cuenta estas condiciones, es posible mantener el desempeño mecánico y la durabilidad, conforme a las especificaciones técnicas requeridas (Han et al., 2019). Esto permite transformar un flujo el cual este destinado a disposición final en un insumo funcional para capas asfálticas o granulares, generando impactos positivos tanto en la reducción de costos de disposición como en el consumo de materiales vírgenes.

En el caso del hormigón y de los materiales áridos reciclados, la evidencia técnica respalda su uso en capas granulares y aplicaciones no estructurales, siempre que se controle la granulometría, el contenido de mortero adherido y los niveles de contaminantes (Jahangiri et al., 2019). La calidad de estas fracciones depende de procesos de separación y de acuerdos previos con plantas recicladoras para su aceptación, es por ello, la gestión en entornos de vías y de costa requiere de procedimientos de segregación y de retiro que sean compatibles con la continuidad del tráfico, las medidas de seguridad y las condiciones ambientales.

3.1.2. Relación con los objetivos del estudio

El marco conceptual y regulatorio se conforma como un procedimiento de verificación, en donde, primeramente, permite medir cumplimiento comparando lo exigido con lo que realmente ocurre en obra; segundo, muestra las brechas procedimentales como lo son los puntos de generación sin control, documentales, en donde están las faltas de manifiestos o certificados y contractuales criterios de calidad no explicitados; y tercero, ofrece palancas de mejora priorizables en función de impacto y factibilidad. Esto posibilita pasar del diagnóstico descriptivo a un plan incremental con metas verificables (European Commission - JRC, 2024).

En Chile, la NCh 3562:2019 y el Anexo del ETG - 45 ya operan estos principios en instrumentos concretos, estructura del plan, fichas mensuales, manifiestos y certificados de valorización o disposición. Incorporar estos instrumentos como una norma interna permite comparar obras entre sí, ayudando a estabilizar indicadores y de igual manera a alinear subcontratos y gestores con metas de valorización realistas y que sean auditables (MOP, 2025).

3.1.3. Criterios de inclusión normativa

Se consideran normas y reglamentos que estén vigentes con efectos directos sobre RCD y sobre actividades similares en obra Ley N.º 20.920, DS N.º 189/2005 para eliminación en rellenos, DS N.º 148/2003 para fracciones peligrosas incidentales, DS N.º 594/1999 para condiciones sanitarias del trabajo y DS N.º 40/2012 para evaluación ambiental, además de la oficialización de la NCh 3562:2019 como estándar técnico de referencia (SEA, 2012).

En términos de aplicabilidad, se privilegian lineamientos con una conversión directa a contratos de obra pública, en especial a las Especificaciones Técnicas del MOP (ETG-45) y su Anexo, los cuales establecen responsabilidades, formatos de registro y exigencias de calidad en la gestión, con un enfoque explícito en frentes viales y, por extensión, en actividades desarrolladas en franjas costeras (MOP, 2025). Esta alineación permite integrar el plan de gestión como un requisito técnico obligatorio, en lugar de tenerlo como un anexo.

En cuanto a transferibilidad, se reúnen estándares y guías emitidas por la Unión Europea, que ofrecen metodologías para auditorías previas, protocolos de control de calidad e indicadores comparables aplicables a fracciones críticas como RAP, áridos y hormigón. Estos insumos resultan preciosos para fortalecer la propuesta técnica y mitigar la incertidumbre asociada al uso de materiales secundarios (European Commission, 2024).

3.2. Principios y enfoques de la gestión de RCD

3.2.1. *Jerarquía de gestión (prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización y eliminación)*

La gestión actual de residuos de construcción y demolición (RCD) se constituye conforme a un grado que establece prioridades en la intervención, inicia con la prevención en el origen, seguida por la preparación para la reutilización, el reciclaje, otras formas de valorización, y deja la eliminación como última opción. Este orden no es solo declarativo, sino que incide directamente en decisiones de diseño, contratación y ejecución de obras, desde la selección de materiales y técnicas constructivas hasta los criterios de aceptación de fracciones en plantas de tratamiento (European Commission, 2024). En el entorno de obras viales y de borde costero, esta jerarquía se operacionaliza por medio de especificaciones de mezcla y de soluciones técnicas que reducen sobrantes, demoliciones innecesarias y contaminación, lo cual permite alcanzar mayores tasas de valorización sin comprometer el rendimiento técnico (European Commission, 2024).

La implementación de esta jerarquía requiere herramientas operativas que permitan verificar su cumplimiento en terreno. Desde la perspectiva chilena, la norma NCh 3562:2019 proporciona un marco conceptual y procedimental para estructurar planes de gestión, facilitando la programación de “actividades de prevención, discriminación y valorización según las etapas de obra, así como la documentación de evidencias mínimas para fines de control y auditoría interna” (MINVU, 2019). Esta norma promueve un lenguaje técnico unificado para clasificar fracciones, identificar puntos de generación y estandarizar registros, elementos fundamentales para la comparación entre proyectos y la mejora continua en faenas de características similares (MINVU, 2019).

En el sector de la obra pública, la jerarquía de gestión ha pasado a formar parte de las obligaciones contractuales del ejecutor. Las especificaciones del MOP (ETG/ETGA-45 y su Anexo sobre Plan de Gestión de Residuos en Obra) detallan con claridad los roles, metas e indicadores exigibles, incorporando este principio como eje de planificación. Entre los aspectos operativos que se contemplan están la separación de residuos según etapas constructivas, la organización física de los puntos de acopio y los compromisos de calidad con gestores autorizados. Estas disposiciones buscan reducir la distancia entre lo normativo y lo que realmente ocurre en terreno. Su aplicación tiene una importancia en obras viales y costeras, donde factores como las restricciones de acceso, las condiciones ambientales y las limitaciones de tiempo inciden directamente en la logística del retiro y aprovechamiento de los residuos (MOP, 2025).

3.2.2. Economía circular en construcción y diseño para la valorización

La economía circular (EC) orienta el tránsito de un manejo reactivo a uno preventivo y de ciclo cerrado, en el que materiales y componentes se mantienen en uso con el mayor valor posible durante el mayor tiempo posible. En RCD, ello implica priorizar soluciones de diseño para deconstrucción, reuso de elementos y reciclaje material de alta calidad, apoyados por especificaciones que reduzcan impurezas y pérdidas en proceso (European Commission - JRC, 2024). Esta perspectiva agrega criterios de desempeño y trazabilidad a la selección de tecnologías y acuerdos con gestores, abriendo oportunidades para áridos reciclados y RAP en capas granulares y mezclas asfálticas cuando se cumplen parámetros de calidad (European Commission - JRC, 2024).

La literatura científica muestra que la adopción de EC en construcción enfrenta barreras operativas (diseño no desmontable, contaminación de fracciones, incertidumbre de mercado) y de gobernanza (estándares heterogéneos, contratos que no internalizan el costo de no valorizar). Las revisiones recientes recomiendan alinear especificaciones, metas verificables y mecanismos de control para asegurar calidad y confianza en materiales secundarios, especialmente en cadenas como pavimentos, hormigón y áridos (Papamichael et al., 2023). En términos prácticos, esto supone incorporar criterios circulares en pliegos, subcontratos y planes de obra, y usar indicadores que premien la valorización efectiva y el desempeño técnico del producto reciclado (Papamichael et al., 2023).

En el plano comparado, experiencias consolidadas muestran que metas de valorización, protocolos de calidad y auditorías de pre-demolición mejoran la oferta de materiales secundarios y reducen la variabilidad técnica. En la Unión Europea, la actualización del Protocolo de Gestión de RCD (2024) enfatiza la gestión de calidad en todas las etapas, desde el diagnóstico previo hasta la aceptación en plantas, reforzando la trazabilidad y los criterios de desempeño del material reciclado (European Commission, 2024). Para obras viales y de borde costero, ello se traduce en especificaciones de mezcla, límites de impurezas y rutinas de control que aseguran compatibilidad entre economía circular y requisitos de durabilidad (European Commission, 2024).

3.2.3. Segregación en origen y control de la contaminación cruzada

La separación en origen forma el mecanismo operativo con mayor impacto sobre la calidad técnica y el potencial de valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD). La clasificación temprana de fracciones como hormigón, asfalto fresado, metales, maderas y suelos

permite preservar sus propiedades, reducir los costos asociados al procesamiento posterior y aumentar tanto su valor de mercado como su aptitud para aplicaciones técnicas de alta exigencia (MOP, 2025). En entornos viales y costeros, esta labor debe ajustarse a las restricciones propias de espacio, tránsito y condiciones ambientales, lo que convierte a la planificación del acopio, la señalización clara y la formación del personal en factores críticos de desempeño (MOP, 2025).

La norma NCh 3562:2019 ofrece una norma técnica la cual funciona para clasificar fracciones y establecer protocolos de manejo que permiten definir puntos de generación y acopio con controles mínimos como resguardo ante lluvias, escurrimientos y el arrastre de partículas finas y establecer criterios de aceptación o rechazo de residuos directamente en obra (MINVU, 2019). Esta estandarización ayuda a reducir la indecisión técnica y contractual, y facilita la comparación entre obras con características distintas, pero flujos similares de RCD, como los correspondientes a hormigón, RAP, áridos y materiales de encofrado (MINVU, 2019).

El buen control de la contaminación cruzada requiere acuerdos operativos con gestores autorizados, que especifiquen límites de impurezas y frecuencias de retiro coherentes con el avance programado de la obra. El Anexo de las ETG/ETGA-45 establece los elementos mínimos del plan de gestión, incluyendo responsables, diagnósticos por etapa, metas, registros y reportes mensuales, lo que asegura que la segregación no se reduzca a acciones puntuales, sino que forme parte de una práctica sistemática y verificable en terreno (MOP, 2025). Esto es fundamental para mantener tasas estables de valorización y garantizar la calidad en cadenas sensibles como las de RAP y áridos reciclados, donde niveles mínimos de contaminación pueden comprometer de forma significativa el desempeño final del material (MOP, 2025).

3.2.4. Trazabilidad y principio de evidencia

La trazabilidad convierte el plan de gestión de residuos en un sistema ordenado de evidencias el cual permite documentar todo el recorrido de cada fracción, iniciando desde su generación y segregación, pasando por el retiro y tratamiento, hasta su destino final. En el entorno de obras públicas, el Anexo de las ETG/ETGA-45 establece registros mínimos obligatorios como bitácoras de segregación, manifiestos de retiro y certificados de valorización o disposición junto con una asignación clara de responsabilidades, lo que facilita tanto las auditorías internas como el seguimiento del cumplimiento de metas (MOP, 2025).

En el plano normativo, la norma NCh 3562:2019 refuerza la trazabilidad mediante la estandarización de términos, categorías y contenidos del plan de gestión. Esta uniformidad permite integrar los registros en formatos coherentes, compatibles con los mecanismos de fiscalización y con los sistemas de monitoreo de desempeño (MINVU, 2019). La consistencia también favorece la operabilidad con plataformas digitales de gestión y con los reportes que las empresas deben elaborar para fines de cumplimiento ambiental o seguimiento de indicadores corporativos (MINVU, 2019).

En el caso de fracciones peligrosas incidentales como residuos que contengan asbesto, solventes o pinturas, el manejo se regula conforme al Decreto Supremo N.º 148/2003, que exige condiciones específicas para el almacenamiento, transporte y trazabilidad a través de manifiestos de seguimiento (Ministerio de Salud, 2004). Si bien la mayoría de los RCD no son peligrosos, la interacción con insumos de mantenimiento, actividades de demolición específicas o eventos imprevistos en obra obliga a prever estos protocolos con el fin de evitar

incumplimientos normativos y mitigar riesgos asociados a la salud y seguridad laboral (Ministerio de Salud, 2004).

3.3. Marco legal general aplicable en Chile

3.3.1. Ley N. ° 20.920 (*Ley REP*)

La Ley N.° 20.920 establece el marco jurídico que sitúa la gestión de residuos en Chile y crea la responsabilidad del productor como un instrumento para prevenir la generación, impulsar la reutilización y que se promueva el reciclaje y otras formas de valorización. Aunque su foco directo recae en productos prioritarios, su estructura institucional y de metas conforma condiciones de mercado y de trazabilidad que inciden en la demanda de materiales secundarios, habilitando sinergias para la valorización de residuos de construcción y demolición cuando existen cadenas formales de gestión y estándares de calidad compatibles con usos en obra (Chile, 2016).

En el ámbito de la gobernanza, la Ley REP establece esquemas de gestión y diferentes obligaciones, las cuales promueven la formalización de gestores y el desarrollo de infraestructura para el tratamiento de residuos, elementos importantes para mejorar la viabilidad técnica y económica de la valorización, en especial en los sectores con una alta demanda de materiales, como la construcción vial y costera. Estos instrumentos permiten alinear las metas de prevención con el desempeño operativo, dado que las empresas deben respaldar sus resultados mediante evidencias verificables a lo largo de toda la cadena de gestión (Chile, 2016).

Por su naturaleza de ley, su implementación se enuncia con reglamentos sanitarios y ambientales, así como con normas técnicas específicas del sector, las cuales brindan la base

operativa necesaria para convertir sus principios en procedimientos concretos en obra. En resultado, los contratos y planes de gestión que integran estándares de registros y certificaciones pueden vincular sus propios indicadores con el medio normativo y comercial promovido por la REP (Chile, 2016).

3.3.2. Ley 19.300 y Reglamento del SEIA (DS N.º 40/2012): pertinencia para obras viales y costeras

La Ley 19.300 y su Reglamento, el Decreto N.º 40/2012, regulan el funcionamiento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), estableciendo disposiciones, definiciones y listados de proyectos que deben someterse a evaluación, así como criterios para determinar la significancia de los impactos y requisitos que están vinculados a la participación ciudadana. En el caso de proyectos que contemplan intervenciones en el borde costero o que incluyen obras viales, esta normativa regula el ingreso al SEIA y define los contenidos mínimos de los instrumentos de evaluación, lo que incide directamente en cómo se abordan, desde el diseño del proyecto, las obligaciones relativas al manejo y disposición de residuos (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012).

El reglamento agrega conceptos operativos como el área de influencia y los efectos, características o circunstancias señaladas en el artículo 11 de la ley, que permiten sustentar técnica y legalmente la incorporación de medidas de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), controles de riesgo y compromisos de seguimiento. En otras palabras, esto se convierte en la inclusión de planes de gestión de residuos como parte integral de los instrumentos de evaluación ambiental, en relación con la jerarquía de gestión (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012).

Las actualizaciones normativas y las guías técnicas del sistema han hecho más fuerte la coordinación entre el SEIA, las normas sectoriales y los estándares de información exigibles, contribuyendo a reducir ambigüedades con respecto a los permisos y obligaciones de control. En proyectos viales y costeros, este empalme normativo facilita la correlación entre los compromisos ambientales asumidos y los requerimientos contractuales definidos por el mandante, en especial cuando se pide una evidencia de valorización efectiva y disposición final en instalaciones autorizadas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2012).

CÁPITULO 4

4. DIAGNÓSTICO DUFFCO

4.1. Propósito del diagnóstico

El objetivo de este capítulo es presentar un diagnóstico integrado sobre la gestión actual de residuos de construcción y demolición (RCD) en DUFFCO, basado en entrevistas internas realizadas a trabajadores operativos, mandos medios y profesionales técnicos durante el año 2025. Estas entrevistas permitieron identificar brechas operativas, documentales y de gobernanza que afectan directamente la trazabilidad y valorización de los residuos. Tal como señaló un jefe de obra entrevistado, “cada frente lo gestiona como puede, no tenemos un estándar único” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).

Este diagnóstico constituye la base empírica para el diseño del Plan de Gestión de RCD presentado en el capítulo siguiente.

4.1.1. Caracterización del tipo de obras ejecutadas por DUFFCO

Con el fin de contextualizar el caso de estudio y caracterizar el tipo de operaciones desarrolladas por DUFFCO, se analizó la distribución de las obras ejecutadas por la empresa según su tipología. Esta caracterización permite comprender la naturaleza predominante de los proyectos abordados y su relación con los flujos de residuos de construcción y demolición (RCD) generados en obra.

Durante el período considerado, DUFFCO ejecutó un total de **24 obras**, de las cuales **18 corresponden a obras viales**, **4 a obras hidráulicas** y **2 a obras de borde costero**, lo que equivale aproximadamente a un **75 % de proyectos viales**, un **16,7 % hidráulicos** y un **8,3 %**

costeros. Esta distribución evidencia una clara predominancia de proyectos de infraestructura vial, los cuales se caracterizan por la generación de residuos tales como hormigón, asfalto fresado, suelos, áridos y maderas de encofrado.

La composición del portafolio de obras resulta coherente con el enfoque adoptado en la presente investigación y justifica la selección de DUFFCO como caso de estudio para el diseño de un Plan de Gestión de RCD aplicable a obras viales y de borde costero, en las cuales las restricciones operativas, logísticas y normativas adquieren especial relevancia.

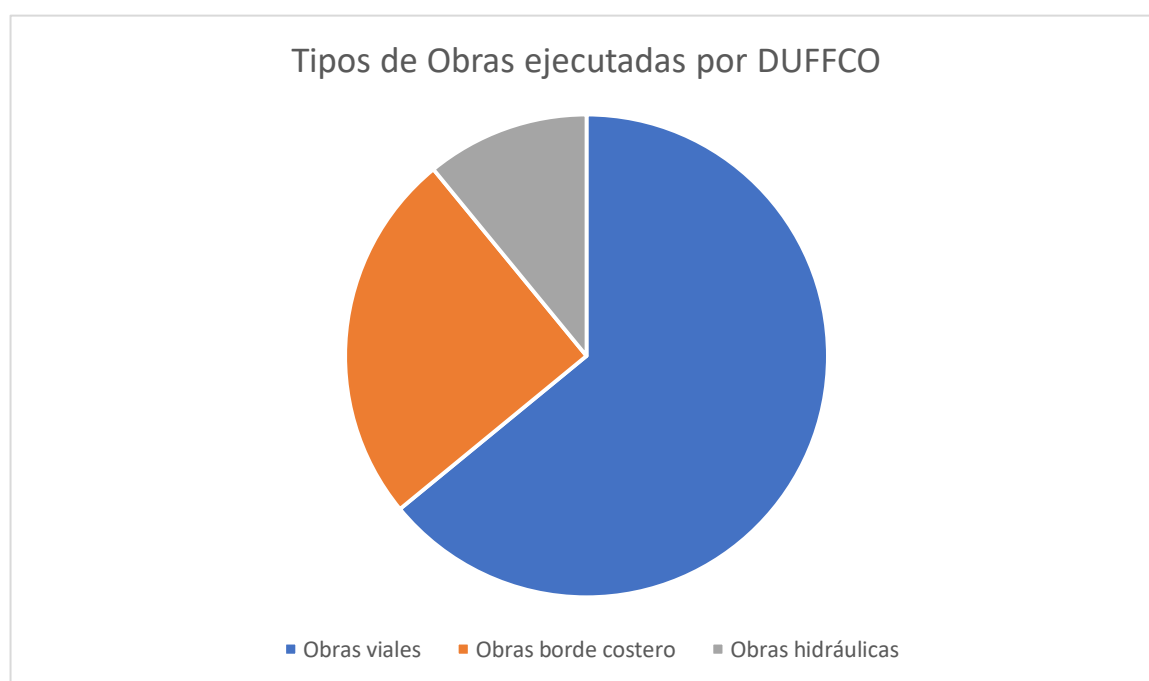


Figura 4.1. Distribución de obras ejecutadas por DUFFCO según tipo.
Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes internos de DUFFCO (2025).

La Figura 4.1 refuerza la predominancia de obras viales en el portafolio de DUFFCO, sin perjuicio de la relevancia operativa de las obras de borde costero, las cuales presentan mayores restricciones de espacio, logística y control ambiental, aspectos que inciden directamente en la gestión de residuos analizada en los apartados siguientes

4.2. Metodología del diagnóstico

La metodología empleada consistió en un enfoque mixto que combinó entrevistas semiestructuradas, observación operativa y revisión documental. Se aplicaron instrumentos diferenciados a 13 actores relevantes, entre ellos trabajadores en terreno, un capataz, un jefe de obra, un ayudante de topografía, profesionales de Prevención de Riesgos, Calidad y Medioambiente, además del Gerente Técnico. La triangulación fue clave: por ejemplo, mientras trabajadores mencionaron que “a veces se mezcla porque el contenedor está lejos”, profesionales como encargados de Calidad señalaron que “no existe un registro estandarizado por fracción” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).

La combinación de entrevistas a distintos niveles jerárquicos, observación directa en terreno y revisión documental permitió contrastar prácticas declaradas con prácticas efectivamente observadas, reduciendo el sesgo asociado a percepciones individuales. La recurrencia de hallazgos entre distintos roles y frentes de trabajo permitió identificar brechas estructurales y transversales en la gestión de RCD, descartando que se trate de situaciones aisladas o puntuales.

El análisis se organizó en seis categorías temáticas (segregación, acopios, documentación, gobernanza, cultura y relación con gestores), las cuales estructuran la presentación de los resultados del diagnóstico desarrollados en el apartado siguiente

4.3. Resultados del diagnóstico

4.3.1. Segregación en origen

. Las entrevistas realizadas evidencian que la segregación en origen de los residuos de construcción y demolición (RCD) en las obras de DUFFCO es inconsistente y altamente dependiente del criterio individual de cada cuadrilla. Varios trabajadores indicaron que “cuando

estamos apurados, va todo junto”, mientras que otros señalaron que “no siempre sabemos qué va en cada contenedor” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025). Asimismo, durante las observaciones en terreno (Figura 4.2) se identificaron zonas donde los residuos terminan mezclándose de manera recurrente, situación que fue corroborada por personal técnico.



Figura 4.2. Disposición de residuos de construcción en el área de trabajo sin segregación definida. Fuente: *Elaboración propia a partir de observación en obra (2025).*

La ausencia de criterios claros y estandarizados para la segregación genera contaminación cruzada entre fracciones como hormigón, áridos, maderas y residuos mixtos, degradando su calidad y limitando su potencial de valorización. En términos normativos, esta práctica no se alinea con los principios establecidos en la **NCh 3562:2019**, particularmente en lo relativo a la segregación desde el punto de generación y al control de la contaminación cruzada como condición para una gestión efectiva de RCD.

Desde una perspectiva de gestión, la falta de segregación en origen impide contar con información desagregada por fracción, dificultando la medición de volúmenes generados, la coordinación con gestores autorizados y la definición de indicadores de desempeño. En consecuencia, esta brecha se configura como una de las más críticas del sistema actual de gestión de RCD en DUFFCO, ya que afecta directamente la trazabilidad, la eficiencia operativa y la viabilidad técnica y económica de la valorización de residuos.

4.3.2. Acopios y logística interna

El diagnóstico evidenció que los acopios de residuos en las obras de DUFFCO son definidos de manera mayoritariamente reactiva, sin un layout preestablecido ni criterios homogéneos entre frentes de trabajo. Un trabajador señaló que “a veces no hay dónde dejar los residuos, entonces se arma un espacio improvisado” (Figura 4.3), mientras que el jefe de obra indicó que “los contenedores quedan lejos del frente y se usa uno para todo” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).



Figura 4.3. Área de almacenamiento de materiales sin señalética ni delimitación de acopio.

Fuente: Elaboración propia a partir de observación en obra (2025).

La ausencia de una planificación espacial básica de los puntos de acopio, junto con la falta de señalética visible y diferenciada por fracción, favorece la contaminación cruzada de residuos y refuerza prácticas de mezcla observadas en terreno. Asimismo, las distancias excesivas entre los frentes de trabajo y los contenedores generan traslados innecesarios, pérdida de tiempo operativo y menor adherencia a las prácticas de segregación definidas.

Desde una perspectiva de gestión, la inexistencia de layouts estandarizados limita la capacidad de supervisión y control del manejo de residuos, incrementa los riesgos asociados al orden y la seguridad en obra, y dificulta la implementación de rutinas sistemáticas de registro y trazabilidad. En este sentido, la logística de acopios se configura como una condición habilitante del sistema de gestión de RCD, cuya ausencia impacta directamente en la eficiencia operativa, la calidad de la segregación y el desempeño global del manejo de residuos en obra.

4.3.3. Documentación y trazabilidad

El diagnóstico evidenció que, si bien DUFFCO genera la documentación obligatoria asociada a la gestión de residuos (tales como manifiestos de residuos peligrosos y certificados de disposición final o valorización emitidos por gestores autorizados), no cuenta con un sistema de trazabilidad documental consolidado que permita integrar, analizar y utilizar dicha información de manera sistemática. El encargado de Calidad señaló que “no tenemos indicadores ni registro por fracción”, mientras que el profesional del área de Medioambiente indicó que “los certificados están, pero dispersos en distintas áreas” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).

Esta dispersión de la información impide contar con registros homogéneos por obra y por fracción de residuo, dificultando la comparación entre proyectos y el seguimiento del

desempeño en el tiempo. En consecuencia, la documentación existente cumple una función principalmente reactiva y administrativa, orientada al respaldo ante eventuales fiscalizaciones, más que a la gestión activa del sistema de residuos.

Desde una perspectiva normativa, esta situación limita el cumplimiento efectivo del Anexo ETG-45 del Ministerio de Obras Públicas, el cual exige información verificable, ordenada y disponible respecto del manejo de residuos en obra. Sin embargo, más allá del cumplimiento formal, la ausencia de un sistema de trazabilidad integrado restringe la capacidad de la empresa para evaluar su desempeño, identificar desviaciones y sustentar procesos de mejora continua.

En términos de gestión, la falta de indicadores (KPIs) y de consolidación documental transforma la trazabilidad en un requisito formal más que en una herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Por ello, esta brecha se configura como un elemento crítico del sistema actual, cuya superación resulta indispensable para avanzar hacia una gestión de RCD basada en evidencia, comparable entre obras y alineada con los principios de control y mejora definidos en el marco conceptual.

4.3.4. Gobernanza y roles

El diagnóstico evidenció que las responsabilidades asociadas a la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en DUFFCO no se encuentran formalmente definidas ni estructuradas en un esquema de gobernanza integrado. Si bien diversas áreas intervienen parcialmente en el proceso —como Prevención de Riesgos, Medioambiente, Calidad y la línea de Obra—, ninguna asume la supervisión del ciclo completo de gestión de residuos, desde la segregación en origen hasta la disposición final o valorización.

Esta fragmentación de responsabilidades fue reiteradamente mencionada por los entrevistados. Desde el área de Prevención se señalaron riesgos asociados al desorden en obra; desde Medioambiente, un foco acotado principalmente a residuos peligrosos; y desde la línea de Obra se indicó que “supervisamos cuando podemos” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025). El Gerente Técnico sintetiza esta situación señalando que “cada obra lo hace distinto, necesitamos un estándar corporativo”.

La ausencia de un responsable claramente definido y de una estructura formal de roles genera duplicidad de esfuerzos, vacíos de control y pérdida de información, dificultando la coordinación entre áreas y la sostenibilidad de las prácticas de gestión de residuos en el tiempo. En este contexto, la problemática identificada no responde a la falta de recursos humanos o capacidades técnicas, sino a una brecha de gobernanza organizacional.

Desde una perspectiva de gestión, esta brecha incide transversalmente en el desempeño del sistema de gestión de RCD, ya que limita la implementación consistente de procedimientos de segregación, acopios y trazabilidad, y dificulta la adopción de indicadores y mecanismos de mejora continua. En consecuencia, el fortalecimiento de la gobernanza y la clarificación de roles se configura como un elemento estructural para la efectividad del plan de gestión propuesto.

4.3.5. Cultura y capacitación

El diagnóstico evidenció que la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en DUFFCO se apoya mayoritariamente en el criterio individual y la experiencia previa de los trabajadores, sin la existencia de instancias formales y sistemáticas de capacitación asociadas al manejo de residuos en obra. Varios entrevistados señalaron que “nunca nos han capacitado en este tema” y que “cada cuadrilla lo hace a su manera” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).

La ausencia de procesos de inducción específicos y de refuerzos periódicos genera una cultura operativa heterogénea, donde las buenas prácticas dependen de la iniciativa personal más que de un estándar compartido. Esta situación se ve acentuada por la rotación de personal y la presión por cumplir plazos, factores que dificultan la consolidación de prácticas consistentes en el tiempo.

Desde una perspectiva de gestión, esta brecha se traduce en una alta variabilidad en la aplicación de procedimientos, afectando la estabilidad del sistema de gestión de RCD y la adherencia a los criterios de segregación, acopios y registro definidos. En consecuencia, la cultura y la capacitación se configuran como elementos habilitantes para la sostenibilidad del plan de gestión propuesto, más que como acciones aisladas o complementarias.

4.3.6. Relación con gestores autorizados

El diagnóstico evidenció que DUFFCO mantiene relaciones operativas con gestores de residuos debidamente autorizados para la disposición final y, en algunos casos, para la valorización de residuos de construcción y demolición (RCD), cumpliendo con las exigencias regulatorias aplicables. Los entrevistados señalaron que “los gestores están regularizados” y que “los certificados de disposición se reciben sin mayores inconvenientes” (Entrevistas internas DUFFCO, 2025).

No obstante, la relación con los gestores se limita principalmente a una interacción de carácter transaccional, orientada al retiro y disposición de residuos, sin que la información generada sea utilizada de manera sistemática como insumo para la gestión interna. Los certificados y reportes emitidos por los gestores no se consolidan ni analizan por obra o por fracción, lo que impide

evaluar volúmenes gestionados, identificar tendencias o comparar el desempeño entre proyectos.

Desde una perspectiva de gestión, esta situación representa una oportunidad desaprovechada, ya que la información provista por los gestores podría constituir una fuente relevante para el control del sistema de gestión de RCD, el seguimiento de indicadores y la identificación de oportunidades de mejora y valorización. En consecuencia, la brecha identificada no se relaciona con el cumplimiento externo, sino con la capacidad interna de integrar y utilizar dicha información como parte de un sistema de gestión basado en evidencia.

4.4. Síntesis del diagnóstico

A partir del análisis desarrollado en los apartados anteriores, se identificaron brechas estructurales en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en DUFFCO, las cuales se manifiestan de manera transversal en distintos tipos de obra y roles organizacionales. Estas brechas no responden a situaciones puntuales ni a incumplimientos aislados, sino a la ausencia de un sistema de gestión integrado que articule prácticas operativas, responsabilidades, información y cultura organizacional.

Con el fin de reforzar la comprensión integrada del diagnóstico desarrollado, se presenta a continuación una síntesis cualitativa por dimensiones de la gestión de residuos de construcción y demolición en DUFFCO. Esta visualización permite identificar de manera comparativa el nivel de desempeño relativo de cada dimensión analizada y las principales brechas estructurales del sistema actual.

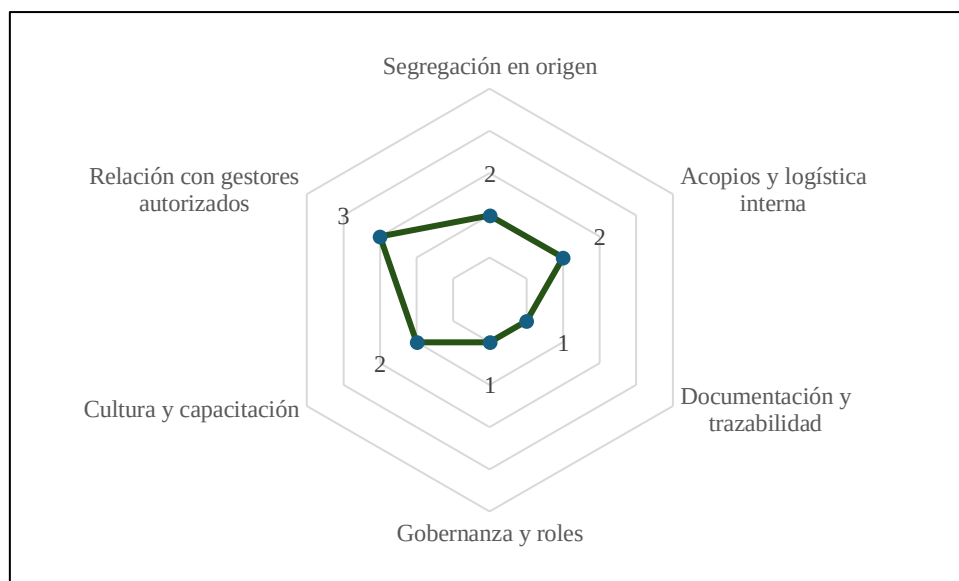


Figura 4.4. Síntesis cualitativa del diagnóstico de la gestión de RCD en DUFFCO (escala 1–5)

Los puntajes representan una evaluación cualitativa referencial, construida a partir de entrevistas, observación en terreno y revisión documental, y se utilizan como herramienta de síntesis del diagnóstico. En una escala cualitativa referencial, donde “1” representa ausencia del elemento evaluado y “5” un nivel plenamente sistematizado y estandarizado

Con el objetivo de profundizar el análisis presentado y complementar la síntesis visual anterior, se elaboró una síntesis por categoría de los hallazgos del diagnóstico, considerando la evidencia levantada, sus principales consecuencias operativas y su relación con los requisitos normativos y de gestión revisados.

4.4.1. Tabla de síntesis y priorización de brechas

Categoría	Hallazgo principal	Evidencia	Consecuencia	Requisito normativo	Nivel de prioridad
Segregación en origen	Segregación inconsistente y dependiente del criterio individual	Entrevistas y observación directa (Fig. 4.1)	Contaminación cruzada, baja valorización, pérdida de información por fracción	NCh 3562:2019: segregación en origen y control de contaminación cruzada; ETG-45: exigencia de manejo y registros por fracción	Alta
Acopios y señalética	Acopios definidos de forma reactiva, sin layout ni señalética	Entrevistas y observación (Fig. 4.2)	Mezcla de residuos, tiempos improductivos, dificultades	Mezcla de residuos, tiempos improductivos, dificultades de supervisión	Alta
Documentación y trazabilidad	Documentación existente pero dispersa y no consolidada	Entrevistas a Calidad y Medioambiente	Imposibilidad de comparar obras, ausencia de indicadores, gestión reactiva	ETG-45: información verificable y trazable	Alta
Gobernanza y roles	Falta de estructura formal de responsabilidades	Entrevistas a áreas técnicas y Gerencia	Vacíos de control, duplicidad de funciones, baja sostenibilidad del sistema	Principios de gobernanza del sistema de gestión	Alta
Cultura y capacitación	Ausencia de capacitación sistemática	Entrevistas a trabajadores y jefatura	Alta variabilidad operativa, baja adherencia a procedimientos	Gestión del cambio / capacitación como habilitante	Media
Relación con gestores	Relación transaccional sin uso de información	Certificados y entrevistas	Oportunidad perdida de control y mejora continua	Trazabilidad y uso de información para gestión	Media

La síntesis del diagnóstico evidencia que las brechas más críticas se concentran en elementos estructurales del sistema (segregación en origen, logística de acopios, trazabilidad documental y gobernanza) los cuales condicionan el desempeño del resto de las dimensiones analizadas. En este contexto, la mejora de la gestión de RCD en DUFFCO no puede abordarse mediante

acciones aisladas, sino a través de un plan integrado que articule procedimientos operativos, roles claros, sistemas de información y mecanismos de seguimiento.

En respuesta a estas brechas prioritarias, el Capítulo 5 presenta el diseño de un Plan de Gestión de RCD orientado a estandarizar prácticas, fortalecer la trazabilidad y mejorar la eficiencia operativa, considerando las condiciones reales de ejecución de obras viales y de borde costero.

CÁPITULO 5

5. PROPUESTA DE PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA DUFFCO

5.1. Introducción al plan

El presente capítulo tiene por objetivo desarrollar una propuesta integral para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la empresa DUFFCO, basada en los hallazgos obtenidos en el diagnóstico presentado en el Capítulo 4. Dicho diagnóstico evidenció brechas estructurales en materia de segregación, acopios internos, trazabilidad documental, roles y responsabilidades, capacitación y relación con gestores autorizados, las cuales limitan la eficiencia operacional, el cumplimiento normativo y la valorización de los materiales generados en obra.

La propuesta que se presenta a continuación se sustenta en los lineamientos establecidos en la NCh 3562:2019, en el Anexo ETG-45 del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y en las mejores prácticas nacionales e internacionales asociadas a la gestión de residuos en proyectos de infraestructura. Asimismo, incorpora los principios de prevención, segregación en origen, trazabilidad verificable, responsabilidad compartida y mejora continua, los cuales fueron identificados en el marco teórico como fundamentales para un sistema de gestión de residuos eficaz y sostenible.

El propósito de este plan no es su implementación inmediata (lo cual excede el alcance del presente trabajo), sino la formulación de un instrumento técnico y metodológicamente sólido

que pueda ser aplicado y adaptado por DUFFCO en futuras obras. El diseño del plan responde directamente a las brechas detectadas, las cuales fueron levantadas mediante entrevistas internas a trabajadores, supervisores y profesionales técnicos; por ejemplo, la identificación de mezclas frecuentes por falta de señalética clara, la ausencia de indicadores de desempeño, la dispersión documental y la inexistencia de roles formalmente asignados.

De esta manera, el Plan de Gestión RCD propuesto busca:

- Estandarizar procedimientos de segregación y manejo de residuos.
- Mejorar la logística interna mediante la definición de layouts y señalética.
- Implementar un sistema de trazabilidad documental verificable.
- Formalizar la estructura de gobernanza a través de una matriz RACI.
- Incorporar un programa de capacitación continua y transversal.
- Establecer indicadores que permitan evaluar, corregir y mejorar el desempeño.

El capítulo se estructura en torno al diseño de estos componentes, articulando una propuesta coherente y aplicable que permitirá a DUFFCO avanzar hacia un modelo de gestión de residuos más eficiente, trazable y alineado con las exigencias normativas vigentes.

5.2. Principios del plan

La propuesta del plan se sustenta en los siguientes principios:

1. Prevención y minimización de residuos

Promover prácticas de planificación y control que reduzcan la generación de residuos desde las etapas iniciales del proyecto.

2. Segregación en origen

Separar los residuos desde el punto en el que se generan, minimizando contaminación cruzada y maximizando valorización

3. Responsabilidad compartida

Asignar responsabilidades diferenciadas entre personal operativo, supervisión, áreas técnicas y gestores externos.

4. Trazabilidad verificable

Contar con documentación completa y actualizada que permita seguir el flujo de residuos desde su generación hasta su disposición final.

5. Mejora continua

Implementar indicadores, auditorías y retroalimentación para corregir desviaciones y fortalecer el sistema de manera progresiva.

5.3. Diseño del Plan de Gestión de RCD

El diseño del Plan de Gestión de RCD para DUFFCO se estructura a partir de los componentes críticos identificados en el diagnóstico del Capítulo 4. Cada componente aborda una brecha específica, proponiendo soluciones alineadas con los lineamientos de la NCh 3562:2019, el ETG-45 del MOP y las mejores prácticas de gestión en obras de infraestructura. El objetivo es desarrollar un sistema integral, replicable y verificable, que permita estandarizar la gestión de residuos en todas las obras de la empresa.

5.3.1. Procedimientos por fracción

Se proponen procedimientos estandarizados para las fracciones:

- Hormigón y escombros
- Tierra y áridos
- Metales
- Madera
- Plásticos y envases
- Residuos peligrosos (RP)
- Residuos mixtos (a minimizar)

Cada procedimiento debe incluir:

1. **Punto de generación:** descripción del frente de trabajo.
2. **Métodos de segregación:** herramientas, contenedores y flujos asociados.
3. **Equipos y materiales:** big-bags, tolvas, contenedores diferenciados.
4. **Frecuencia de retiro:** periodicidad semanal o según volumen.
5. **Responsable de supervisión:** capataz o supervisor designado.
6. **Documentos asociados:** formatos de registro, fotografías y checklists.
7. **Indicadores aplicables:** % segregación, volumen mensual, etc.

Este componente soluciona las brechas detectadas como “*cuando estamos apurados va todo junto*” y la falta de criterios homogéneos entre cuadrillas.

5.3.2. *Layouts de acopio y señalética estandarizada*

Se debe desarrollar un **layout corporativo base**, adaptable a distintos tipos de obra, que incluya:

- Distribución espacial de contenedores según fracción.
- Distancias recomendadas al frente de trabajo.
- Zona de residuos peligrosos con control de acceso.
- Señalética vertical y horizontal en colores normalizados.
- Rutas internas para traslado seguro de residuos.

Esto resuelve las brechas señaladas por trabajadores: *“los contenedores están lejos”* y *“no hay señalización clara”*.

5.3.3. *Sistema de trazabilidad documental*

El sistema debe centralizar toda la información en un formato único (planilla o plataforma interna), integrado por:

- Registro mensual por fracción (ton o m³).
- Historial de retiros y transportistas.
- Certificados de disposición final.
- Evidencia fotográfica del antes y después.
- Cumplimiento de gestores autorizados (RSES, SEREMI, etc.).
- Consolidado corporativo para informes anuales.

Este sistema da respuesta a brechas detectadas como *“los certificados están dispersos”* y *“no contamos con indicadores por fracción”*.

5.3.4 Gobernanza Interna y matriz RACI

La selección de la matriz RACI como herramienta de gobernanza responde directamente a las brechas identificadas en el diagnóstico, donde se evidenció una falta de claridad respecto a los roles y responsabilidades vinculados a la gestión de residuos. Diversos entrevistados mencionaron que *“cada obra lo hace distinto”* o que *“no existe un responsable formal del proceso”*, lo cual coincide con lo que describe la literatura como un síntoma de sistemas carentes de estructura organizacional formal.

La matriz RACI, ampliamente utilizada en metodologías como PMBOK, Lean Construction e ISO 21500, permite asignar con precisión quién es responsable (R), quién aprueba (A), quién debe ser consultado (C) y quién actúa como soporte (S) en cada actividad. Su aplicación facilita la estandarización operativa, reduce la duplicidad de funciones, mejora la supervisión y entrega una estructura clara para el flujo de decisiones. De este modo, se convierte en la herramienta idónea para abordar la brecha de gobernanza detectada en DUFFCO.

Actividad	Obra	Medioambiente	Prevención	Calidad	Gerente técnico
Segregación diaria	R	S	S	C	C
Control de acopios y señalética	R	S	C	C	C
Registro y trazabilidad	C	R	C	R	S
Control de residuos peligrosos	C	R	S	C	S
Auditorías internas	S	R	S	R	A
Emisión de KPIs	C	R	C	S	A

La asignación de responsabilidades en la matriz RACI se definió a partir de criterios operativos y de gobernanza, derivados directamente del diagnóstico presentado en el Capítulo 4 y de los principios de gestión expuestos en el Capítulo 3. En primer lugar, se priorizó como *Responsable (R)* a aquellos roles con presencia permanente en terreno y capacidad de intervención directa sobre la segregación, el orden de acopios y el registro inicial de información, lo que explica la asignación del rol de Obra en actividades como la segregación diaria y el control de acopios.

En segundo término, se asignó como *Aprobador (A)* a los cargos con responsabilidad jerárquica y facultades para validar resultados y exigir correcciones, particularmente en actividades de auditoría interna y consolidación de indicadores, rol que recae en el Gerente Técnico.

Los roles *Consultados (C)* y de *Soporte (S)* se asignaron a las áreas de Medioambiente, Prevención de Riesgos y Calidad, considerando su función transversal, normativa y de apoyo técnico, pero sin desplazar la responsabilidad operativa desde la línea de obra. Este criterio busca evitar la atomización de responsabilidades detectada en el diagnóstico, asegurando que la gestión de residuos sea liderada desde la operación, con soporte técnico especializado y validación jerárquica clara.

5.3.5. Programa de capacitación y cultura organizacional

Se propone un programa de capacitación basado en:

- Inducción inicial obligatoria para todo trabajador nuevo.
- Taller mensual corto para reforzar segregación y trazabilidad.
- Formación específica para capataces y jefatura.
- Señalética educativa en puntos estratégicos.
- Manual corporativo de gestión de residuos.

Este componente responde a declaraciones de trabajadores como “*no nos han capacitado formalmente*”, confirmando la necesidad de fortalecer la cultura interna.

5.3.6. Indicadores de desempeño (KPIs)

Con el propósito de asegurar el control, seguimiento y mejora continua del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) propuesto, se define un conjunto acotado de

indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators, KPIs). Estos indicadores permiten transformar los principios y procedimientos del plan en información verificable, comparable y útil para la toma de decisiones, en coherencia con el enfoque de trazabilidad y evidencia desarrollado en el Capítulo 3.

La selección de los KPIs se fundamenta en los lineamientos establecidos en la NCh 3562:2019, el Anexo ETG-45 del Ministerio de Obras Públicas y las buenas prácticas internacionales revisadas, las cuales recomiendan utilizar indicadores simples, medibles y directamente asociados a los procesos críticos de segregación, control documental y valorización de residuos.

Los indicadores definidos no se conciben como un sistema de medición de aplicación simultánea e inmediata, sino como un esquema de implementación progresiva, alineado con el nivel de madurez operativa observado en el diagnóstico del Capítulo 4 y con la jerarquía de gestión de residuos descrita en el Capítulo 3. En este sentido, los KPIs se organizan en tres niveles de prioridad, según su función dentro del sistema de gestión.

Con el fin de facilitar la comprensión de este enfoque progresivo, la Figura 5.1. presenta un modelo de madurez de indicadores de desempeño (KPIs), que ilustra la secuencia lógica de incorporación de los distintos niveles de medición propuestos en el plan.



Figura 5.1. Modelo de madurez de indicadores de desempeño (KPIs) para la implementación del Plan de Gestión de RCD. Fuente: Elaboración propia (2025).

El modelo de madurez presentado refuerza que la medición del desempeño en la gestión de RCD debe construirse de manera gradual. En una primera etapa, los KPIs habilitantes aseguran condiciones mínimas de orden, control y trazabilidad; posteriormente, los KPIs de desempeño operativo permiten evaluar la estabilidad del sistema; y finalmente, los KPIs de resultado se incorporan cuando la segregación y la evidencia documental se encuentran consolidadas.

a) KPIs habilitantes del sistema

En una primera etapa, se priorizan indicadores habilitantes, cuya función principal es asegurar condiciones mínimas de orden, control y trazabilidad. Estos indicadores permiten estabilizar el sistema de gestión y generar información básica confiable, sin la cual no es posible evaluar el desempeño posterior.

Se consideran KPIs habilitantes los siguientes:

- Volumen de residuos generados por fracción (ton o m³).
- Cumplimiento documental mensual (existencia de registros, manifiestos y certificados).
- Número de capacitaciones realizadas y porcentaje de asistencia del personal.
- Frecuencia de mezcla de residuos detectada en auditorías internas.

Estos indicadores se vinculan directamente con los principios de segregación en origen, trazabilidad y responsabilidad compartida desarrollados en el marco conceptual. La capacitación del personal se incorpora como un KPI habilitante, dado que la correcta segregación, el registro de información y el cumplimiento de los procedimientos definidos dependen de la comprensión y apropiación del sistema por parte de trabajadores y supervisión.

b) KPIs de desempeño operativo

Una vez consolidadas las condiciones básicas del sistema, se incorporan indicadores orientados a evaluar la eficacia operativa de los procedimientos definidos en el plan. Estos KPIs permiten identificar desviaciones, comparar frentes de trabajo y ajustar la logística interna de manejo de residuos.

En este nivel se consideran, entre otros:

- Porcentaje de segregación efectiva por obra.
- Frecuencia de retiro por fracción.
- Cumplimiento de los layouts de acopio y señalética.

Estos indicadores se alinean con los procedimientos por fracción y con el diseño de acopios y flujos internos, permitiendo evaluar si el sistema funciona de manera consistente en el tiempo y entre distintos frentes de trabajo.

c) KPIs de resultado y valorización

En una etapa posterior, cuando el sistema de segregación y trazabilidad se encuentra estabilizado, se incorporan indicadores de resultado, asociados a los objetivos de valorización y economía circular.

El principal KPI de este nivel corresponde a:

- Porcentaje de valorización de residuos por obra.

Este indicador se relaciona directamente con la jerarquía de gestión de residuos y con los principios de economía circular desarrollados en el Capítulo 3. Su medición confiable requiere previamente una segregación de calidad y una trazabilidad documental consolidada, razón por la cual no se plantea como un indicador prioritario en etapas iniciales del plan.

Función de los KPIs en la mejora continua

El conjunto de indicadores propuesto permite a DUFFCO contar con un sistema de seguimiento escalonado y realista, evitando la sobrecarga operativa en las primeras etapas de implementación. Asimismo, facilita la comparación entre obras, el control interno y la identificación de oportunidades de mejora, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia.

De este modo, los KPIs no solo cumplen una función de control, sino que se integran como una herramienta de gestión alineada con el marco conceptual, el diagnóstico y el diseño del plan, asegurando coherencia metodológica y aplicabilidad operativa de la propuesta desarrollada.

5.3.7. Requisitos técnicos y documentales para gestores autorizados

El plan debe exigir a los gestores:

- Autorización sanitaria vigente.
- Rutas y transporte regulado.
- Manifiestos DS 148 (si aplica).
- Certificados de disposición final.
- Reportes de valorización, cuando corresponda.
- Cumplimiento con estándares de trazabilidad y comunicación.

Este componente responde a brechas como la falta de consolidación documental y la necesidad de asegurar trazabilidad externa.

5.4. Propuesta de piloto para validación del Plan

El Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) propuesto en este capítulo ha sido formulado desde una perspectiva estratégica y metodológica, orientada a establecer una estructura de gestión replicable por DUFFCO en sus distintas obras. Sin embargo, la validación operativa del plan excede el alcance de esta memoria, dado que su implementación requiere recursos, coordinación interna y condiciones de obra que dependen exclusivamente de la empresa.

No obstante, con el fin de asegurar la aplicabilidad y pertinencia del plan en un contexto real de ejecución, se propone una fase de **piloto conceptual**, diseñada para ser implementada en una obra representativa de DUFFCO en caso de que la empresa decida avanzar hacia su ejecución. Esta fase constituye un componente habitual en metodologías de gestión (PMBOK, Lean Construction, ISO 9001), ya que permite verificar la funcionalidad del sistema antes de su estandarización corporativa.

La propuesta de piloto considera las siguientes etapas generales:

1. **Implementación inicial del layout de acopios y señalética estandarizada**, permitiendo evaluar su claridad, usabilidad y ordenamiento en terreno.
2. **Capacitación breve a la cuadrilla y supervisión**, con el propósito de evaluar el nivel de comprensión de los procedimientos y detectar necesidades adicionales de formación.
3. **Aplicación del sistema de trazabilidad documental**, verificando la facilidad de registro, la completitud de la información y la disponibilidad de certificados y fotografías.
4. **Monitoreo semanal mediante auditorías internas**, enfocadas en segregación, orden, acopios y cumplimiento de responsabilidades definidas en la matriz RACI.
5. **Evaluación y ajuste del plan**, incorporando observaciones de trabajadores, supervisores y profesionales, con el fin de adaptar el sistema a la realidad operativa de DUFFCO.

Este piloto tiene como finalidad **validar la factibilidad operativa del plan**, identificar oportunidades de mejora y permitir que DUFFCO tome decisiones informadas respecto de su eventual adopción y estandarización. En ningún caso constituye una fase exigida dentro del

alcance de la presente memoria, sino una **recomendación metodológica** que refuerza la solidez del diseño propuesto y su alineación con prácticas profesionales de gestión de residuos en obras de construcción.

5.5. Estimación del costo del Plan piloto

5.5.1 Propósito y alcance

Con el propósito de dimensionar la factibilidad operativa de la propuesta, se presenta a continuación una estimación referencial de costos para la ejecución de un plan piloto de implementación del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Esta estimación se desarrolla como un orden de magnitud orientado a la toma de decisiones y planificación interna, y no constituye un presupuesto de ejecución definitivo, dado que el presente trabajo no contempla la implementación real del plan ni un levantamiento detallado de precios de mercado.

5.5.2 Supuestos del piloto

Para efectos de esta estimación, se considera un piloto aplicable a una obra tipo de DUFFCO, de duración acotada y con un alcance mínimo viable, orientado a validar procedimientos, roles, trazabilidad documental e indicadores (KPIs). Se asume que el piloto se ejecuta utilizando recursos internos disponibles (supervisión y administración de obra), complementados por elementos de apoyo tales como señalética, contenedores diferenciados y material de capacitación.

La estimación incluye costos directos asociados a habilitación, control y seguimiento del piloto. Se excluyen costos propios del proceso constructivo de la obra, costos de disposición final de

residuos que ya existirían sin el plan, y eventuales inversiones mayores en infraestructura permanente, por no corresponder al alcance del piloto.

5.5.3 Desglose de costos del piloto

El costo del plan piloto se desagrega en función de los principales componentes operativos definidos en el diseño del Plan de Gestión de RCD, considerando exclusivamente aquellos elementos necesarios para habilitar, controlar y evaluar su implementación inicial. El desglose presentado busca reflejar la relación directa entre las medidas propuestas, las brechas identificadas en el diagnóstico y los recursos mínimos requeridos para su puesta en marcha.

Ítem	Descripción	Cantidad (referencial)	Costo unitario (CLP)	Subtotal (CLP)
Señalética y demarcación	Letreros por fracción + demarcación zonas acopio	1 set	\$250.000	\$ 250.000
Material de apoyo en obra	Impresiones, planillas, checklists, hojas control	1 set	\$ 80.000	\$ 80.000
Contenedores diferenciados	Big-bags / contenedores por fracción (arriendo/compra inicial)	6–8 unid	\$ 60.000	\$ 420.000
Implementación y ordenamiento inicial	Jornada habilitación (capataz + apoyo)	1 jornada	\$120.000	\$ 120.000
Capacitación inicial	Inducción (supervisión + cuadrillas) + material	1 sesión	\$180.000	\$ 180.000
Gestión documental del piloto	Consolidación mensual de registros y evidencias	1 mes	\$250.000	\$ 250.000
Auditoría interna / seguimiento	2 inspecciones + informe de hallazgos	2 visitas	\$120.000	\$ 240.000
Coordinación con gestor autorizado	Revisión requisitos + reporte/certificados	1 set	\$ 80.000	\$ 80.000
Total estimado piloto				\$ 1.620.000

Tabla 5.1. Tabla de costos estimados del Plan Piloto de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición. Fuente: Elaboración propia (2025)

Considerando los componentes descritos, el costo total estimado del piloto se sitúa en un orden de magnitud bajo a medio, correspondiente aproximadamente a \$1.620.000, dependiendo del tamaño de la obra piloto, la duración del período de prueba y la disponibilidad de recursos internos.

a) Costos de habilitación en terreno

Los costos asociados a la habilitación en terreno consideran la incorporación de señalética y demarcación básica para la segregación en origen y la definición de zonas de acopio diferenciadas. Este componente responde directamente a las brechas identificadas en el diagnóstico respecto del orden en obra y la gestión reactiva de acopios, y constituye un habilitador físico esencial para la correcta implementación de los procedimientos definidos en el plan.

b) Costos de contenedores y segregación

El piloto contempla la disponibilidad de contenedores diferenciados por fracción, ya sea mediante arriendo o adquisición inicial, como condición mínima para evitar la mezcla de residuos y permitir la trazabilidad por tipo. Este costo se considera incremental al escenario base de la obra y se justifica por su impacto directo en la segregación en origen y en la posterior valorización de residuos, aspectos centrales del plan propuesto.

c) Costos de capacitación e inducción

La capacitación inicial del personal se incorpora como un componente específico del piloto, considerando que la correcta aplicación de los procedimientos, el registro de información y el cumplimiento de la segregación dependen de la comprensión y apropiación del sistema por parte de trabajadores y supervisión. Este costo se alinea con el enfoque de fortalecimiento de la cultura organizacional desarrollado en el plan y responde a la brecha identificada en el diagnóstico en materia de capacitación sistemática.

d) Costos de gestión documental y trazabilidad

El componente de gestión documental considera el tiempo y los recursos necesarios para consolidar registros, respaldos y certificados asociados a la gestión de residuos durante el piloto. Este ítem permite materializar el enfoque de trazabilidad propuesto, habilitando la generación de evidencia verificable y el seguimiento mediante indicadores de desempeño, en coherencia con los requisitos normativos y contractuales analizados.

e) Costos de seguimiento y auditoría interna

Finalmente, se incorporan costos asociados al seguimiento y auditoría interna del piloto, orientados a verificar el cumplimiento de los procedimientos definidos, detectar desviaciones y levantar oportunidades de mejora. Este componente resulta clave para evaluar el funcionamiento del plan en una etapa temprana y para retroalimentar su eventual escalamiento a otras obras de la empresa.

Con el fin de integrar y sintetizar los componentes de costo asociados al Plan Piloto de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición, se elabora una tabla resumen que presenta una estimación de orden de magnitud de los recursos requeridos para su implementación inicial.

Esta síntesis permite visualizar de manera conjunta los principales ítems de costo, diferenciando entre costos directos e indirectos, así como entre costos únicos y recurrentes, facilitando su análisis desde una perspectiva de gestión y toma de decisiones.

La estimación presentada no corresponde a un presupuesto detallado, sino a una aproximación referencial orientada a evaluar la factibilidad operativa del piloto, considerando las brechas identificadas en el diagnóstico y el alcance acotado de la fase de validación propuesta.

Ítem	Descripción	Tipo de costo	Orden de magnitud
Habilitación en terreno	Señalética, demarcación	Directo – único	Bajo
Contenedores	Arriendo/adaptación	Directo – recurrente	Medio
Capacitación	Inducción y talleres	Directo – único	Bajo
Gestión documental	Horas administrativas	Indirecto	Bajo
Seguimiento/auditoría	Horas supervisión	Indirecto	Bajo

Tabla 5.2. Resumen estimativo de costos del Plan Piloto de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición. Fuente: Elaboración propia (2025)

En conjunto, el desglose de costos presentado refleja que la mayor parte del esfuerzo económico del piloto se concentra en habilitar condiciones de orden, control y trazabilidad, más que en inversiones de infraestructura permanente. Esto refuerza el carácter aplicado y gradual de la

propuesta, orientada a validar procedimientos y capacidades organizacionales antes de una eventual implementación a mayor escala

Desde una perspectiva de gestión, el costo asociado al plan piloto se caracteriza por ser acotado, controlable y mayoritariamente reversible, lo que permite a la empresa evaluar la efectividad del sistema propuesto sin comprometer recursos estructurales relevantes. El esfuerzo económico se orienta principalmente a habilitar condiciones de orden, segregación, trazabilidad y control, elementos que actualmente generan ineficiencias no visibles ni medidas en la operación.

En este sentido, el piloto puede entenderse como una inversión en información y capacidad de gestión, cuyo valor no radica únicamente en los resultados inmediatos de valorización de residuos, sino en la posibilidad de contar con evidencia operativa para la toma de decisiones futuras, la estandarización de prácticas y la reducción de riesgos operativos y normativos.

5.6. Beneficios esperados de la implementación del Plan

La implementación futura del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) propuesto permitiría a DUFFCO avanzar hacia un modelo de gestión más eficiente, trazable y alineado con las exigencias normativas establecidas por la NCh 3562:2019, el Anexo ETG-45 del MOP y los principios de la economía circular. Si bien el presente trabajo se limita al diseño del plan y no contempla su ejecución ni validación operativa, es posible anticipar una serie de beneficios esperados derivados de su aplicación progresiva en las obras de la empresa.

En primer lugar, se proyecta una **mejora significativa en la segregación en origen**, reduciendo la mezcla de fracciones y aumentando el orden en los frentes de trabajo. Esto permitiría fortalecer la valorización de residuos como hormigón, metales y madera, disminuyendo la

cantidad de residuos enviados a disposición final y contribuyendo a prácticas más sostenibles dentro de la industria.

En segundo término, el plan favorecería una **reducción de costos operacionales**, especialmente en lo relacionado con transporte, manipulación y gestión externa de residuos. La estandarización de acopios, la incorporación de señalética y la asignación clara de responsabilidades mediante la matriz RACI permitirían disminuir tiempos improductivos y mejorar la eficiencia de los equipos en obra.

Un tercer beneficio corresponde al **cumplimiento normativo verificable**, ya que la propuesta establece los elementos necesarios para que DUFFCO cuente con registros completos, actualizados y auditables. La implementación de un sistema de trazabilidad documental consolidado permitiría responder adecuadamente a los requerimientos de inspecciones, auditorías o procesos administrativos asociados a obras públicas.

Asimismo, la incorporación de **indicadores de desempeño (KPIs)** facilitaría la evaluación continua del sistema, permitiendo a la empresa identificar desviaciones, medir avances y establecer metas internas progresivas. Esto crea una base sólida para procesos de mejora continua y para la toma de decisiones basada en datos.

Otro beneficio esperado es el fortalecimiento de la **cultura organizacional**. La capacitación sistemática, la señalética educativa y la claridad de roles contribuirían a que trabajadores y supervisión asuman una participación en la gestión de residuos, reforzando prácticas seguras, ordenadas y ambientalmente responsables.

Finalmente, la propuesta permitiría a DUFFCO **contar con un marco corporativo replicable en todas sus obras**, estandarizando criterios operativos y reduciendo la variabilidad observada en el diagnóstico. Este carácter replicable favorece la escalabilidad del sistema y posiciona a la empresa en una mejor situación frente a futuras exigencias regulatorias o contractuales vinculadas al manejo de residuos en infraestructura pública.

En conjunto, estos beneficios proyectan que la implementación del plan no solo contribuiría al cumplimiento ambiental, sino también a una operación más eficiente, segura y alineada con los estándares actuales de la industria de la construcción.

Con el fin de sintetizar de manera integrada los beneficios esperados de la implementación del Plan de Gestión de RCD, se presenta a continuación una evaluación cualitativa del escenario esperado de desempeño. Esta visualización permite comparar, a nivel de dimensiones clave, la situación diagnosticada con el estado esperado tras la aplicación del plan, reforzando la coherencia entre el diagnóstico, la propuesta y los beneficios proyectados.

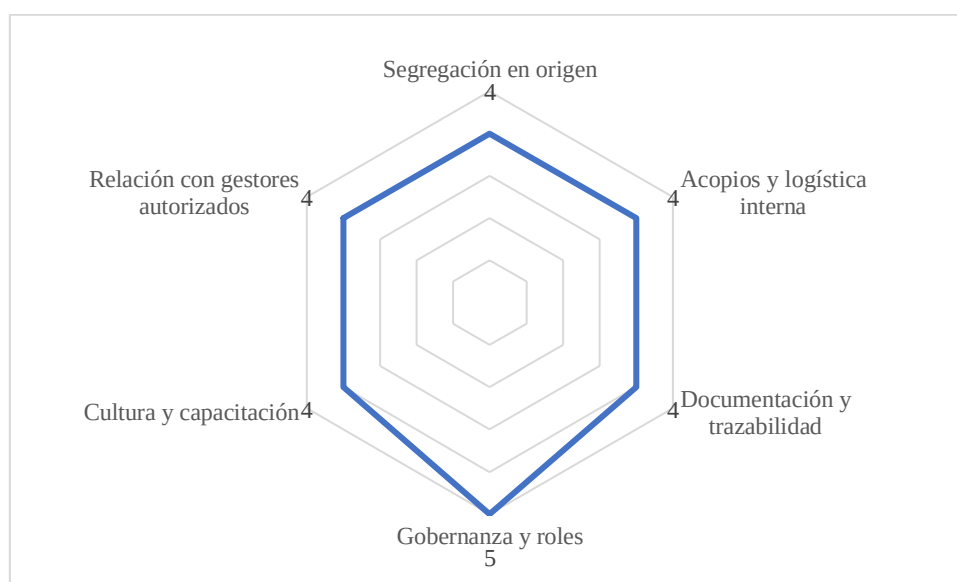


Figura 5.2. Escenario esperado de desempeño de la gestión de RCD tras la implementación del Plan (escala 1–5).

Los puntajes asignados al escenario esperado reflejan una proyección cualitativa del desempeño de la gestión de RCD una vez implementado y estabilizado el Plan propuesto. Estos valores se definieron considerando el alcance de las medidas planteadas, su factibilidad operativa y el grado de control que la organización puede ejercer sobre cada dimensión.

En particular, se asignan valores altos (4) a aquellas dimensiones directamente abordadas mediante procedimientos estandarizados, layouts, sistemas de registro y programas de capacitación, reconociendo que la realidad operativa de las obras impone ciertas limitaciones. En el caso de la gobernanza y definición de roles, se asigna el puntaje máximo (5), dado que la implementación de la matriz RACI depende principalmente de decisiones internas de gestión y no de condicionantes técnicas externas.

CÁPITULO 6

6.CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente memoria permitió analizar, desde un enfoque aplicado, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en la empresa DUFFCO, considerando tanto sus prácticas operativas reales como el marco conceptual y normativo vigente. A partir del diagnóstico realizado y de la propuesta de Plan de Gestión de RCD diseñada, es posible extraer las siguientes conclusiones, las cuales integran los principales resultados cualitativos y cuantitativos del trabajo y permiten verificar el cumplimiento de los objetivos planteados y la respuesta a la problemática definida.

6.1. Cumplimiento de los objetivos específicos

6.1.1. Caracterizar el contexto operativo de DUFFCO

El primer objetivo específico, orientado a caracterizar el contexto operativo de DUFFCO y los puntos de generación de RCD, se cumple plenamente. La caracterización del portafolio confirmó la predominancia de obras viales y la presencia de obras de borde costero con restricciones logísticas y ambientales más exigentes.

Desde la evidencia levantada en terreno (entrevistas y observación), se verificó que la generación y manejo de residuos varía por frente de trabajo y depende del criterio de cuadrillas y supervisión, lo que introduce variabilidad no controlada en segregación, acopios y registros. Esta condición es operativamente relevante, dado que impide estandarizar rutinas mínimas y dificulta comparar desempeño entre obras, afectando la continuidad operativa y la eficiencia del manejo de residuos.

6.1.2. Analizar el marco conceptual y normativo aplicable

El segundo objetivo específico se cumple, al sintetizar los requisitos normativos y traducirlos en criterios operativos observables para obra. La revisión de la NCh 3562:2019 y del Anexo ETG-45 permitió identificar componentes mínimos exigibles (segregación en origen, layouts de acopio, trazabilidad y responsabilidades), utilizables como estándar de verificación interna.

En términos de aporte a la gestión, el análisis permitió distinguir entre cumplimiento formal (existencia de documentos) y cumplimiento verificable (uso sistemático de registros para control y mejora), estableciendo un marco coherente para evaluar brechas y diseñar medidas aplicables en el contexto real de DUFFCO.

6.1.3. Diagnosticar la gestión actual de RCD en DUFFCO

El diagnóstico permitió identificar brechas estructurales en seis dimensiones. La triangulación entre entrevistas, observación y revisión documental confirmó que las debilidades críticas no se explican por ausencia de normativa, sino por falta de estandarización operativa, dispersión de información y gobernanza fragmentada.

En particular, la segregación inconsistente y los acopios reactivos operan como factores que aumentan contaminación cruzada y reducen el potencial de valorización. La documentación existente, al no consolidarse ni transformarse en indicadores, limita la toma de decisiones basada en evidencia y mantiene una lógica de gestión principalmente reactiva.

6.1.4. Diseñar una propuesta de Plan de Gestión de RCD

El cuarto objetivo específico se cumple mediante el diseño de un plan estructurado y coherente con las brechas priorizadas. La propuesta integra procedimientos por fracción, layouts, trazabilidad documental, gobernanza mediante matriz RACI, capacitación y KPIs escalonados.

Un aspecto crítico del diseño es que los indicadores se organizan por madurez del sistema: primero habilitantes (orden, registro, capacitación), luego desempeño operativo (segregación efectiva, logística), y finalmente resultados (valorización). Esta secuencia reduce el riesgo de

sobrecarga administrativa inicial y permite construir capacidad de control antes de exigir metas de valorización.

6.2. Cumplimiento del objetivo general

El objetivo general de la memoria, consistente en **desarrollar una propuesta de Plan de Gestión de RCD para DUFFCO que permita optimizar el manejo de estos residuos y contribuir al cumplimiento normativo, se considera cumplido.**

La propuesta elaborada no se limita a una descripción normativa, sino que traduce los requisitos legales y las buenas prácticas en un sistema operativo aplicable a las condiciones reales de la empresa. Desde una perspectiva de Ingeniería Comercial, el plan propuesto contribuye a ordenar procesos, clarificar responsabilidades, mejorar el uso de información y apoyar la toma de decisiones, integrando la gestión de residuos como un componente relevante de la operación.

6.3. Respuesta a la problemática planteada

La problemática inicial de la investigación planteó que las dificultades de DUFFCO en la gestión de residuos de construcción y demolición no se explicaban por la ausencia de normativa vigente ni por la inexistencia de gestores autorizados, sino por brechas estructurales en la forma en que los residuos eran gestionados a nivel operativo, documental y organizacional.

A partir del diagnóstico desarrollado y de la propuesta formulada, se concluye que dicha problemática es efectivamente validada. La evidencia levantada mediante entrevistas, observación en terreno y revisión documental confirma que la falta de estandarización de prácticas, la ausencia de un sistema de trazabilidad integrada y la inexistencia de una estructura clara de gobernanza generan una gestión fragmentada y predominantemente reactiva de los RCD.

Estas brechas limitan la eficiencia operativa al generar variabilidad no controlada entre frentes de trabajo, dificultan la valorización efectiva de los residuos debido a la contaminación cruzada de fracciones, y restringen la capacidad de la empresa para demostrar un cumplimiento normativo verificable y comparable entre obras. En este contexto, la gestión de residuos tiende a resolverse como una obligación administrativa puntual, más que como un proceso sistemático de apoyo a la operación.

Asimismo, se concluye que un Plan de Gestión de RCD diseñado sobre la base de evidencia empírica, con procedimientos simples, roles claramente definidos y un sistema de indicadores escalonados según el nivel de madurez del sistema, constituye una respuesta adecuada y viable para abordar las brechas identificadas. La estructura propuesta permite avanzar desde condiciones habilitantes de orden y registro hacia un control operativo progresivo, sin introducir sobrecarga administrativa ni riesgos para la continuidad de la operación.

6.4. Conclusión integradora

En términos generales, la presente memoria demuestra que la gestión de residuos de construcción y demolición puede ser abordada de manera efectiva como un problema de gestión organizacional y operativa, más que exclusivamente como una exigencia ambiental o normativa. Desde esta perspectiva, el manejo de RCD se configura como un proceso transversal que incide en la eficiencia, el control, la trazabilidad y la toma de decisiones en obra.

El principal aporte del trabajo radica en la traducción de un diagnóstico basado en evidencia empírica en una propuesta de Plan de Gestión de RCD estructurada, coherente y aplicable al contexto real de DUFFCO. La propuesta integra criterios normativos, herramientas de gestión y prácticas operativas, permitiendo transformar obligaciones formales en un sistema de control

verificable y orientado a la mejora continua, en línea con los principios de la Ingeniería Comercial.

No obstante, se reconoce como una limitación del estudio la ausencia de una línea base cuantitativa consolidada por fracción de residuo, lo que impide estimar con precisión impactos económicos o tasas de valorización previas a una eventual implementación. Esta limitación refuerza la necesidad de una etapa de validación práctica antes de la estandarización del plan a nivel corporativo.

En este sentido, se plantea como proyección la implementación de un piloto en obra representativa, orientado a validar la aplicabilidad operativa del plan, ajustar procedimientos y consolidar los indicadores habilitantes definidos. La ejecución de esta etapa permitiría fortalecer los procesos de mejora continua y avanzar progresivamente hacia una gestión de RCD más eficiente, trazable y sostenible, manteniendo coherencia con los objetivos planteados y con la problemática abordada en la presente investigación.

Bibliografía

- Idana, J. C., & Serpell, A. (2012). Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis. *Revista de la Construcción*, 11(2), 4-16. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200002>
- Ajayi, S. O., & Oyedele, L. O. (2018). Waste-efficient materials procurement for construction projects: A structural equation modelling of critical success factors. *Waste Management*, 75, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.025>
- Aslam, M. S., Huang, B., & Cui, L. (2020). Review of construction and demolition waste management in China and USA. *Journal of Environmental Management*, 264, 110445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110445>
- Chile. (2016). Ley N.º 20.920: Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>
- Construye2025. (2022). Caracterización de residuos de la construcción: casos internacionales y avances a nivel nacional. <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Caracterizacion-de-residuos-de-la-Construccion-casos-internacionales-y-avances-a-nivel-nacional.pdf>
- Construye2025. (2024, julio). Memoria trianual 2021-2024. <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2024/07/Memoria-Trianual-FINAL.pdf>

- European Commission. (2024). Construction and demolition waste. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en
- European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. (2024). EU construction & demolition waste management protocol (Updated edition 2024). <https://doi.org/10.2873/77980>
- European Commission, Joint Research Centre. (2024). Techno-economic and environmental assessment of construction & demolition waste management in the European Union (EUR 31784 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/721895>
- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- Han, S., Park, D.-W., & Jeong, J.-H. (2019). Laboratory performance of hot-mix asphalt with high RAP content. *Applied Sciences*, 9(16), 3281. <https://doi.org/10.3390/app9163281>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation & Recycling*, 129, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2019). NCh 3562:2019 Gestión de residuos2Residuos de construcción y demolición (RCD) Clasificación y directrices para el plan de gestión. <https://ecommerce.inn.cl/nch3562201961058>

- Jahangiri, B., Majidifard, H., Meister, J., & Buttlar, W. G. (2019). Performance evaluation of asphalt mixtures with reclaimed asphalt pavement and recycled asphalt shingles in Missouri. *Transportation Research Record*, 2673(2), 392-403. <https://doi.org/10.1177/0361198119825638>
- Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with 3R strategies: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>
- Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
- Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Aeropuertos. (2025, enero). Anexo N.º 1 - ETG-45: Plan de gestión de residuos en obra (versión 01). <https://aeropuertos.mop.gob.cl/uploads/sites/10/2025/01/Anexo-N%C2%B01-ETG-45-Plan-de-Gestion-de-Residuos-en-Obra.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Aeropuertos. (2025). ETGA-45: Especificaciones Técnicas Generales Ambientales (Obras de Infraestructura Aeroportuaria). <https://aeropuertos.mop.gob.cl/uploads/sites/10/2025/01/ETGA-45-Especificaciones-Tecnicas-Generales-Ambientales.pdf>
- Ministerio de Salud (Chile). (1999). Decreto Supremo N.º 594/1999: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766>

- Ministerio de Salud (Chile). (2003). Decreto Supremo N.º 148/2003: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=226458>
- Ministerio de Salud (Chile). (2005). Decreto Supremo N.º 189/2005: Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública (Chile). (2006). Decreto con Fuerza de Ley N.º 1-2006: Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley N.º 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=251693>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2019). Decreto Exento N.º 37 que aprueba y declara oficial la NCh 3562:2019. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1136693>
- Papamichael, I., Briga-Sá, A., & Magalhães, A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research*, 41(12), 1728-1740. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>
- Papamichael, I., Giama, E., Michailidis, A., Emmanouil, C., & Papadopoulos, A. M. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy A review. *Sustainability*, 15(10), 8228. <https://doi.org/10.3390/su15108228>
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2012). Decreto Supremo N.º 40/2012: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563>

- Turkyilmaz, A., Güney, M., Karaca, F., Bagdatkyzy, Z., Sandybayeva, A., & Sirenova, G. (2019). A comprehensive construction and demolition waste management model using PESTEL and 3R for construction companies operating in Central Asia. *Sustainability*, 11(6), 1593. <https://doi.org/10.3390/su11061593>
- Wahlström, M., Hradil, P., zu Castell-Rüdenhausen, M., Bergmans, J., van Cauwenberghe, L., Van Belle, Y., Sičáková, A., Struková, Z., & Li, J. (2019). Pre-demolition audit overall guidance document: PARADE. Best practices for pre-demolition audits ensuring high quality raw materials. EIT RawMaterials. https://cris.vtt.fi/files/27438769/EIT_RM_PARADE_Predemolition_audit_overall_guidance_document_Final_2019.pdf
- Zhang, C., Hu, M., Yang, X., Miranda-Xicotencatl, B., Sprecher, B., Di Maio, F., Zhong, X., & Tukker, A. (2020). Upgrading construction and demolition waste management from downcycling to recycling in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121718>

