

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO - CHILE



**ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EDIFICACIONES EN
ALTURA**

GEORGE ANDREW LACKEY RAMÍREZ

Memoria para optar al Título de
Constructor Civil

Profesor Guía
Luis Salazar Fica

2025



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: Estudio comparativo sobre la gestión de residuos de construcción y demolición en edificaciones en altura

Nombre del candidato(a): George Andrew Lackey Ramírez

Carrera / Grado: Construcción Civil

Campus: Casa Central **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Luis Salazar Fica, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) 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: 28/11/2025 **Firma:** _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28/11/2025 **Firma:** _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi madre y a mi padre, por darme la educación y todas las herramientas necesarias para terminar mis estudios. A mi hermano por guiarme y apoyarme. A mi hijo por darme fuerzas de seguir siendo mejor siempre. Agradezco a mi pareja y a mis amigos, por estar siempre presentes y darme esas palabras de apoyo de seguir adelante y que pronto terminaría.

También quisiera agradecer a mi profesor guía por estar siempre presente en este proceso y de darme las herramientas necesarias para realizar este trabajo. Siempre estuvo disponible cuando lo necesité para desarrollar el estudio de la mejor forma.

Agradezco a todas esas personas que me guiaron o me apoyaron de alguna forma para terminar este proceso.

Índice general

Glosario	6
Resumen	8
Abstract	9
1 Introducción.....	10
2 Objetivo General y Objetivos Específicos	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 Revisión de literatura	13
3.1 Historia de la Economía Circular	13
3.2 Economía Circular.....	14
3.3 Residuos de Construcción y Demolición.....	16
4 Metodología de investigación.....	23
4.1 Iniciativas de gestión de residuos en la construcción	25
4.2 Normativa	26
4.3 Procesos Constructivos	28
4.3.1 Procesos Constructivos Obra Gruesa y Terminaciones de las Edificaciones con y sin gestión de residuos	28
4.4 Recursos: materiales, mano de obra, herramientas y maquinaria	37
4.4.1 Recursos de la Edificación sin gestión de residuos	37
4.4.2 Recursos de la Edificación con gestión de residuos	38
4.5 Residuos.....	39
4.6 Planta de revalorización de residuos	41
5 Resultados	42
6 Discusión.....	47
7 Conclusiones.....	50
8 Bibliografía.....	53

Índice de tablas

Tabla 3.1. Principales residuos generados clasificados según LER	17
Tabla 3.2. Residuos generados totales e indicador de generación de residuos por metros cuadrados.....	20
Tabla 4.1. Etapas de los procesos constructivos de muros de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	28
Tabla 4.2. Etapas de los procesos constructivos de vigas de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	30
Tabla 4.3. Etapas de los procesos constructivos de pilares y machones de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	31
Tabla 4.4. Etapas de los procesos constructivos de losas de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	32
Tabla 4.5. Etapas de los procesos constructivos de tabiquería de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	33
Tabla 4.6. Etapas de los procesos constructivos de revestimiento de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	34
Tabla 4.7. Etapas de los procesos constructivos de pavimentos de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	35
Tabla 4.8. Etapas de los procesos constructivos de guardapolvos de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.....	36
Tabla 4.9. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación sin gestión de residuos.....	37
Tabla 4.10. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos Terminaciones de la Edificación sin gestión de residuos.....	37
Tabla 4.11. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación con gestión de residuos.....	38
Tabla 4.12. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos Terminaciones de la Edificación con gestión de residuos.....	38
Tabla 4.13. Cantidades de residuos y costo de retiro en camiones por m ³ mensuales de la Edificación sin gestión de residuos.....	39
Tabla 4.14. Cantidades de residuos y costo de retiro en camiones por m ³ mensuales de la Edificación con gestión de residuos.....	40
Tabla 5.1. Partidas de Obra gruesa y Terminaciones de Edificación sin gestión de RCD. .	43
Tabla 5.2. Partidas de Obra gruesa y Terminaciones de Edificación con gestión de RCD. .	44
Tabla 5.3. Cantidad de camiones, Periodo y Costo de retiro de RCD de ambas Edificaciones.	45
Tabla 5.4. Residuos y valores totales de etapas de Obra gruesa y Terminaciones de la Edificación con gestión de residuos.....	46
Tabla 5.5. Residuos y valores totales de etapas de Obra gruesa y Terminaciones de la Edificación sin gestión de residuos.....	46

Índice de figuras

Figura 3.1. Comparación de porcentajes de RCD reciclado y eliminado, en países europeos y asiáticos.	18
Figura 3.2. Generación estimada de RCD por edificaciones, por región.....	19
Figura 3.3. Jerarquía de residuos.	21
Figura 4.1. Diagrama de flujo de metodología de investigación.	25
Figura 5.2. Gráfico de volumen de residuos mezclados [m ³] por mes.	44
Figura 5.3. Gráfico de volumen de residuos mezclados [m ³] por mes.	45

Glosario

Adherencia: Unión física, pegadura de cosas.

Aislación: Capaz de aislar del frío y calor, también del ruido interior o exterior.

Arriostrar: Estructura de sujeción y equilibrio en la construcción de edificaciones (estructuras metálicas o de madera).

Bituminoso: Que contiene betún, derivado del alquitrán utilizado en productos o materiales que se requiere conseguir impermeabilización.

Cambio climático: Cambio a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana.

Cuantificar: Expresar numéricamente una magnitud de algo.

Confinar: Encerrar dentro de los límites.

Descimbrar: Desarmar el moldaje una vez fraguado parcialmente el hormigón.

Disponer: Colocar o poner algo en orden y situación conveniente.

Economía circular: Es el modelo sostenible que se basa en reducir, reutilizar y reciclar, se fundamenta en producir con el menor impacto medioambiental posible, es decir, tiene en cuenta que su producción deje la menor huella en el planeta.

Economía lineal: Es el modelo tradicional donde para fabricar productos se extraen materias primas, se produce y luego se desecha, sin tener en cuenta la huella ambiental y sus consecuencias. Este modelo prioriza el beneficio económico, evitando la sostenibilidad.

Ecosistema: Sistema ecológico constituido por un medio y todos los seres vivos que habitan en él.

Gases de efecto invernadero: Gases presentes en la atmósfera que capturan energía y calientan la superficie de la tierra.

Huella de carbono: Indicador ambiental que refleja la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización o producto.

Inerte: Inactivo o incapaz de reacción.

Mampostería: Procedimiento de construcción que se unen piedras con argamasa sin ningún tipo de orden de hiladas o tamaños.

Medio ambiente: Conjunto de componentes físicos, químicos y biológicos externos con los que interactúan los seres vivos.

MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Napa subterránea: Es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a una escasa profundidad del nivel del suelo.

RCD: Residuos de Construcción y Demolición.

Reciclar: Someter un material usado a un proceso para que se vuelva a utilizar.

Recurso natural: Conjunto de los componentes de la naturaleza susceptibles de ser aprovechados por el ser humano para la satisfacción de ciertas necesidades.

Reutilizar: Volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines.

Revalorizar: Es el aumento del valor de algo o devolución de la estimación que había perdido.

Rugosidad: Conjunto de irregularidades que posee una superficie.

Segregación: Separar o apartar algo o a alguien de otra y otras cosas.

Sostenibilidad: Es el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Vertedero: Lugar donde se vierte basura, residuos o escombros, generalmente situado a las afueras de la población.

Resumen

La construcción en Chile genera aproximadamente el 35% de los residuos totales. Una gestión eficiente de estos permitiría disminuir el impacto medioambiental y social de la industria. Esta investigación es un estudio de caso que utiliza una metodología cuantitativa centrada en la recolección y análisis de datos estadísticos, obtenidos en terreno específicamente de dos proyectos de edificación en altura en la región de Valparaíso, Chile. Uno de ellos implementó un sistema de gestión de residuos, mientras que el segundo proyecto carecía de él. Los resultados apuntan que el proyecto que gestionó residuos de construcción y demolición (RCD), logró revalorizar el 75% de sus desechos, con un factor de $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2$, construido, pero a un costo mayor en comparación con el proyecto sin gestión, que registró un índice de $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ construido, pero que destinaba sus residuos en vertederos de ubicación y legalidad desconocida. Revalorizar reduce el consumo de recursos naturales y disminuye residuos, mejorando la calidad de vida de la población, pero a un costo económico mayor. Se espera que a futuro se implemente procesos constructivos y tecnologías que facilite la revalorización de residuos de construcción.

Abstract

Construction in Chile generates approximately 35% of total waste. Efficient waste management would reduce the environmental and social impact of industry. This research is a case study that uses a quantitative methodology focused on the collection and analysis of statistical data, obtained on-site specifically from two high-rise building projects in the Valparaíso region, Chile. One of them implemented a waste management system, while the second project lacked one. The results indicate that the project that managed construction and demolition waste (CDW) managed to valorize 75% of its waste, with a factor of 0.16 m³/m², but at a cost higher compared to the project without management, which registered a rate of 0.20 m³/m² built, but which disposed of its waste in landfills of unknown location and legality. Revaluation reduces the consumption of natural resources and decreases waste, improving the quality of life of the population, but at a higher economic cost. It is expected that in the future construction processes and technologies will be implemented that will facilitate the revaluation of construction waste.

1 Introducción

El modelo económico lineal de extraer, producir, usar y desechar recursos ha demostrado ser insostenible desde el punto de vista económico y ambiental. En base a este problema, la implementación de la economía circular proporciona un sistema de producción y consumo con un modelo de flujo cíclico, promoviendo la reutilización, renovación, reparación y mejora de productos, componentes y materiales, extendiendo su vida útil y reduciendo el impacto ambiental (Korhonen et al., 2018). Esta perspectiva resulta ser importante en el sector de la construcción que es uno de los mayores generadores de residuos a nivel global. Incorporar principios de economía circular en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) es una oportunidad para conservar recursos naturales, reducir volumen de residuos y avanzar hacia un modelo económico sostenible.

En este contexto, es preocupante la situación en el rubro de la construcción en diversas regiones del mundo. En Europa, el sector de la construcción produce 820 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) cada año, lo que supone alrededor del 46% de la cantidad total de residuos generados (Gálvez-Martos et al., 2018), impactando a nivel ambiental, económico y social. La composición media de los RCD muestra que hasta el 85% de los residuos son hormigón, cerámica y mampostería, aunque los RCD pueden ser heterogéneos dependiendo del origen, y pueden contener grandes cantidades de madera y yeso cartón (Gálvez-Martos et al., 2018).

En Chile, el 35% de los residuos sólidos proviene de la construcción y demolición, actualmente esta cifra sobrepasa los 7 millones de toneladas de residuos, en el sector, por cada m² construido, se generan de 0,27 m³ de desechos, siendo casi del doble que en un país desarrollado que genera 0,14 m³/m² en edificaciones habitacionales (MINVU, 2019). Respecto a la región de Valparaíso, es la segunda región que más genera RCD en el país, con un promedio anual de 700 mil toneladas de residuos. Estas cantidades de residuos reflejan la baja eficiencia en procesos constructivos, mala gestión y baja valorización de residuos, se justifica la necesidad de investigar y mejorar las estrategias para gestionar RCD.

Las consecuencias de la generación de RCD son varias e importantes, provocan la contaminación y degradación de la tierra, agua y aire, afectando ecosistemas completos. La generación de grandes volúmenes de RCD, implica el consumo excesivo de recursos naturales, produciendo explotación y agotamiento de estos mismos, generando emisiones de carbono (huella de carbono) que afectan negativamente en el medioambiente (Kabirifar et al., 2020). La disposición final de residuos de construcción, a menudo en vertederos ilegales, tiene un impacto significativo para la sociedad. Estas prácticas no solo liberan sustancias tóxicas que puede generar problemas de salud a corto o largo plazo, sino que también deterioran el paisaje, el suelo y la calidad de vida de la población. Económicamente, al generar grandes cantidades de residuos que deben trasladarse, se ve afectada la productividad y costos de una empresa, considerando que se ocupan recursos en mano de obra, materiales, residuos, energía y transporte (Kabirifar et al., 2020).

Dado el contexto anterior, este estudio tiene como objetivo valorar la influencia de los procesos constructivos en la gestión de RCD realizando un análisis comparativo entre un proyecto de construcción que implementa un plan de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) y otro que no lo hace. Este enfoque permite identificar los beneficios, limitaciones y diferencias entre ambos proyectos, la comparación entrega evidencia empírica del impacto que tiene una adecuada gestión de RCD, sobre reducción de residuos, eficiencia de recursos, costos asociados y permite establecer prácticas constructivas eficientes en términos de sostenibilidad. Los resultados de este estudio contribuyen a la implementación de la economía circular en la construcción, proporcionando información que promueve la valorización de residuos, la conservación de recursos naturales y el cambio hacia modelos constructivos sostenibles.

2 Objetivo General y Objetivos Específicos

2.1 Objetivo General

Medir cuantitativamente la influencia de los procesos constructivos en la generación y gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), por medio de la aplicación de los principios de la economía circular, comparando un proyecto de construcción en edificación en altura que aplica un plan de gestión de RCD con un proyecto que no aplica un plan de gestión de RCD en la región de Valparaíso, Chile.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar la gestión de residuos de construcción y demolición de dos proyectos de edificación en altura en Chile, uno que cuente con un plan de gestión de RCD y otro que no.
- Evaluar la influencia de los procesos constructivos de Obra Gruesa y Terminaciones en la generación y gestión de RCD, determinando las partidas que más contribuyen a la generación de residuos.
- Proponer recomendaciones para la eficiencia de procesos constructivos que disminuyan la generación de residuos en proyectos en edificación en altura, alineadas con los principios de la economía circular, que sean aplicables en la región y el país.

3 Revisión de literatura

Con la finalidad de sustentar el estudio y comprender en profundidad su problemática sobre la generación y gestión de residuos, se hará referencia a información necesaria para conocer el contexto del origen y los principios de la economía. Luego se analiza la problemática de los residuos de construcción y demolición, abordando su composición, impactos y desafíos de gestión. Finalmente se examinará sobre la normativa vigente en Chile y las principales iniciativas sectoriales orientadas a promover prácticas sostenibles en el rubro. Esta revisión permitirá contextualizar el análisis comparativo desarrollado en los siguientes capítulos.

3.1 Historia de la Economía Circular

Actualmente no existen pruebas de un solo origen o creador del concepto de economía circular (EC), se sabe que existen colaboradores que formaron la idea de la EC, entre ellos el profesor estadounidense John Lyle, quien introdujo ideas relacionadas con el uso racional de recursos renovables, su alumno William McDonough, arquitecto que junto con el químico Michael Braungart desarrolló el enfoque “Cradle to Cradle”. En paralelo, el arquitecto-economista Walter Stahel propuso el modelo de economía en bucles, enfatizado en alargar la vida útil de los productos, reacondicionarlos y reemplazar la venta de productos por servicios (Winans et al., 2017).

Esta idea de EC desarrollada por el profesor John Lyle, comenzó por un desafío hacia sus estudiantes de postgrado, Lyle pidió a sus alumnos (William McDonough) que forjaran ideas para una sociedad en las que “las actividades diarias se basaran en el valor de vivir dentro de los límites de los recursos renovables disponibles, sin degradación ambiental” (Ellen MacArthur Foundation, 2013). El químico Michael Braungart desarrollo un concepto que considera a todos los materiales como nutrientes y se enfoca en un diseño que genere flujos de productos positivos, mantenga la pureza de los materiales y promueva la eficiencia en el uso de la energía y el agua. Mientras que el arquitecto-economista Walter Stahel, propuso la economía en bucles, dando énfasis a la extensión de la vida útil de los productos, el reacondicionamiento y la venta de servicios en lugar de productos, con el objetivo de crear empleos, mejorar competitividad, ahorrar recursos y prevenir residuos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Estas propuestas que fueron teóricas en su momento hoy toman relevancia para la industria de la construcción, que está enfrentando un gran consumo de recursos y generación de residuos.

Respecto al concepto de la EC, los economistas ambientales Pierce y Turner desarrollaron marcos conceptuales de la EC, como la modalidad de recurso-producto-contaminación, la cual analiza como los recursos naturales son transformados en productos y luego al cumplir su vida útil, estos productos generan residuos. (Winans et al., 2017). Este enfoque resulta útil para comprender como los residuos de construcción y demolición, que hoy aún se

consideran como subproductos sin valor, pueden lograr ser reincorporados al sistema productivo si se implementan procesos de gestión y valorización de residuos.

En la década de 1960 se cuestiona sobre la prosperidad a futuro, debido a la evidencia por investigaciones de riesgos ambientales a escala global, como la disminución de ozono y el cambio climático, esto genera tensiones que influyen en debates internacionales sobre la naturaleza interconectada del medioambiente, sociedad y economía (Geissdoerfer et al., 2017). Durante la década de 1970, en Europa y Estados Unidos es la época de medidas de control político, el concepto de las 3R (reducir, reutilizar y reciclar) adquiere importancia y gobiernos toman iniciativas para limitar la contaminación mediante la gestión de residuos, regulando vertederos e incineración (Reike et al., 2018). De estas tensiones surge el desarrollo sostenible, definiéndose como el desarrollo que satisface las necesidades de las actuales generaciones, sin comprometer a las futuras generaciones para atender sus propias necesidades. Durante la década de 1990, donde se piensa que la sostenibilidad se logra combinando el ámbito económico, social y medioambiental (Prieto-Sandoval et al., 2017).

Esta perspectiva adquiere relevancia en el sector de la construcción, donde el diseño de procesos sostenibles y eficientes es crucial para reducir impactos negativos. En este contexto la economía circular surge como una respuesta al desafío de compatibilizar el crecimiento económico con sostenibilidad, incluyendo principios que permiten transformar como se producen, consumen y gestionan los materiales en las etapas del ciclo de vida de un proyecto constructivo. A continuación, se examina el concepto de economía circular, sus fundamentos, alcances y vinculación específica con la gestión de residuos de construcción y demolición.

3.2 Economía Circular

El concepto de economía circular (EC) se define como un sistema económico que reemplaza el concepto de “fin de vida”, con la reducción, la reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción, distribución y consumo (Kirchherr et al., 2017). El objetivo es cambiar el modelo económico lineal de extraer, producir, usar y desechar recursos, que es insostenible. Es fundamental la implementación de la economía circular, proporcionando un sistema económico con un modelo de flujo cíclico, promoviendo la reutilización, renovación, reparación y mejora de productos, componentes y materiales (Korhonen et al., 2018).

La EC se origina principalmente en la literatura de tres acciones principales, que resultan ser los principios de las 3R, reducir, reutilizar y reciclar, representando estrategias jerárquicas de intervención de flujos de materiales, lo que evidencia una evolución hacia una economía centrada en el diseño, prevención y la extensión del ciclo de vida. La aplicación de estos principios varía según el contexto geográfico, en Europa y países como EE.UU. y Japón, relacionan la EC y los principios de las 3R principalmente con políticas de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), a diferencia China, que carece de estas políticas. El objetivo de estas políticas es lograr efectos con estrategias nacionales para la prevención de

nuevos vertederos, la generación de nuevos recursos, la reducción de gases de efecto invernadero y la gestión de residuos peligrosos (Ghisellini et al., 2016). En China, las prácticas de gestión de residuos deben ser guiadas por los principios de las 3R, aunque existe carencia en promover la reducción y reciclaje de residuos. Esto se debe a la falta de normas de diseño de edificios, el bajo costo de eliminar residuos y a la planificación urbana. Se presentan obstáculos para la reutilización y reciclaje de los residuos, tales como, el transporte y clasificación, falta de normativa y falta de tecnología de reciclaje en el mercado de los residuos. (Huang et al., 2018).

También se plantea la viabilidad de implementar un modelo circular en países de Latinoamérica, dada su baja industrialización, dependencia estructural y desigualdades internas (Yáñez, 2021). Esto es provocado por el modelo económico actual, centrado en el uso lineal de recursos, en el crecimiento monetario y la mercantilización, lo cual es insustentable, genera desigualdad y crisis ambientales. Los países Latinos están en desventaja debido al rol exportador, bajo desarrollo industrial y un limitado manejo de residuos. En el caso de Ecuador, se perciben pocas iniciativas de proyectos ambientales, los proyectos son escasos y difíciles de aplicar por el bajo presupuesto, hay una deficiente comprensión de los principios de la economía circular, no hay apoyo legal, bajo nivel de industrialización y carencia de tecnología limpia (Guerrero-Villegas et al., 2024). También en Brasil, a pesar de tener las barreras existentes, está en trabajo de una economía circular al establecer objetivos de desarrollo sostenible para 2030 (de Oliveira Rodrigues et al., 2022). En el caso de Colombia, que se propuso la construcción de un parque ambiental, para producir nuevos materiales a partir de residuos, lo cual trae beneficios ambientales, un ciclo de vida sostenible y reduce costos (Maury-Ramírez et al., 2022). La transición de un modelo lineal a uno circular en Latinoamérica todavía tiene muchos obstáculos por delante, pero existen avances para mejorar y avanzar en la circularidad, es fundamental mejorar el marco legal, educación ambiental, promover políticas públicas y mejorar la tecnología limpia.

En Chile, está en proceso el desafío de cambiar el modelo económico lineal (extraer materias, fabricar, construir, demoler y disponer a vertederos) a una economía circular, que implica repensar la forma en que se gestionan los recursos materiales, el consumo y producción (Comité Consultivo Público, 2020), ya se ha avanzado significativamente hacia una economía circular, con políticas públicas y metas ambiciosas, por ejemplo, la Hoja de Ruta para un Chile Circular y la Ley 20.920. En el sector de la construcción, el desafío está en transformar los procesos constructivos, incluyendo estrategias de diseño circular, reducción de residuos en obra y valorización de materiales.

Siendo más específicos, la gestión de residuos de construcción y demolición constituye un ámbito donde la economía circular puede tener el mayor impacto. Los residuos que se disponen a vertederos pueden ser valorizados como materias primas secundarias si se implementan prácticas de segregación, clasificación, almacenamiento y transformación. Estudios muestran que la circularidad en la construcción requiere cambios tecnológicos, marcos regulatorios exigibles, coordinación entre actores y educación sostenible.

Es en este contexto que el estudio se alinea con los principios de la economía circular para analizar procesos constructivos que generan RCD y en como una gestión adecuada puede reducir significativamente el impacto ambiental del rubro. Es así, que se busca generar evidencia empírica que permita avanzar a un modelo constructivo sostenible con los desafíos ambientales y productivos de la actualidad.

3.3 Residuos de Construcción y Demolición

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son residuos provenientes de la construcción de proyectos, de la rehabilitación, reparación y reacondicionamiento de obras ya existentes, también de la preparación de terrenos y de la demolición de estructuras que perdieron su valor de uso (CDT, 2020). Los RCD se componen principalmente por hormigón, metal, mortero, ladrillos, plástico y madera (Islam et al., 2019).

La gestión de los RCD implica un importante desafío por diversos factores. Los RCD provocan la contaminación y degradación de la tierra, agua y aire de ecosistemas completos. Implica el consumo excesivo de recursos naturales, produciendo explotación y agotamiento de estos mismos, generando emisiones de carbono (huella de carbono) que afectan negativamente en el medioambiente. La disposición final de residuos de construcción, que es a menudo en vertederos ilegales, tiene un impacto significativo para la sociedad y el medioambiente. Estas prácticas liberan sustancias tóxicas que puede generar problemas de salud a corto o largo plazo, también deterioran el paisaje, el suelo, napas subterráneas y la calidad de vida de la población. Económicamente, al generar grandes cantidades de residuos que deben trasladarse, se ve afectada la productividad y costos de una empresa, considerando que se ocupan recursos en mano de obra, materiales, residuos, energía y transporte (Kabirifar et al., 2020).

El rubro de la construcción y las edificaciones en particular, son responsables de una parte de las emisiones de carbono de nuestra sociedad, principalmente por el consumo de energía, procesos industriales para producir productos y el transporte de los productos (Fenner et al., 2018). La aplicación del concepto de circularidad y el desarrollo con bajas emisiones de carbono son estrategias recientemente utilizadas por grandes potencias, debido al rápido crecimiento económico, a los daños medioambientales provocados y efectos en la salud humana. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde casi 200 países crean estrategias para un desarrollo bajo en emisiones de carbono (Winans et al., 2017). Estrategias como el análisis del ciclo de vida de los edificios, que apoya el desarrollo de iniciativas sostenibles durante el ciclo de vida de un edificio, incluyendo planificación, construcción, operación, renovación y destrucción. A pesar de existir políticas que buscan mejorar la eficiencia de materiales y la economía circular, entre 1995 y 2015, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) aumentaron 120% sobre la producción mundial de materiales (Hertwich, 2021). De estas emisiones, la mayor huella de carbono está

en la producción de materiales de cemento, cal, yeso, hierro, acero, vidrio, madera, zinc y plásticos, que son ocupados en el rubro de la construcción (Hertwich, 2021). El uso masivo de estos materiales no solo aumenta el daño ambiental por emisiones, sino que genera residuos por su uso. Esto se puede apreciar en la Tabla 3.1, donde se presentan los principales residuos calificados según la lista europea de residuos (LER).

Tabla 3.1. Principales residuos generados clasificados según LER (lista europea de residuos)

Residuo	Cantidad [m³]
Metales mezclados	1.231,93
Mezcla de hormigón, ladrillos y cerámicos	507,9
Materiales a base de yeso	389,84
Madera	177,04
Materiales de aislación	76,57
Tejas y materiales cerámicos	27,05
Residuos mezclados de construcción y demolición	12,14
Hierro y acero	10,05
Pinturas, tintas, adhesivos y resinas	6,32
Tierra y piedras	5,14
Plástico	4,6
Hormigón	1,34
Otros	1,08

Elaboración (Bravo et al., 2019)

El análisis del panorama global de los residuos de construcción y demolición evidencia la dimensión del problema y su impacto negativo en el medioambiente y economía. De hecho, en Europa, el sector de la construcción produce 820 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) cada año, lo que supone alrededor del 46% de la cantidad total de residuos totales generados (Gálvez-Martos et al., 2018). Esta cifra refleja la escala de la industria y la gran cantidad de recursos materiales que terminan desechados si no son gestionados correctamente. La composición media de los RCD muestra que hasta el 90% de los residuos son entre hormigón (60%), mampostería (21%) y mortero (9%) (Islam et al., 2019), aunque los RCD pueden ser heterogéneos dependiendo del origen, y pueden contener grandes cantidades de madera y yeso cartón (Gálvez-Martos et al., 2018). A pesar del aumento de la generación de RCD, varios países europeos han logrado implementar políticas públicas eficaces, tecnología avanzada y marcos regulatorios exigibles, permitiendo alcanzar tasas de reciclaje y reutilización de RCD puede alcanzar valores entre 70% a 95% en países desarrollados (Huang et al., 2018). En la Figura 3.1 se puede observar la comparación de porcentajes de RCD reciclado y eliminado, en países europeos y asiáticos.

En contraste, en Chile la situación es crítica, el 35% de los residuos sólidos proviene de la construcción y demolición, actualmente esta cifra sobrepasa los 7 millones de toneladas de residuos, esta cifra es alarmante considerando la limitada infraestructura de tratamiento y disposición final. Además, se generan de 0,27 m³ de desechos por cada m² construido, cifra que duplica los niveles observados en un país desarrollado que genera 0,14 m³/m² en edificaciones habitacionales (MINVU, 2019). Esta alta generación por superficie edificada refleja la baja eficiencia en los procesos constructivos y en la planificación de residuos. A pesar de la situación, Chile carece de un sistema de trazabilidad, valorización y gestión de RCD, por lo que no existe una cifra oficial que indique la tasa de reciclaje y reutilización de residuos. La región de Valparaíso constituye un caso relevante, ya que es la segunda región con mayor generación de RCD en el país, con un promedio de 700 mil toneladas anuales. Esta concentración de residuos es debido a la actividad inmobiliaria, falta de control en la disposición final y a la carencia de instalaciones de valorización. En la Figura 3.2 se puede observar la generación estimada de RCD por edificaciones, por regiones.

En este contexto, los datos presentados permiten dimensionar con claridad la importancia de avanzar hacia un modelo eficiente y sostenible en gestión de RCD. El contraste entre la situación internacional, nacional y regional justifican la necesidad de hacer investigaciones que identifiquen prácticas de mejoras y como los principios de la economía circular contribuyen a reducir el impacto que se tiene en la región de Valparaíso.

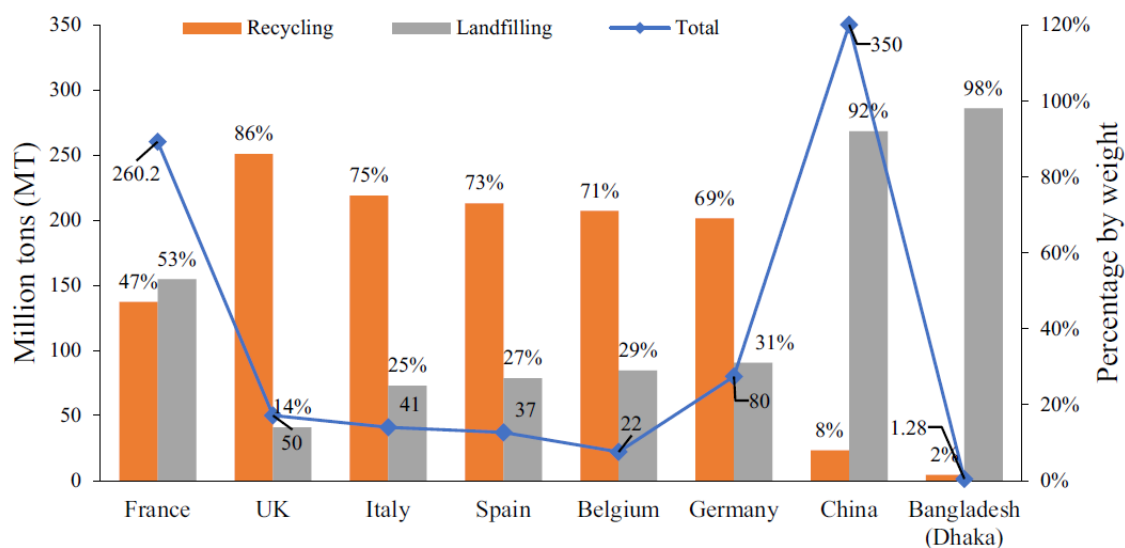


Figura 3.1. Comparación de porcentajes de RCD reciclado y eliminado, en países europeos y asiáticos. *Elaboración (Islam et al., 2019).*

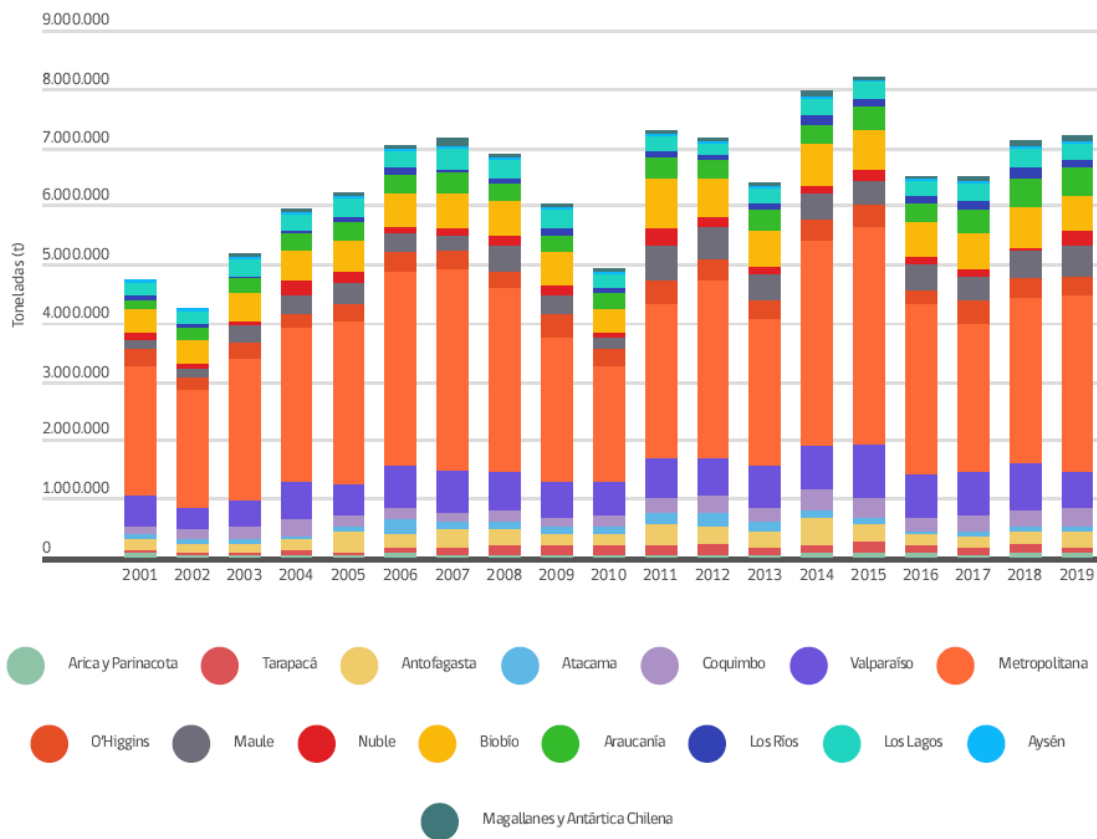


Figura 3.2. Generación estimada de RCD por edificaciones, por región. *Elaboración MMA.*

Si bien la valorización de los RCD es una oportunidad significativa, su implementación se ve dificultada por diversas barreras. Estudios internacionales han identificado obstáculos comunes para la gestión de RCD, entre estos: falta de un marco regulador, mala coordinación entre los actores (gobierno, municipios, recolectores y empresas), baja conciencia ambiental, resistencia cultural y limitada capacidad técnica. Las barreras más comunes son los altos costos y tiempo asociado a la clasificación y reciclaje de residuos, también la competencia con materias primas vírgenes a bajo costo. En países de Latinoamérica, como Brasil, pese a tener un marco regulatorio sobre residuos en el país, planificación y políticas públicas, existe descoordinación en el gobierno, no hay fiscalización, poco reciclaje y se sigue destinando gran parte de los residuos rellenos sanitarios o a vertederos (Vargas et al., 2024). En Bolivia el gobierno municipal trabaja para promover el reciclaje, la inclusión social y la implementación de plantas de reciclaje, no obstante, siguen existiendo problemas ambientales debido a la recolección, disposición y vertidos incontrolados de RCD, falta de conocimiento técnico, apoyo financiero y tecnología impiden mejorar el sistema de gestión de RCD (Ferronato et al., 2022). En Colombia tienen el desafío de la legislación de valorización de RCD que aún está en desarrollo, de trabajar en coordinación entre los

diferentes actores (gobierno, sociedad, empresas y academias), implementar beneficios fiscales y apoyos financieros (Maury-Ramírez et al., 2022).

La eliminación de residuos es la acción menos preferible y debe evitarse, la mayoría de RCD son químicamente inertes, por lo que pueden recuperarse (Zhang et al., 2022), pese a esto, mientras más mezclados estén los residuos, más costará separarlos e impactarán económicamente a un proyecto de gestión de residuos (Yeheyis et al., 2013). Investigaciones reflejan que el costo por no recolectar y disponer de RCD es entre un 10% a un 20% menor (Véliz et al., 2022), debido a esto las empresas no están dispuestas a realizar gestión de RCD al implicar un aumento de costos. En el caso de estudio de Bravo (Bravo et al., 2019), el costo de desechos, resultó de un valor promedio aproximado de 10 US\$/m³ correspondiente a costos de transporte y disposición final, si a este costo le sumamos entre el 10% a 20% por hacer gestión de los RCD, resultaría que el valor por gestionar RCD sería de 11 a 12 US\$/m³, aumentando significativamente el costo de gestionar todo el volumen de RCD que genera una obra de construcción. Para profundizar en esta problemática, se presenta a continuación un caso de estudio que cuantifica volúmenes de residuos generados y sus costos asociados.

En este contexto, es relevante el caso de estudio (Bravo et al., 2019) ubicado en la Región Metropolitana, Chile, el cual proporciona un referente técnico para dimensionar cuantitativamente la generación de RCD y su impacto económico directo. Este caso analizó un proyecto de edificación habitacional, cuantificando los volúmenes de RCD generados, transporte y disposición final. Resulta una generación total de 2.494 m³ de RCD en una superficie útil de 13.375 m², lo que equivale a un indicador de 0,186 m³/m² de RCD con un costo total de 188.234,44 US\$.

Tabla 3.2. Residuos generados totales e indicador de generación de residuos por metros cuadrados (Superficie útil: 13.375 m²).

Etapa	Residuos generados [m³]	Residuos [m³/m²]
Obra Gruesa	544,79	0,041
Terminaciones	1.949,37	0,146
Total	2.494,16	0,186

Elaboración (Bravo et al., 2019)

En términos económicos se estimó un costo promedio de 9,46 US\$/m³ sobre costos de transporte y disposición final. Según los resultados del caso de estudio sobre residuos generados obtenidos de Obra Gruesa y Terminaciones, los residuos generados totales se pueden observar en la Tabla 3.2, donde un 22% corresponden a Obra Gruesa y un 78% corresponden a Terminaciones. Estos valores sirven como parámetros de referencia para estimar volúmenes en obras de características similares, contextualizando los resultados dentro de una realidad nacional.

Frente a este escenario, es fundamental establecer estrategias que permitan una eficiente y correcta gestión de RCD. Resulta importante seguir la jerarquía en el manejo de residuos, como se aprecia en la Figura 3.3, al ser un principio fundamental para la gestión sostenible de los residuos, adoptada por diversas legislaciones y políticas públicas. La jerarquía establece un orden preferente en las estrategias de manejo, priorizando las que minimizan el impacto ambiental y promueven el uso eficiente de recursos. Según la Ley 20.920, en la parte superior de la jerarquía y en primer lugar se encuentra la prevención, que es reducir la generación de residuos y es la opción deseable, implica evitar la producción de residuos desde su origen y puede lograrse mediante un diseño eficiente, planificación adecuada, uso racional de materiales y optimización de procesos constructivos. En segundo lugar, está la reutilización que aprovecha los materiales o productos sin tener que someterlos a procesos industriales, alargando la vida útil de los materiales y reduciendo la demanda de recursos vírgenes. En tercer lugar, está el reciclaje que involucra la recolección y transformación de residuos en nuevos productos, reincorporando materiales al ciclo productivo y reduciendo la necesidad de nuevos recursos. La valorización energética, que es convertir residuos no reciclables en energía (por incineración), no es la mejor opción debido a que genera emisiones, pero se recupera parte del valor energético de los residuos. Por último y como opción menos preferible, se encuentra la disposición final a vertederos o rellenos sanitarios, esta opción debe usarse solamente para residuos que no pueden ser reducidos, reutilizados, reciclados ni valorizados energéticamente, debe realizarse bajo estrictas condiciones ambientales para no contaminar el suelo, agua y aire.



Figura 3.3. Jerarquía de residuos. *Elaboración Hoja de ruta RCD.*

La aplicación efectiva de la jerarquía de manejo de residuos es un paso esencial para mejorar la gestión de residuos. Sin embargo, la jerarquía debe integrarse dentro de un enfoque más amplio, la economía circular. Para incorporar los principios de la economía circular a la gestión de residuos, es necesario identificar factores económicos, sociales y medioambientales, gestionar la reducción de residuos desde la etapa de planificación y diseño de un proyecto (Kabirifar et al., 2020). En Chile, estudios sugieren que para implementar correctamente la economía circular a la gestión de RCD, es técnicamente importante incorporar principios de circularidad el diseño y ejecución de un proyecto, permitiendo minimizar residuos y optimizar recursos, es clave tener infraestructura adecuada, tecnología avanzada y procesos eficientes para la gestión de RCD. El factor financiero tiene los problemas de el alto costo económico de producir materiales reciclados y viabilidad por el largo plazo de retorno de inversión de capital, no obstante, esta barrera se puede reducir implementando políticas e incentivos financieros que aumente la confianza de invertir (Véliz et al., 2025). El factor socioambiental es clave para implementar la circularidad, es necesario promover la conciencia, conocimiento y las acciones sostenibles entre los actores involucrados, facilitando la implementación y genera cultura de responsabilidad, factor considerado relevante para avanzar hacia una economía circular. Un factor a largo plazo es la educación ambiental para fomentar una cultura sostenible, sin embargo, es un obstáculo a corto plazo que se limite la inversión en infraestructura necesaria para la transición a la circularidad. También eventos como los desastres naturales afectan las iniciativas circulares, debido que generan grandes cantidades de residuos y necesitan una correcta gestión, lo cual exige la urgencia de planificación sostenible, sistemas de eliminación eficaces y una regulación robusta. Además de estos factores, es necesario implementar un marco regulatorio exigible y correctamente diseñado, que fomente la valorización de materiales y de seguridad de inversión (Véliz et al., 2025). Para avanzar en la circularidad es importante contar con legislación, a pesar que la normativa por sí sola no es suficiente, debe ser acompañada de directrices prácticas y mayor concienciación entre los actores del sector (gobierno, recicladores y empresas). En este contexto, la transición hacia una economía circular en la gestión de RCD requiere de un enfoque integral que articule infraestructura, regulación, educación y cooperación de los actores del sector. Mediante la combinación de acciones técnicas, incentivos económicos, participación social y compromiso político, se podrá avanzar efectivamente a una gestión sostenible en base a los principios de la economía circular.

4 Metodología de investigación

En esta sección, como se muestra en la figura 1. se examina los métodos empleados para alcanzar los objetivos de la investigación. Como primer paso, se llevó a cabo una revisión de la literatura existente en bases de datos como Scopus y Web of Science, centrándose en temas relacionados con la economía circular, los residuos de construcción y demolición, y la huella de carbono de la industria de la construcción. Las palabras claves usadas para la revisión de literatura son: circular economy, construction and demolition waste, carbon footprint.

Justificación del método

Según Robert Yin, el estudio de caso es el indicado cuando se busca responder preguntas del tipo “como” y “porque”, permitiendo observar fenómenos contemporáneos en su contexto real y comparar unidades de análisis con variables controladas. El objetivo en esta investigación es comprender como los procesos constructivos influyen en la generación y gestión de RCD, justificando el uso de un estudio de caso comparativo. La metodología considera tres etapas: primero la revisión de literatura que sustenta el marco teórico y contextual, segundo la selección de casos similares constructivamente y con diferencias en la gestión de residuos, y tercero la recolección de datos mediante observación y análisis de datos, asegurando validez y confiabilidad.

Estudio de caso

Esta investigación constituye un estudio de caso que busca realizar un análisis comparativo entre dos proyectos de edificación en altura ubicados en la región de Valparaíso. Uno de ellos contaba con un plan de gestión de residuos de construcción, mientras que el otro no disponía de dicho plan. El estudio de casos es el método que permite una observación detallada y contextual de las diferencias entre los proyectos, se pueden obtener conclusiones en base a la lógica y a la comparación de diferentes casos. Estos dos proyectos fueron seleccionados por representatividad al coincidir en sus características (edificaciones en altura de viviendas, cantidad de pisos, ubicación) y al diferenciarse en las prácticas de gestión de sus residuos.

El primer caso correspondía a un edificio de 19 pisos (37,528 m² construidos), construido entre mayo de 2021 y diciembre de 2023. Este proyecto implementaba un plan de gestión de RCD y se ubicaba a 12 km de una planta de revalorización donde se disponían sus residuos. Al momento de la obtención de datos, se encontraba en fase de revisión con un 98,3% de avance. En contraste, el segundo caso era un edificio de 26 pisos (23,494 m² construidos), construido entre agosto de 2022 y mayo de 2024. Este proyecto no contaba con un plan de gestión de RCD, y sus residuos fueron dispuestos en vertederos de ubicación indefinida, cuya legalidad era desconocida. Al momento de la obtención de datos, esta construcción estaba terminada (100% de avance) y en fase de post venta. Las diferencias estructurales de ambos proyectos no influyen en los resultados de análisis, debido a que se analiza la cantidad de

residuos producidos por la cantidad de metros cuadrados construidos por separado (se obtiene el factor de residuos en m^3/m^2 de cada obra).

Respecto a los procesos constructivos y materialidad, la Obra Gruesa en ambos proyectos es de hormigón armado, mediante grúas se transporta el acero corrugado para conformar elementos en terreno y los moldajes metálicos para cerrar dichos elementos. El hormigón es transportado y vertido mediante capacho y bomba hormigonera, para luego ser vibrado.

Las Terminaciones son similares en ambos proyectos. La tabiquería es de perfiles de acero galvanizado y planchas de yeso-cartón (tabiques F-30, F-60 y F-120). Los pavimentos son de porcelanato, cerámica y baldosas. Los revestimientos son de porcelanato generalmente y cerámica. Los guardapolvos son de MDF y porcelanato.

Cabe destacar que los dos proyectos de edificación en estudio se encuentran a una distancia de aproximadamente 10 km entre sí y generalmente utilizan camiones de 13 m^3 para el retiro de residuos y escombros. Los movimientos de tierra no se consideran en los residuos, y estos principalmente son usados como rellenos en otros terrenos.

El procedimiento de gestión de residuos en la obra contempla la separación de residuos en dos categorías: peligrosos y no peligrosos. La constructora debe realizar esta segregación y almacenar los residuos en una zona designada dentro del sitio de la obra. A continuación, se subcontrata una empresa especializada para el retiro y transporte de los residuos no peligrosos, que incluyen materiales como hormigón, metal, madera, cartón, plásticos, entre otros, hacia la planta de valorización. Esta recibe los residuos mezclados y emite una certificación de recepción para su posterior valorización. En este proceso, la planta clasifica los residuos reciclables, logrando reciclar aproximadamente el 75% de los materiales, los cuales son transformados en materias primas que pueden ser reintegradas en nuevos procesos constructivos.

Recolección de datos

En los proyectos seleccionados, los procesos constructivos considerados en obra gruesa incluyen las partidas de hormigón, enfierradura y moldaje para fundaciones, losas, vigas, muros y pilares. En cuanto a las terminaciones, se incluyen pavimentos, revestimientos, guardapolvos y tabiquería. Estas partidas contemplan recursos como materiales, mano de obra, herramientas y maquinaria. Los procesos constructivos no considerados en la investigación son: techumbre, impermeabilización, instalaciones, sobrelosas, cornisas, entre otros.

La información de este estudio fue recopilada mediante observación para conocer los procesos constructivos en visitas a terreno (visitas mensuales, durante 3 meses), y por documentación proporcionada por las oficinas técnicas de cada proyecto. Los datos se obtuvieron a través de la revisión de presupuestos, el registro de materiales recepcionados en las bodegas y por medio de los reportes de los subcontratos encargados del retiro de RCD.

Estos datos proporcionados por las constructoras fueron entregados desde la base de datos de trabajo de estas empresas.

Limitaciones

El estudio presenta diversas limitaciones. En primer lugar, se circunscribe a la región de Valparaíso y se enfoca exclusivamente en proyectos de edificación en altura, así como en procesos constructivos que generan la mayor cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD). Además, la muestra se compone únicamente de dos proyectos de construcción, lo que no permite una representación estadísticamente significativa. Por último, los datos sobre recursos y residuos de construcción analizados fueron proporcionados por las constructoras, lo cual podría introducir sesgos relacionados con la disponibilidad y precisión de la información.

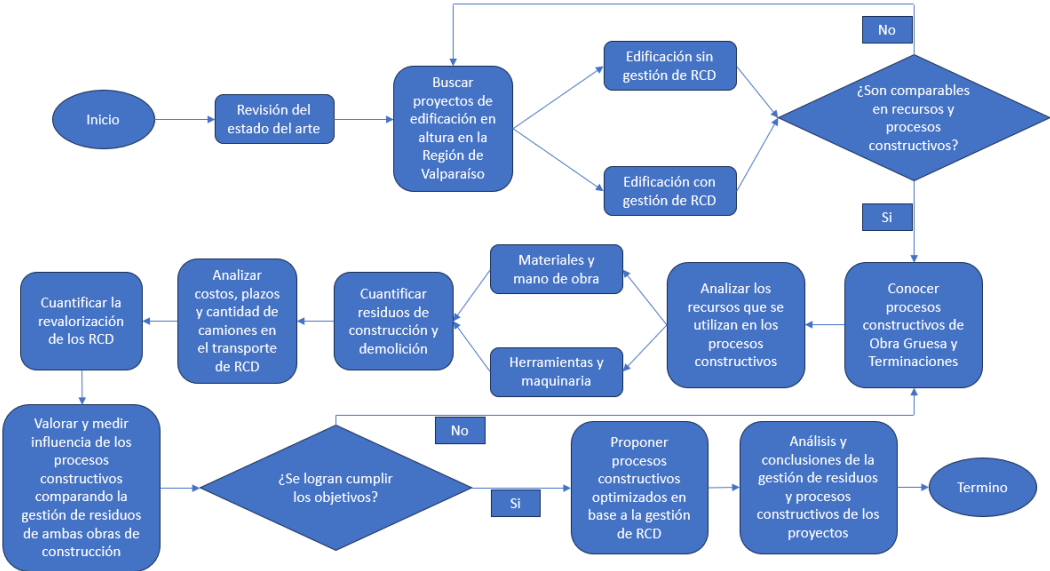


Figura 4.1. Diagrama de flujo de metodología de investigación.

4.1 Iniciativas de gestión de residuos en la construcción

Existen diversas iniciativas sobre gestión de RCD impulsadas por diversas entidades, entre las principales encontramos la Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035 (impulsada por el MINVU, MOP, MMA y CORFO), que tiene como objetivo principal promover la gestión de RCD hacia un modelo circular (de reducir, reutilizar y reciclar). Las metas más relevantes que tiene La Hoja de Ruta es establecer instrumentos que fomenten la economía circular y el uso eficiente de recursos en las actividades productivas, que el 50% de la edificación e infraestructura pública cuente con criterios y atributos circulares acreditados, que a nivel nacional el 40% de la oferta de materiales, productos, piezas y componentes para la construcción cuenten con atributos circulares, que el país cuente con

plataformas de trazabilidad de materiales y residuos para la economía circular, y que el país cuente con programas a nivel regional para la remediación, restauración y mitigación de los residuos generados por la extracción ilegal de áridos y disposición inadecuada de RCD. La Hoja de Ruta tiene como meta para el año 2035, que el 70% del volumen de los RCD se valore, reutilizando y reciclando para la fabricación de nuevos productos.

Otra iniciativa es el Plan de Gestión de Residuos en Obra, se detalla cómo manejar residuos generados en la construcción, desde su identificación, clasificación, almacenamiento, transporte y disposición final.

4.2 Normativa

En Chile, el marco normativo e institucional respecto a la gestión de residuos de construcción y demolición ha evolucionado significativamente en los últimos años, debido al aumento del volumen de residuos generados por la industria de la construcción y debido a la necesidad de avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible.

Entre los instrumentos legales más relevantes se encuentra la Ley 20.920 que establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. Esta ley promueve la disminución en la generación de residuos, promoviendo la reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización (valoración de materiales sólidos para obtener nuevos materiales y la valorización energética para aprovechar el poder calorífico), por medio de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con la finalidad de cuidar la salud de la población y del medioambiente. Al entrar en vigor dicha ley, se establece que la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) regulará un procedimiento simple para la obtención de permisos de edificación cuando se requiera, para aquellas instalaciones de recepción y almacenamiento de residuos.

Otra herramienta es la Norma oficial NCh 3562: Gestión de residuos - Residuos de construcción y demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión, es de carácter obligatorio. Esta norma establece los lineamientos mínimos para la planificación, ejecución del manejo y disposición de RCD dentro de un proyecto constructivo. Define como se deben clasificar los residuos, establece objetivos y metas según la etapa de la obra, definiendo indicadores de desempeño asociados a su gestión en distintas etapas de la obra. Esta norma implica que los proyectos constructivos deben contemplar un plan de gestión de residuos con responsabilidades definidas, seguimiento y trazabilidad de los residuos generados.

Junto a estas normativas, existen iniciativas impulsadas por el Estado, una de las más relevantes es la Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en Construcción, que define metas concretas hacia el año 2035. Dentro de estas metas esta valorar el 70% del volumen de RCD generado a nivel nacional, incorporar criterios circulares en el 50% de la edificación e infraestructura pública, lograr que el 40% de los materiales, productos y componentes usados

en construcción posean atributos circulares, establecer plataformas de trazabilidad de residuos y materiales y desarrollar programas regionales de restauración ambiental asociados a RCD mal gestionados. También es importante el trabajo de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) y la Corporación del Desarrollo Tecnológico (CDT), ambas entidades que han desarrollado guías y manuales de buenas prácticas en obra como el Plan de Gestión de Residuos en Obra, que detalla procedimientos de segregación, almacenamiento, transporte y disposición de RCD.

A pesar de la existencia de marcos legales y normativos que promueven la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), persisten desafíos significativos en la implementación efectiva de estas prácticas. La falta de tecnologías adecuadas y la insuficiencia de prácticas actuales limitan la capacidad de la industria para gestionar eficientemente los RCD, particularmente en el contexto de edificaciones en altura. Además, mientras que se ha investigado la gestión de residuos a nivel general, hay una falta de estudios que comparen específicamente la eficacia de los planes de gestión de RCD en proyectos de edificación en altura, evaluando tanto la disposición final de los residuos como la influencia de los procesos constructivos en su generación. Esta brecha en la literatura resalta la necesidad de estudios que aborden estos aspectos para optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental en la industria de la construcción.

En este sentido, resulta fundamental comprender los distintos procesos constructivos y recursos que influyen en la generación de residuos. A continuación, se describen los distintos procesos constructivos utilizados en la investigación.

4.3 Procesos Constructivos

Un proceso constructivo se refiere a un conjunto de etapas consecutivas o separadas que se ejecutan en un determinado tiempo, necesarias para la materialización de una partida de construcción.

En esta sección se describirán los procesos constructivos de Obra Gruesa y Terminaciones que más influyen en la gestión de residuos de un proyecto, con la finalidad de comprender los pasos a seguir desde el inicio hasta el final de una partida de construcción.

Los procesos constructivos a describir de Obra Gruesa son los procesos de losas de hormigón, muros de hormigón, vigas de hormigón y pilares de hormigón

Los procesos constructivos a describir de Terminaciones son los procesos de terminaciones gruesas y tabiquería.

4.3.1 Procesos Constructivos Obra Gruesa y Terminaciones de las Edificaciones con y sin gestión de residuos

4.3.1.1 Procesos Constructivos de Obra Gruesa

A continuación, se describen los procesos constructivos de las partidas de Obra Gruesa, considerando la enfierradura, moldajes y hormigonado de las partidas de muros, vigas, pilares y losas.

Proceso Constructivo de muros

Tabla 4.1. Etapas de los procesos constructivos de muros de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de muro en losa terminada.	Trazado de muro en losa terminada.
Tratamiento de junta con martillo demoledor en la zona a hormigonar, para rugosidad y adherencia.	Tratamiento de junta con martillo demoledor en la zona a hormigonar, para rugosidad y adherencia.
Limpieza de junta del muro con soplador o luego con aspiradora.	Limpieza de junta del muro con soplador y con aspiradora.

Armado de muro con enfierradura horizontal y vertical para formar una malla, trabas intermedias y estribos según especificaciones para confinar, amarrados con alambres recocidos.	Armado de muro con enfierradura horizontal y vertical para formar una malla, trabas intermedias y estribos según especificaciones para confinar, amarrados con alambres recocidos.
Con grúa se instalan pilares armados con estribos y luego se colocan fierros horizontales para confinar muros.	Con grúa se instalan pilares armados con estribos y luego se colocan fierros horizontales para confinar muros.
Instalación de canalización eléctrica y sanitaria, protegida y afianzada.	Instalación de canalización eléctrica y sanitaria, protegida y afianzada.
Instalación de separadores en enfierradura e instalación de fierros fijadores.	Instalación de separadores en enfierradura e instalación de fierros fijadores.
Trazado de altura de llenado de muro.	Trazado de altura de llenado de muro.
Instalación primera cara de moldaje con desmoldante y aplomadores fijados, camisas para agujas y luego se instala segunda cara de moldaje.	Instalación primera cara de moldaje con desmoldante y aplomadores fijados, camisas para agujas y luego se instala segunda cara de moldaje.
Se colocan separadores de madera de moldaje y se aprietan agujas luego se colocan cuñas de madera para aplomar armadura de fierro.	Se colocan separadores de madera de moldaje y se aprietan agujas luego se colocan cuñas de madera para aplomar armadura de fierro.
Instalación de carrera provisoria para hormigonar, llenado de hormigón con bomba hormigonera, luego vibrado del hormigón y afinado.	Instalación de carrera provisoria para hormigonar, llenado de hormigón con capacho o bombeo (dependiendo de la altura), luego vibrado del hormigón y afinado.
Se retira carrera y descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.	Se retira carrera y descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.
Aseo y limpieza general de residuos.	Aseo y limpieza general de residuos de hormigón, metal, madera y plásticos.

Proceso Constructivo de vigas

Tabla 4.2. Etapas de los procesos constructivos de vigas de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de viga sobre placas fenólicas provisorias.	Trazado de viga sobre placas fenólicas provisorias.
Instalación de enfierradura tejida de viga unido a la losa con fierro horizontal y estribos amarrados con alambre y confinados.	Instalación de enfierradura tejida de viga unido a la losa con fierro horizontal y estribos amarrados con alambre y confinados.
Instalación de fierro de refuerzo en viga por ambos lados, amarrado con alambre recocado.	Instalación de fierro de refuerzo en viga por ambos lados, amarrado con alambre recocado.
Tratamiento de junta con martillo demoledor para adherencia y limpieza de unión viga-losa con soplador o aspiradora.	Tratamiento de junta con martillo demoledor para adherencia y limpieza de unión viga-losa con soplador y aspiradora.
Instalación de separadores de enfierradura, camisas de PVC y conos.	Instalación de separadores de enfierradura, camisas de PVC y conos.
Instalación de moldaje con grúa y pasadas de agujas sujetadas con paipas.	Instalación de moldaje con grúa y pasadas de agujas sujetadas con paipas.
Trazado de altura de llenado de viga.	Trazado de altura de llenado de viga.
Instalación de separadores internos de moldaje.	Instalación de separadores internos de moldaje.
Se realiza llenado de hormigonado con bomba hormigonera, luego vibrado del hormigón y afinado.	Se realiza llenado de hormigonado con capacho o bombeo (dependiendo de la altura), luego vibrado del hormigón y afinado.
Se descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.	Se descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.
Aseo y limpieza general de residuos.	Aseo y limpieza general de residuos de hormigón, metal, madera y plásticos

Proceso Constructivo de pilares y machones

Tabla 4.3. Etapas de los procesos constructivos de pilares y machones de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de pilar en losa terminada	Trazado de pilar en losa terminada
Se realiza tratamiento de junta con martillo demoledor en la zona a hormigonar para adherencia.	Se realiza tratamiento de junta con martillo demoledor en la zona a hormigonar para adherencia.
Limpieza de junta del muro con soplador o aspiradora.	Limpieza de junta del muro con soplador y aspiradora.
Instalación de enfierradura de pilar armado con estribos y alambres empalmados sobre la losa, trasladadas con grúa.	Instalación de enfierradura de pilar armado con estribos y alambres empalmados sobre la losa, trasladadas con grúa.
Instalación de trabas y estribos de refuerzo amarrados con alambres y confinadas.	Instalación de trabas y estribos de refuerzo amarrados con alambres y confinadas.
Instalación de camisas de PVC, conos y canalización de PVC dejando arranque.	Instalación de camisas de PVC, conos y canalización de PVC dejando arranque.
Instalación de separadores de enfierradura y de moldajes de pilares con grúa.	Instalación de separadores de enfierradura y de moldajes de pilares con grúa.
Trazado de altura de llenado de pilar.	Trazado de altura de llenado de pilar.
Arriostramiento de moldajes y nivelación con aplomadores.	Arriostramiento de moldajes y nivelación con aplomadores.
Instalación de carrera provisoria para hormigonar, llenado de hormigón con bomba hormigonera, vibrado del hormigón y afinado.	Instalación de carrera provisoria para hormigonar, llenado de hormigón o bombeo (dependiendo de la altura), luego vibrado del hormigón y afinado.
Se retira carrera y descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.	Se retira carrera y descimbra el moldaje al siguiente día, retirando las fijaciones y sacando moldajes con grúa.
Aseo y limpieza general de residuos.	Aseo y limpieza general de residuos de hormigón, metal, madera y plásticos.

Proceso Constructivo de losas

Tabla 4.4. Etapas de los procesos constructivos de losas de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Instalación de alzaprimas con trípode distanciadas y sobre estas se colocan vigas de madera y aluminio.	Instalación de alzaprimas con trípode distanciadas y sobre estas se colocan vigas de madera y aluminio.
Montaje de las placas fenólicas martilladas a vigas de madera.	Montaje de las placas fenólicas martilladas a vigas de madera.
Trazado de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, terrazas, vigas y shafts.	Trazado de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, terrazas, vigas y shafts.
Instalación primera malla de fierro con separadores y amarrada con alambre recocido	Instalación primera malla de fierro con separadores y amarrada con alambre recocido
Canalización de instalaciones eléctricas y sanitarias, con terminales protegidas con polietileno expandido	Canalización de instalaciones eléctricas y sanitarias, con terminales protegidas con polietileno expandido
Instalación de malla superior con separadores de fierro de malla inferior, suplex, nervios y refuerzos.	Instalación de malla superior con separadores de fierro de malla inferior, suplex, nervios y refuerzos.
Instalación moldaje de rebalse y malla hexagonal.	Instalación moldaje de rebalse y malla hexagonal.
Hormigonado con bomba hormigonera en los primeros pisos, y luego con capacho.	Hormigonado con capacho o bombeado (dependiendo de la altura).
Vibrado de hormigón.	Vibrado de hormigón.
Distribución de hormigón con pala, llana circular y regla metálica, luego se pasa la regla vibradora y platachado.	Distribución de hormigón con pala, llana circular y regla metálica, luego se pasa la regla vibradora y platachado.
Aseo y limpieza de residuos.	Aseo y limpieza de residuos de hormigón, metal, madera y plásticos.

4.3.1.2 Procesos Constructivos de Terminaciones

A continuación, se describen los procesos constructivos de las partidas de terminaciones, considerando la tabiquería, revestimientos, pavimentos y guardapolvos.

Proceso Constructivo de tabiquería

Tabla 4.5. Etapas de los procesos constructivos de tabiquería de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de tabique en losa, luego se proyectan con nivel laser y se trazan tabiques al cielo.	Trazado de tabique en losa, luego se proyectan con nivel laser y se trazan tabiques al cielo.
Fijación de canales inferior y superior con clavos de impacto.	Fijación de canales inferior y superior con clavos de impacto.
Instalación de perfiles verticales, considerando separación entre solera superior e inferior.	Instalación de perfiles verticales, considerando separación entre solera superior e inferior.
Instalación de primera cara de tabiques, de planchas de yeso-cartón (según especificación), considerando separación entre superficies rígidas para hacer canterías.	Instalación de primera cara de tabiques, de planchas de yeso-cartón (según especificación), considerando separación entre superficies rígidas para hacer canterías.
Instalación de aislación entre montantes, con lana de vidrio de espesor según tabique.	Instalación de aislación entre montantes, con lana de vidrio de espesor según tabique.
Se colocan refuerzos entre montantes para luego instalar canalizaciones y cajas.	Se colocan refuerzos entre montantes para luego instalar canalizaciones y cajas.
Instalación de segunda cara de tabiques con planchas de yeso-cartón (según especificación), fijadas con tornillos autopercutorantes hacia los montantes.	Instalación de segunda cara de tabiques con planchas de yeso-cartón (según especificación), fijadas con tornillos autopercutorantes hacia los montantes.
Se colocan huinchas para juntas en las uniones y luego se aplica masilla para juntas, posteriormente se eliminan detalles lijando masilla.	Se colocan huinchas para juntas en las uniones y luego se aplica masilla para juntas, posteriormente se eliminan detalles lijando masilla.
Aseo y limpieza de residuos.	Aseo y limpieza de residuos de metal, madera y planchas de yeso-cartón.

Proceso Constructivo de revestimientos

Tabla 4.6. Etapas de los procesos constructivos de revestimiento de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.	Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.
Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.	Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.
Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.	Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.
Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los revestimientos.	Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los revestimientos.
Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.	Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.
La instalación es según la partida inicial y usando un nivel laser (o con plomo y regla).	La instalación es según la partida inicial y usando un nivel laser (o con plomo y regla).
Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.	Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.
Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.	Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.
Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.	Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.
Aseo y limpieza de residuos.	Aseo y limpieza de residuos de cartón, plásticos y porcelanatos/cerámicos.

Proceso Constructivo de pavimentos

Tabla 4.7. Etapas de los procesos constructivos de pavimentos de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.	Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.
Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.	Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.
Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.	Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.
Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los pavimentos.	Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los pavimentos.
Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.	Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.
La instalación es según la partida inicial, usando un nivel laser y regla.	La instalación es según la partida inicial, usando un nivel laser y regla.
Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.	Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.
Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.	Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.
Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.	Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.
Aseo y limpieza de residuos.	Aseo y limpieza de residuos de cartón, plásticos y porcelanatos/cerámicos.

Proceso Constructivo de guardapolvos

Tabla 4.8. Etapas de los procesos constructivos de guardapolvos de las Edificaciones con y sin gestión de residuos.

Edificio sin gestión de residuos	Edificio con gestión de residuos
Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.	Trazado de la partida de porcelanato o cerámica según especificación de planos.
Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.	Limpieza de zona a instalar material, dejando libre de polvo o imperfecciones.
Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.	Preparación de adhesivo con mezcladora eléctrica o manualmente, utilizando agua y adhesivo para superficies rígidas o flexibles según especificaciones.
Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los guardapolvos.	Se coloca adhesivo preparado (según especificaciones) con llana dentada, para mejorar la adherencia de los guardapolvos.
Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.	Se corta el material con una cortadora con punta diamantada o con un esmeril con disco diamantado, según se requiera, luego se coloca en el adhesivo instalado, golpeando para fijar correctamente el material.
La instalación es según la partida inicial, usando un nivel laser y regla.	La instalación es según la partida inicial, usando un nivel laser y regla.
Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.	Usando separadores en las caras y esquinas, se mantienen uniformes y se colocan cuñas para nivelar.
Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.	Se deja secar el adhesivo según especificaciones y se retiran separadores.
Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.	Se coloca fragüe entre las separaciones y luego se retira con una esponja húmeda, antes que se seque la mezcla.
Aseo y limpieza de residuos.	Aseo y limpieza de residuos de cartón, plásticos y porcelanatos/cerámicos.

4.4 Recursos: materiales, mano de obra, herramientas y maquinaria

En esta sección se presentarán los recursos utilizados en las faenas de Obra Gruesa y Terminaciones, tales como materiales, mano de obra, herramientas y maquinaria, recursos que son fundamentales en cada faena de la construcción. A continuación, se presentarán los recursos utilizados en los procesos constructivos de ambos proyectos constructivos, primero de la edificación sin gestión de residuos y luego de la edificación con gestión de residuos.

4.4.1 Recursos de la Edificación sin gestión de residuos

4.4.1.1 Recursos de Obra Gruesa

En la tabla 4.9 se presentan las cantidades totales de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación sin gestión de residuos.

Tabla 4.9. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación sin gestión de residuos.

Proceso Constructivo	Unidad de medida	Cantidad total
Hormigón de fundaciones	m ³	1.964
Hormigón de vigas	m ³	766
Hormigón de muros y pilares	m ³	3.757
Hormigón de losas	m ³	3.833
Enfierradura total	kg	965.264
Moldaje de vigas y fundaciones	m ²	8.170
Moldaje de muros y pilares	m ²	34.777
Moldaje de losas	m ²	24.613

4.4.1.2 Recursos de Terminaciones

En la tabla 4.10 se presentan las cantidades por unidad de medida de los procesos constructivos de Terminaciones de la Edificación sin gestión de residuos.

Tabla 4.10. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos Terminaciones de la Edificación sin gestión de residuos.

Proceso Constructivo	Unidad de medida	Cantidad total
Tabiques	m ²	15.918
Guardapolvos	ml	14.736
Pavimentos	m ²	15.386
Revestimientos	m ²	6.143

4.4.2 Recursos de la Edificación con gestión de residuos

4.4.2.1 Recursos de Obra Gruesa

En la tabla 4.11 se presentan las cantidades totales de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación con gestión de residuos.

Tabla 4.11. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos de Obra Gruesa de la Edificación con gestión de residuos.

Proceso Constructivo	Unidad de medida	Cantidad total
Hormigón de fundaciones	m ³	2.589
Hormigón de vigas	m ³	1.274
Hormigón de muros y pilares	m ³	6.421
Hormigón losas	m ³	6.780
Enfierradura total	kg	1.899.999
Moldaje de vigas y fundaciones	m ²	10.104
Moldaje de muros y pilares	m ²	41.606
Moldaje de losas	m ²	35.991

4.4.2.2 Recursos de Terminaciones

En la tabla 4.12 se presentan las cantidades por unidad de medida de los procesos constructivos de Terminaciones de la Edificación con gestión de residuos.

Tabla 4.12. Cantidades totales por unidad de medida de los procesos constructivos Terminaciones de la Edificación con gestión de residuos.

Proceso Constructivo	Unidad de medida	Cantidad total
Tabiques	m ²	15.267
Guardapolvos	ml	13.554
Pavimentos	m ²	16.212
Revestimientos	m ²	7.335

4.5 Residuos

En esta sección se presentarán los residuos generados en las faenas de Obra Gruesa y Terminaciones, de la Edificación con gestión de RCD y de la Edificación sin gestión de RCD. El retiro de residuos se hace generalmente con camiones de 13 m³.

En la tabla 4.13 se presenta la cantidad de residuos generados mensualmente por la Edificación sin gestión de residuos. Se muestra la unidad de medida, las cantidades de residuos y el costo de retiro de residuos.

Tabla 4.13. Cantidades de residuos y costo de retiro en camiones por m³ mensuales de la Edificación sin gestión de residuos.

Mes	Unidad de medida	Cantidad de residuos	Costo de retiro en camiones
Mes 1	m ³	72	1.002.400
Mes 2	m ³	72	1.002.400
Mes 3	m ³	102	1.428.000
Mes 4	m ³	72	1.002.400
Mes 5	m ³	102	1.428.000
Mes 6	m ³	180	2.518.600
Mes 7	m ³	170	2.385.600
Mes 8	m ³	231	3236..800
Mes 9	m ³	123	1.720.600
Mes 10	m ³	163	2.279.200
Mes 11	m ³	163	2.279.200
Mes 12	m ³	174	2.438.800
Mes 13	m ³	243	3.396.400
Mes 14	m ³	208	2.917.600
Mes 15	m ³	231	3.236.800
Mes 16	m ³	254	3.556.000
Mes 17	m ³	186	2.598.400
Mes 18	m ³	296	4.141.200
Mes 19	m ³	395	5.524.400
Mes 20	m ³	429	6.003.200
Mes 21	m ³	176	2.465.400
Mes 22	m ³	106	1.481.200
Mes 23	m ³	155	2.172.800
Mes 24	m ³	186	2.598.400
Mes 25	m ³	94	1.321.600
Mes 26	m ³	55	763.000
Mes 27	m ³	87	1.215.200
	Total	4.722	66.113.600

En la tabla 4.14 se presenta la cantidad de residuos generados mensualmente por la Edificación con gestión de residuos. Se muestra la unidad de medida, las cantidades de residuos y el costo de retiro de residuos.

Tabla 4.14. Cantidades de residuos y costo de retiro en camiones por m³ mensuales de la Edificación con gestión de residuos.

Mes	Unidad de medida	Cantidad de residuos	Costo de retiro en camiones
Mes 1	m ³	41	738.000
Mes 2	m ³	61	1.098.000
Mes 3	m ³	78	1.404.000
Mes 4	m ³	68	1.224.000
Mes 5	m ³	68	1.224.000
Mes 6	m ³	151	2.718.000
Mes 7	m ³	124	2.232.000
Mes 8	m ³	299	5.382.000
Mes 9	m ³	221	3.978.000
Mes 10	m ³	273	4.914.000
Mes 11	m ³	367	6.606.000
Mes 12	m ³	468	8.424.000
Mes 13	m ³	652	11.736.000
Mes 14	m ³	428	7.704.000
Mes 15	m ³	403	7.254.000
Mes 16	m ³	305	5.490.000
Mes 17	m ³	390	7.020.000
Mes 18	m ³	364	6.552.000
Mes 19	m ³	468	8.424.000
Mes 20	m ³	299	5.382.000
Mes 21	m ³	273	4.914.000
Mes 22	m ³	247	4.446.000
Mes 23	m ³	176	3.168.000
Total		6.048	108.864.000

4.6 Planta de revalorización de residuos

En la Región de Valparaíso se encuentra la planta de revalorización de residuos industriales y de construcción. Esta planta disminuye el impacto socioambiental de los vertederos ilegales a través de tecnología que permite la transformación de residuos en materias primas secundarias que pueden volver a utilizarse.

El tratamiento y revalorización de residuos disminuye el destino final de los residuos, los costos sociales y ambientales asociados. Esto repercute en menos contaminación de napas protegiendo el recurso hídrico, eliminación de riesgo de incendios y disminución de la huella de carbono de las empresas constructoras.

El objetivo de este proceso es reincorporar a procesos o generar nuevos productos con las materias primas revalorizadas. El proceso comienza con la generación de residuos en constructoras e industrias, estos residuos son transportados por una empresa a la planta revalorizadora que se encarga de recolectar, separar y revalorizar los residuos aptos para el reciclaje. Luego se logra reincorporar al mercado los productos generados por la revalorización de las materias primas recicladas.

La planta revalorizadora es capaz de reciclar aproximadamente el 75% de los residuos (entre un 70% y un 80%), mientras que el rechazo de los residuos es aproximadamente el 25% (entre un 20% y un 30%). Los residuos que se logran reciclar del 75% se desglosan aproximadamente en: 37% de cartón-papel, 13% de hormigón, 13% de plástico, 10% de madera y 2% de metal.

Residuos separados y reutilizados como materia prima: separación de cartón para triturarse, separación de yeso, separación de residuos metálicos en ferrosos (acero) y no ferrosos (aluminio, cobre y bronce), separación de plásticos (PET, PEAD, PVC, PEBD, PS, PA, ABS, SAN, PC, Acrílico) para triturarse, separación de madera para triturarse y separación de árido de hormigón (19 mm similar a la gravilla), árido de asfalto (19 mm similar a la gravilla) y árido base estabilizada (38 mm, 84% CBR).

5 Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación en terreno de ambas edificaciones en estudio.

Los procesos constructivos de Obra Gruesa (muros, vigas, losas, pilares) similares en ambas obras, consisten en una serie de etapas. En primer lugar, se debe trazar y delimitar el lugar donde ira el elemento (según especificación de plano), luego tratar la junta de unión de elementos y limpiar la zona. Posteriormente, se coloca la enfierradura (transportada por grúa) y se confina en terreno (con trabas y estribos, amarrados con alambre), se colocan las canalizaciones de instalaciones y separadores de moldaje. Luego, se coloca el moldaje (transportado por grúa) y se cierra el elemento a hormigonar (nivelado). Posterior a esto, se comienza el vertido de hormigón, que puede ser con capacho (transportado por grúa) o con bomba hormigonera, se compacta el hormigón vibrándolo y se afina la superficie. Por último, al día siguiente se retira el moldaje y se cura el hormigón para mantener humedad. Los residuos generados de las partidas de Obra Gruesa son retirados en conjunto y trasladados a una zona de acopio.

Los procesos constructivos de las Terminaciones se asimilan en ambas obras. La tabiquería consiste en una serie de etapas, que primero requieren trazado de los canales en piso y cielo, luego se fijan estas canales (inferior y superior) con clavos de impacto y se comienzan a colocar los perfiles verticales. Posterior a esto, se instala la primera cara de placas de yeso-cartón, fijadas con tornillos y se coloca la aislación de lana de vidrio. Luego, se colocan refuerzo y las instalaciones para terminar de tapar con la segunda cara de placas de yeso-cartón. Por último, se coloca cinta en las juntas y masilla para tapar las juntas. En el caso de los pavimentos, revestimientos y guardapolvos, sus procesos constructivos son similares. Primero se comienza trazando la partida (según plano), luego se prepara el adhesivo con mezcladora (para superficies rígidas o flexibles, según corresponda) y se extiende con una llana dentada para adherencia. Posteriormente, se cortan los porcelanatos o cerámicos con un disco diamantado y se instalan, colocando separadores y nivelando correctamente. Una vez seco el adhesivo, se quitan los separadores y se coloca el fragüe, limpiando bien la zona posterior al fraguado. Los residuos generados de las partidas de Terminaciones son retirados en conjunto y son trasladados a una zona de acopio.

En el caso de los proyectos analizados, los residuos se encuentran completamente mezclados. Para abordar esta situación, se tomó como referencia el estudio de Bravo et al. (2019), que estima los porcentajes de residuos generados en las etapas de obra gruesa y terminaciones en un proyecto estándar de edificación. Según este estudio, a través de un análisis de clasificación de residuos de construcción y demolición (RCD) en una edificación en altura, se determinó que la obra gruesa contribuye con un 22% del total de los residuos, mientras que las terminaciones representan el 78%. Dentro de la obra gruesa, el hormigón es el principal generador de residuos con un 90,4%, seguido por los moldajes con 2,8% y luego la enfierradura con un 2,8%. En cuanto a las terminaciones, la tabiquería es la partida que más residuos genera con un 84,5%, seguida de los guardapolvos con un 8,5%, los revestimientos con un 1,1% y los pavimentos con un 1%. Es necesario aclarar que, en cuanto a otras partidas

como instalaciones, instalación de faena, movimiento de tierra, etc. No fueron consideradas de manera específica para este estudio, con el fin de facilitar el análisis.

Obra sin gestión de residuos de construcción y demolición.

La Tabla 5.1 presenta exclusivamente los recursos utilizados en las etapas de Obra Gruesa y Terminaciones. Se observa la unidad de medida y cantidad de recursos utilizados en cada proceso constructivo. Además, se muestra el volumen total de residuos generados por las partidas seleccionadas para el estudio, que asciende a 4.464 m³, con un costo total de \$62.503.797, considerando tanto el transporte como la disposición final de estos residuos.

Tabla 5.1. Partidas de Obra gruesa y Terminaciones de Edificación sin gestión de RCD.

Procesos Constructivos	Unidad de Medida	Cantidad Recursos	Residuos [m³]	Costo Residuos [\$]
Hormigón	m ³	10.320	939	13.148.673
Enfierradura	kg	965.264	30	421.805
Moldaje	m ²	67.560	29	407.260
Tabiques	m ²	15.918	3.075	43.059.788
Guardapolvos	ml	14.736	313	4.383.332
Pavimentos	m ²	15.386	41	567.255
Revestimientos	m ²	6.143	37	515.686
Total			4.464	62.503.797

Se puede apreciar que el mayor volumen de residuos se obtiene de las partidas de hormigón y tabiquería, concentrando 939 m³ y 3.075 m³ de residuos.

La Figura 5.2 muestra el volumen total de residuos mezclados de todas las partidas del proyecto, abarcando 27 meses de construcción, con un total de 4.722 m³, equivalentes a un valor de \$66.113.600 durante el periodo de la Edificación sin gestión de RCD.

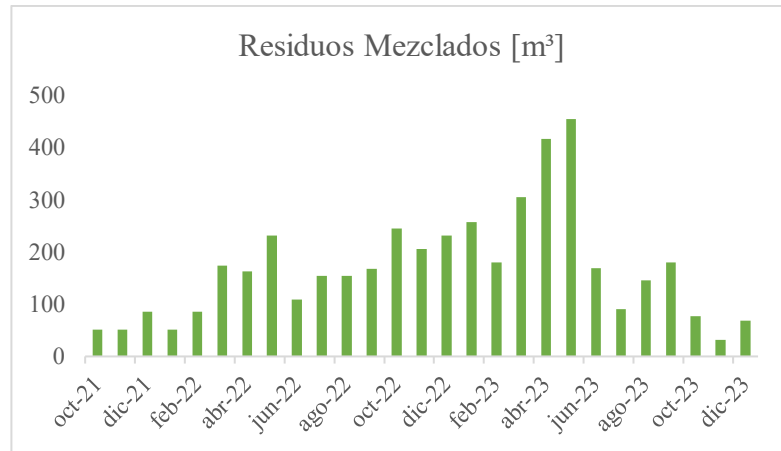


Figura 5.2. Gráfico de volumen de residuos mezclados [m³] por mes de la Edificación sin gestión de RCD.

Obra con gestión de residuos de construcción y demolición.

En la Tabla 5.2 se presentan exclusivamente los recursos utilizados en las etapas de Obra Gruesa y Terminaciones. Se observa la unidad de medida y cantidad de recursos utilizados en cada proceso constructivo. Además, se muestra el volumen total de residuos generados por partidas seleccionadas para el estudio, que ascienden a 5.718 m³ con un costo total de \$102.920.025 de residuos generados por las partidas respectivas, considerando el transporte y disposición final de los residuos.

Tabla 5.2. Partidas de Obra gruesa y Terminaciones de Edificación con gestión de RCD.

Partidas	Unidad de Medida	Cantidad Recursos	Residuos [m³]	Costo Residuos [\$]
Hormigón total	m³	17.064	1.203	21.650.872
Enfierradura total	kg	1.899.999	37	670.602
Moldaje total	m²	87.701	39	694.552
Tabiques	m²	15.267	3.939	70.903.124
Guardapolvos	ml	13.554	401	7.217.683
Pavimentos	m²	16.212	52	934.053
Revestimientos	m²	7.335	47	849.139
Total			5.718	102.920.025

Se observa que el mayor volumen de residuos se obtiene de las partidas de hormigón y tabiquería, concentrando 1.203 m³ y 3.939 m³ de residuos.

La Figura 5.3 muestra el volumen total de residuos mezclados de todas las partidas del proyecto, sumando un total de 6.048 m³ de con un valor de \$108.864.000 durante el periodo de la Edificación con gestión de RCD.

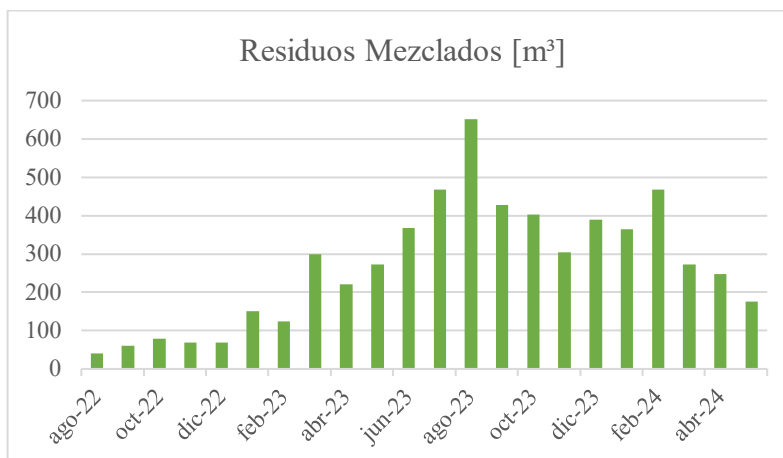


Figura 5.3. Gráfico de volumen de residuos mezclados [m³] por mes de la Edificación con gestión de RCD.

La planta de revalorización de residuos se encarga del transporte y disposición final de residuos, logrando revalorizar aproximadamente 37% de cartón-papel, 13% de hormigón, 13% de plástico, 10% de madera y 2% de metal. Se revaloriza aproximadamente el 75% de residuos (entre un 70% y un 80%), equivalente a 4.536 m³ del total de residuos. Mientras que aproximadamente el 25% (entre un 20% y un 30%) que no logra revalorizarse es dispuesto finalmente en un vertedero, y equivale a 1.512 m³ de residuos.

Tabla 5.3. Cantidad de camiones, Periodo y Costo de retiro de RCD de ambas Edificaciones.

Edificación en altura	Cantidad de camiones	Periodo [meses]	Costo [\$]
Con gestión de RCD	440	22	108.864.000
Sin gestión de RCD	339	27	66.113.600

En la Tabla 5.3 se observa que la edificación con gestión de RCD incurre en un gasto de \$108.864.000 en el transporte de sus residuos a la planta revalorizadora, con un costo promedio por camión de \$247.418 (\$19.032/m³). En contraste, la edificación sin gestión de RCD gasta \$66.113.600 en el transporte de sus residuos a vertederos, con un costo promedio por camión de \$195.025 (\$15.002/m³). Esto implica una diferencia de \$4.030/m³ más al llevar los residuos a la planta revalorizadora, lo que representa un aumento en el costo del 0,26%.

Este incremento genera un impacto económico negativo en términos del costo de gestionar y disponer de los RCD en la planta revalorizadora.

Tabla 5.4. Residuos y valores totales de etapas de Obra gruesa y Terminaciones de la Edificación con gestión de residuos. (Superficie construida de 37.528 m²)

Etapa	Residuos [m³]	Factor Residuos [m³/m²]	Costo [\$]
Obra Gruesa	1.331	0,035	23.950.080
Terminaciones	4.717	0,126	84.913.920
Total	6.048	0,161	108.864.000

En la Tabla 5.4 la etapa de Obra Gruesa generó 1.331 m³ de RCD, con un Factor de Residuos de 0,035 m³/m² (metros cúbicos de residuos por metro cuadrado construido) por un valor de \$23.950.080 y la etapa de Terminaciones generó 4.717 m³ de RCD, con un Factor de Residuos de 0,126 m³/m² por un valor de \$84.913.920. Considerando que la Edificación con gestión de residuos tiene una superficie construida de 37.528 m², se obtuvo un total de 6.048 m³ de RCD, un Factor de Residuos de 0,161 m³/m², a un valor total de \$108.864.000.

Tabla 5.5. Residuos y valores totales de etapas de Obra gruesa y Terminaciones de la Edificación sin gestión de residuos. (Superficie construida de 23.494 m²)

Etapa	Residuos [m³]	Factor Residuos [m³/m²]	Valor [\$]
Obra Gruesa	1.039	0,044	14.544.992
Terminaciones	3.683	0,157	51.568.608
Total	4.722	0,201	66.113.600

En la Tabla 5.5 la etapa de Obra Gruesa generó 1.039 m³ de RCD, con un Factor de Residuos de 0,044 m³/m² por un valor de \$14.544.992 y la etapa de Terminaciones generó 3.683 m³ de RCD, con un Factor de Residuos de 0,157 m³/m² por un valor de \$51.568.608. Considerando que la Edificación con gestión de residuos tiene una superficie construida de 23.494 m², se obtuvo un total de 4.722 m³ de RCD, un Factor de Residuos de 0,201 m³/m², a un valor total de \$66.113.600.

6 Discusión

La investigación considera la comparación de dos proyectos de Edificación en altura donde se analizan sus recursos empleados en procesos constructivos de mayor impacto en la generación de RCD, estos procesos constructivos a considerar son las partidas de hormigón, enfierradura, moldajes, tabiquería, guardapolvos, revestimientos y pavimentos. Los recursos utilizados en ambos proyectos se asimilan casi en su totalidad y los procesos constructivos poseen diferencias principalmente en la limpieza, retiro y disposición final de los RCD. Analizando los procesos constructivos, es más eficiente el proyecto con gestión de residuos, debido a su planificación y diseño sostenible, lo que se relaciona con lo mencionado por Kabirifar et al. (2020), quienes destacan la importancia de la planificación y diseño de un proyecto. Al separar los residuos tiene mayor control sobre el manejo de residuos y permite una mejor trazabilidad, reduciendo el impacto ambiental y social (Huang et al., 2018). Una obra al estar más limpia y ordenada, disminuye accidentes laborales. A corto plazo es más costosa, pero a largo plazo puede ser más eficiente económicamente al reutilizar y al reducir la disposición final (Véliz et al., 2022). La gestión de residuos mejora la eficiencia de los procesos constructivos al incluir principios de la economía circular y criterios de sostenibilidad, como menciona Ghisellini et al. (2016).

Implementar un plan de gestión de residuos trae consigo beneficios económicos y ambientales a largo plazo. La reducción de costos de materiales debido a la reutilización y reciclaje de materiales disminuye la necesidad de adquirir materias primas vírgenes, también se reduce la disposición final a vertederos o rellenos sanitarios, tal como menciona Fenner et al. (2018). Las empresas pueden acceder a incentivos por parte del gobierno al implementar planes de gestión de residuos responsables y también se puede generar una economía en torno a la valorización de residuos (plantas de reciclaje o áridos reciclados), incentivando la creación de nuevas empresas de logística y transformación de RCD. A pesar de que la tecnología sostenible tiene costos iniciales altos, tienen un retorno de la inversión a largo plazo. Respecto al medioambiente, reutilizar y reciclar disminuye el impacto de la huella de carbono al no gastar energía en la producción de nuevos materiales (cemento, cal o acero), se disminuyen los residuos destinados a vertederos y rellenos sanitarios (reduciendo la contaminación de suelos, napas subterráneas y aire) y también se disminuye la extracción de recursos naturales para la producción de nuevos materiales (Hertwich, 2021).

A pesar de los beneficios mencionados, aún existen varias barreras (técnicas, económicas, sociales y políticas) para implementar planes de gestión de RCD. Técnicamente, es una barrera mejorar infraestructura y tecnología sostenible, para separar, tratar y valorizar residuos a mayor escala. Existen las barreras económicas de el alto costo de producir materiales reciclados es menos preferible que producir materiales vírgenes a menor costo, la falta de incentivos financieros y el largo plazo del retorno de inversiones en proyectos sostenibles (Véliz et al., 2025). También existe la falta de formación técnica en la sociedad, falta de conciencia y educación ambiental, limitando la opción de prácticas sostenibles desde el diseño de un proyecto. Por último, la falta de marcos normativos claros y exigibles, la falta

de fiscalización efectiva y la descoordinación entre actores públicos y privados, es lo que implica la barrera política (Vargas et al., 2024).

Las diferencias en costos de retiro de residuos entre los proyectos son considerables, la edificación con gestión de RCD resulto ser mayor con una diferencia de \$42.750.400. Diferencia que se ve en el costo del retiro de residuos con un valor de \$4.030/m³ asociado al traslado hacia la planta revalorizadora en lugar de ir a vertederos. A pesar de los mayores costos, la edificación con gestión de RCD es completada en un plazo de 22 meses, frente a los 27 meses que duro la edificación sin gestión de RCD. Esta diferencia puede estar vinculada al diseño y planificación del proyecto con gestión de RCD, al existir mayor eficiencia en el uso de materiales, el factor de residuos es de 0,161 m³/m² frente a los 0,201 m³/m² del proyecto sin gestión de RCD, lo que refleja una mejor planificación. Estos valores se encuentran alineados con lo investigado por Bravo et al. (2019), en ese estudio obtuvieron un factor de residuos de 0,186 m³/m², evidenciando que la magnitud de residuos generados en proyectos de edificación en altura en Chile es elevada comparado con países desarrollados donde se registran valores de 0,140 m³/m², como indica el MINVU (2019).

Las diferencias de la disposición final de residuos en ambos proyectos ubicados en la comuna de Concón (distanciados a 10 km entre sí), se considera en que la edificación sin gestión de residuos dispone los RCD en vertederos de ubicación indefinida, y de legalidad desconocida. Como resultado, no se tiene seguimiento de la disposición final de residuos y de esta forma no se logra revalorizar ningún material de los residuos mezclados, generando un impacto alto de la huella de carbono, afectando negativamente al medioambiente y sociedad, posiblemente contaminando tóxicamente suelos y napas subterráneas, generando problemas de salud a corto o largo plazo, lo que afecta la calidad de vida de la población (Kabirifar et al., 2020). Sin embargo, la edificación con gestión de residuos dispone el 100% de los RCD en una planta revalorizadora. El 75% (4.536 m³) logra ser revalorizado, este valor se encuentra dentro del rango promedio (70% a 95%) de países desarrollados (Huang et al., 2018). La mayoría de estos residuos revalorizados (hormigón, metal, madera, cartón y plástico) son reutilizados en distintas formas de materia prima, el hormigón es triturado para hacer un árido similar a la gravilla, la madera es triturada para hacer pequeños chips de madera decorativos o se hace materia prima, y los demás residuos (metal, cartón y plástico) son triturados para reutilizarse como materia prima. El 25% (1.512 m³) no logra ser revalorizado y termina en un vertedero de residuos, cifra menor al 35% que es el promedio a nivel mundial (Menegaki & Damigos, 2018). Los beneficios obtenidos de revalorizar son sociales y medioambientales. Al no disponer la totalidad de residuos en vertederos se mejora la calidad de vida de la población, mejora el entorno urbano, disminuye la posibilidad de enfermedades y vectores, reduce el riesgo de contaminación de la superficie y aguas subterráneas (CDT 2020). Al revalorizar 75% de RCD, se logra disminuir el impacto de la huella de carbono que genera un edificio, al reducir la demanda de materiales vírgenes y extender el ciclo de vida de los actuales. (Fenner et al., 2018). Económicamente, gestionar RCD tiene un costo más elevado que disponer los RCD directamente a un vertedero, debido a que el costo por transportar, disponer y la separación complicada al estar los residuos mezclados, generan un impacto

económico negativo (Yeheyis et al., 2013). El costo económico a corto plazo por gestionar RCD es un 0,26% más elevado que no gestionar los RCD por metro cubico de residuos. No obstante, implementar gestión de RCD y valorización para las empresas constructoras resulta beneficioso en muchos sentidos, reducen costos en materiales y recursos a largo plazo, se anticipan a regulaciones que serán obligatorias a futuro, se evitan sanciones por mala disposición de residuos y obtienen reconocimientos como empresas sustentables y responsables, dándoles ventajas competitivas en el mercado que cada vez opta por opciones sostenibles.

Se recomienda que para fomentar las buenas prácticas en la gestión y la revalorización de RCD en Chile a nivel de políticas públicas, es necesario fortalecer la normativa nacional para los RCD, se deben incluir y priorizar los RCD en la Ley N°20.920, también se debe pedir que proyectos públicos y privados cumplan con cierta cantidad de residuos valorizados. A pesar de existir ciertos incentivos, se debe fortalecer este tema, ayudando a financiar plantas recicladoras y dando más incentivos aun a los proyectos sostenibles, dar beneficios a quienes utilicen materiales reciclado, incentivando lo que corresponde a la valorización. Además de esto, es importante fortalecer lo que corresponde a fiscalizaciones, siendo estas más exigentes con aquellas empresas que no cumplan con un correcto manejo de residuos y exigirles planes de gestión de residuos.

En un futuro los proyectos de construcción en Chile tienen una amplia oportunidad de mejorar si implementan prácticas sostenibles, incluyendo un plan de gestión de residuos desde la planificación y diseño de un proyecto, ocupar los principios de la economía circular en el uso de materiales y productos, mejorar la logística de residuos coordinándose entre empresas, recicladores y gestores de residuos, y usar la tecnología para planificar y controlar eficazmente los recursos. Tecnología como el BIM que permite modelar materiales utilizados, calcular desperdicios y planificar la recuperación de materiales. También la tecnología de plantas de revalorización, u otra opción como las plantas móviles trituradoras de RCD, que permiten revalorizar residuos en obra. Los resultados de este estudio de comparar obras con y sin gestión de residuos permite, estandarizar procedimientos como la separación, clasificación, recolección y disposición de RCD desde el inicio de un proyecto, lo cual puede aplicarse no solo a edificaciones, sino que también a viviendas pequeñas e incluso a remodelaciones.

7 Conclusiones

Esta investigación constituye un estudio de caso comparativo entre dos proyectos de edificación en altura ubicados en la región de Valparaíso, Chile. El estudio se enfoca en la gestión de residuos, analizando los recursos utilizados y la generación de residuos en las partidas críticas del proceso constructivo.

Respecto a las limitaciones de la investigación, no permite una representación estadísticamente significativa, al solo estudiarse dos proyectos de edificación. Otro factor es la obtención de datos sobre recursos y residuos de construcción que fueron proporcionados por las constructoras, lo que podría introducir sesgos relacionados con la disponibilidad y precisión de la información. Por último, se estudian los procesos constructivos que generan la mayor cantidad de RCD (los movimientos de tierra son generalmente utilizados como rellenos en otros terrenos). Los resultados indican que las partidas que más generan residuos son la de Hormigón en la Obra Gruesa y la partida de Tabiquería en Terminaciones, concentrando el 89,9% de los RCD totales.

En la Edificación con gestión de RCD se obtuvo un Factor de Residuos de $0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2$, cifra similar a la de países desarrollados, y logrando revalorizar aproximadamente el 75% de los residuos. A diferencia de la Edificación sin gestión de RCD, que obtuvo un Factor de Residuos mayor de $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2$, disponiendo residuos en vertederos. La diferencia está vinculada al diseño y planificación del proyecto con gestión de RCD, al existir mayor eficiencia en el uso de materiales.

Los resultados aportan al conocimiento existente al evidenciar los beneficios de la economía circular en la construcción, con la reducción de un 20% de volumen de residuos por metro cuadrado y con la valorización de un 75% de los RCD, indican lo beneficioso de estas prácticas sostenibles. El estudio muestra que implementar planes de gestión de residuos en proyectos de edificación resulta ser costoso inicialmente, pero a largo plazo trae bastantes beneficios, reduce la generación de residuos, disminuye los plazos de ejecución, mejora la seguridad en la obra y permite revalorizar residuos, generando menos uso de materiales, y beneficios sociales y ambientales. El beneficio social de una correcta gestión de residuos disminuye los problemas por vertederos ilegales, mejora el entorno urbano y mejora la calidad de vida de la población. El beneficio ambiental corresponde a la reducción del uso de materiales vírgenes y en la huella de carbono asociada a la producción, se disminuye la disposición final de residuos, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a preservar los recursos naturales.

Respecto a las políticas públicas, los hallazgos destacan la urgencia por fortalecer el marco normativo para los RCD en Chile, exigiendo metas de valorización para proyectos públicos y privados. Es necesario aumentar los incentivos financieros para proyectos sostenibles, incorporar más instalaciones de plantas de reciclaje y fortalecer las fiscalizaciones. Por último, se debe fomentar la educación en sostenibilidad y economía circular.

Se recomienda para las empresas constructoras, que, para mejorar la optimización de la gestión de residuos y sus beneficios a largo plazo, adopten políticas de separación de residuos más rigurosas como capacitar a los trabajadores sobre separación y clasificación de RCD (hormigón, metal, madera, plástico, cartón), se establezcan puntos limpios en obra usando contenedores rotulados para mejorar la separación. Incorporar gestión de residuos en la etapa de diseño y planificación, pueden usarse herramientas como BIM para calcular materiales y residuos. Trabajar en conjunto con gestores y plantas de reciclaje para mejorar la logística, reduciendo costos de transportes y disposición final. Monitorear la cantidad de residuos generados y valorizados, registrándolos a lo largo de un proyecto. Estas recomendaciones pueden contribuir significativamente a reducir el impacto ambiental en el rubro de la construcción en Chile.

Cabe destacar que una limitante en este estudio es que no se incluyó el costo de llevar los residuos a un lugar autorizado (para el caso del proyecto sin gestión de RCD), centrándose únicamente en el costo del retiro de los residuos en obra, por lo que podría variar el costo del transporte y disposición en un lugar autorizado, variando el verdadero costo económico y ambiental de no gestionar RCD. Esta limitante puede influir en la comparación de los proyectos, respecto a gestionar RCD, podría resultar menos costoso al considerar los factores.

Los hallazgos y resultados obtenidos permiten afirmar que se cumplieron los objetivos específicos de la investigación. El primer objetivo se logró al comparar dos proyectos de edificación y evidenciar que la implementación de un plan de gestión de RCD mejora la eficiencia y reduce la generación de RCD. El segundo objetivo se logra identificar y analizar los procesos constructivos de mayor impacto en la generación de RCD, siendo las partidas de Hormigón y Tabiquería que concentran mayor cantidad de residuos generados. Finalmente, se proponen recomendaciones para mejorar la eficiencia de los procesos constructivos, como la planificación y diseño, uso de BIM, coordinación de actores, promover reciclaje y reutilización de materiales, todo esto alineado con los principios de la economía circular y con potencial aplicación en la región y en el país.

Para futuras investigaciones, se sugieren abordar las limitantes de este estudio realizando una evaluación completa de los costos reales del manejo de residuo, considerando el transporte y disposición legal de residuos. También se recomienda considerar métodos constructivos más sostenibles, los métodos tradicionales generan gran cantidad de residuos a diferencia de los métodos prefabricados, que benefician en reducir plazos de ejecución, mejor manejo y control de materiales y disminuyen los residuos. Se sugiere considerar el tipo de material usado en un proyecto, siendo ideal los materiales sostenibles y reciclables. Estos materiales pueden reducir el volumen de residuos y su revalorización, por ejemplo, los áridos reciclados para hormigones que reducen la huella de carbono y fomentan la circularidad, favoreciendo la gestión de residuos eficiente.

Por último, este estudio demuestra que la gestión de residuos de construcción y demolición es necesaria, el rubro de la construcción en general debe ver la sostenibilidad como una inversión estratégica en eficiencia y cumplimiento a futuro. Es necesario que todos los actores opten por políticas más rigurosas en separar, valorizar y gestionar residuos, debe fortalecerse

la investigación en esta área. Mediante un cambio generalizado sobre las prácticas sostenibles, en conjunto con políticas públicas exigentes y con fiscalizaciones efectivas, será posible avanzar hacia una industria de la construcción responsable, resiliente y alineada con los desafíos ambientales y sociales de hoy.

8 Bibliografía

1. Bravo, J., Valderrama, C., & Ossio, F. (2019). Economic assessment of the construction waste of a highrise building: A case study. *Informacion Tecnologica*, 30(2), 85–93. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200085>
2. Comité Consultivo Publico. (2020). *Hoja de Ruta RCD Economía Circular*. <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Hoja-de-Ruta-RCD-Economia-Circular-en-Construccion.pdf>
3. Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2020). *Plan de gestión de residuos en obra, paso a paso*. http://mailing.cdt.cl/files/2020/1/1Plan_de_Gestion_de_Residuos_en_Obra_Paso_a_Paso_N16.pdf
4. De Oliveira Rodrigues, P., Pós-Graduação em Gestão de Organizações Públicas UFSM Endereço, P., Aloysio Francisco Guth, R., Santa Rita, B., Bonito, R., & Moretto Neto, L. (2022). *O Programa Mesa Brasil-SESC sob à luz da Coprodução e da Economia Circular: um estudo multicasos The Mesa Brasil-SESC Program under the light of Coproduction and Circular Economy: a Multicase Study El Programa Mesa Brasil-SESC bajo la luz de la Coproducción y de la Economía Circular: un estudio múltiple casos Katiane Fréu*. <https://orcid.org/0000-0003-4726-5260>
5. Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Founding Partners of the Ellen MacArthur Foundation 2013 Circular economy towards the opportunities for the consumer goods sector 2 Pre-print version*. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/50c85a620a58955/original/Towards-the-circular-economy-Vol-2.pdf>
6. Fenner, A. E., Kibert, C. J., Woo, J., Morque, S., Razkenari, M., Hakim, H., & Lu, X. (2018). The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 1142–1152. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.012>
7. Ferronato, N., Guisbert Lizarazu, G. E., Gorritty Portillo, M. A., Moresco, L., Conti, F., & Torretta, V. (2022). Environmental assessment of construction and demolition waste recycling in Bolivia: Focus on transportation distances and selective collection rates. *Waste Management and Research*, 40(6), 793–805. <https://doi.org/10.1177/0734242X2111029170>

8. 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>
9. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 143, pp. 757–768). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
10. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
11. Guerrero-Villegas, W. M., Gallegos-Varela, M. C., Rosero-Rosero, P. M., & Pinargote-Yépez, L. M. (2024). Economía circular en contextos locales: caso Ecuador. *Revista Derecho GV*, *20*. <https://doi.org/10.1590/2317-6172202430>
12. Hertwich, E. G. (2021). Increased carbon footprint of materials production driven by rise in investments. *Nature Geoscience*, *14*(3), 151–155. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00690-8>
13. 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 and Recycling*, *129*, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
14. Islam, R., Nazifa, T. H., Yuniarto, A., Shanawaz Uddin, A. S. M., Salmiati, S., & Shahid, S. (2019). An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, *95*, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>
15. Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, *263*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>
16. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, *143*, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

17. Maury-Ramírez, A., Illera-Perozo, D., & Mesa, J. A. (2022). Circular Economy in the Construction Sector: A Case Study of Santiago de Cali (Colombia). *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031923>
18. 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. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
19. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). *Gestión sustentable de residuos de la construcción y demolición (RCD)*. Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable. <https://construye2025.cl/rcd/wp-content/uploads/2019/10/Gesti%C3%B3n-Sustentable-de-Residuos-de-la-Construcci%C3%B3n-y-Demolici%C3%B3n-RCD.pdf>
20. Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación Circular economy: Relationship with the evolution of the concept of sustainability and strategies for its implementation. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 15. <https://dadun.unav.edu/server/api/core/bitstreams/b80ceef8-c054-4a47-a9f3-197533e23013/content>
21. Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
22. Vargas, I. S., Gomes, F. B. R., & Castro, S. R. (2024). Reflections on Covid-19 pandemic and waste management in developing countries: A case study in São Paulo city, Brazil. *Waste Management and Research*, 42(1), 41–50. <https://doi.org/10.1177/0734242X231175817>
23. Véliz, K. D., Busco, C., Walters, J. P., & Esparza, C. (2025). Circular Economy for Construction and Demolition Waste in the Santiago Metropolitan Region of Chile: A Delphi Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/su17031057>
24. Véliz, K. D., Ramírez-Rodríguez, G., & Ossio, F. (2022). Willingness to pay for construction and demolition waste from buildings in Chile. *Waste Management*, 137, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.008>

25. Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 68, pp. 825–833). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>
26. Yáñez, P. P. (2021). Viabilidad de la economía circular en países no industrializados y su ajuste a una propuesta de economías transformadoras. Un acercamiento al escenario latinoamericano. *Ciriec-Espana Revista de Economía Publica, Social y Cooperativa*, 101, 289–323. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.101.15979>
27. Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M. S., Eskicioglu, C., & Sadiq, R. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15(1), 81–91. Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0481-6>
28. Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environment*, 803. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>