PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular

Tema: Uso de residuos de construcción y demolición (RCD) para uso en hormigón estructural en Latinoamérica.

AUTOR:
Pablo Sebastián Proaño Sánchez

TUTOR:
Ing. Oscar Jaramillo

QUITO 26, ENERO DE 2026

Contenido

1. Introducción 6

1.1 Justificación. 6

1.2 Planteamiento del Problema. 7

1.3 Objetivos. 8

1.4 Alcance. 8

2. Fundamentación Teórica 9

2.1 Estado del Arte 9

2.1.1 Panorama Global y Revisión Sistemática Reciente (2025) 9

2.1.2 Áridos Reciclados Usados en Hormigón Estructural con CO2 11

2.1.3 Evidencia Experimental 12

2.1.4 Otras Experiencias 12

2.2 Marco Teórico 14

2.2.1 Residuos de Construcción y Demolición RCD 14

2.2.2 Impactos Ambientales de una Mala Gestión 15

2.2.3 Impactos Sociales de una Mala Gestión 15

2.2.4 Economía Circular 16

2.2.5 Jerarquía de Residuos 17

2.2.6 Huella de Carbono 18

2.3 Marco Conceptual 19

2.4 Marco Histórico 20

2.4.1 Chile 21

2.4.2 Colombia 26

2.4.3 Perú 31

2.4.4 Brasil 33

2.4.5 CEPAL 39

2.4.6 Banco Interamericano de Desarrollo (BID) 41

2.5 Marco Legal y Normativo 42
2.5.1 Chile 42
2.5.2 Colombia 44
2.5.3 Perú 47
2.5.4 Brasil 49
3. Fundamentos Metodológicos 54
3.1 Diseño Metodológico 54
3.1.1 Definición del Enfoque, Diseño y Tipo de Investigación del Trabajo 55
3.1.2 Definición de Métodos, Técnicas y Tipo de Investigación del Trabajo 56
4. Análisis De Resultados 57
4.1 Presentación De Resultados. 57
4.1.1 Brasil 57
4.1.2 Colombia 61
4.2 Análisis De Resultados 65
4.2.1 Estructura Común en los Modelos de Gestión 65
4.2.2 Diferenciadores Críticos de los Modelos de gestión 66
4.2.3 Comparación Interpretativa 68
4.2.4 ¿Es Viable Utilizar RCD Reciclado para Nuevos Hormigones? 70
4.2.5 El Problema del Comprador Informal. 72
4.2.6 Modelo de gestión a seguir. 72
4.2.7 Como se Compara con el Distrito Metropolitano de Quito 74
5. Conclusiones y recomendaciones 75
5.1 Conclusiones 75
5.2 Recomendaciones 76
6. Bibliografía 78
7. Anexos 85

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros técnicos para el uso de áridos reciclados 10
Tabla 2 Tabla Resumen 12
Tabla 3 Plantas de valorización 26
Tabla 4 Reportes 30
Tabla 5 % RCD por ciudad 31
Tabla 6 Tipos de plantas 34
Tabla 7 Metas de cumplimiento de reciclaje 45
Tabla 8 Actores y elementos operativos 45
Tabla 9 Clasificación CONAMA 50
Tabla 10 Requisitos y métodos de ensayo 53
Tabla 11 Trazabilidad 66
Tabla 12 Habilitación normativa 67

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Consumo global de materiales 16
Ilustración 2 Jerarquía de Residuos..... 18
Ilustración 3 Flujograma Causal 21
Ilustración 4 Plantas (Usinas) Operativas 35
Ilustración 5 Estado de clasificación al llegar a la planta 36
Ilustración 6 Ubicación de las municipalidades que respondieron a la pregunta sobre poseer un plan de gestión..... 36
Ilustración 7 Perfil de compradores de áridos reciclados..... 37
Ilustración 8 Precio del agregado grueso en los diferentes estados 38
Ilustración 9 Modelo de gestión de RCD Brasil 58
Ilustración 10 Modelo de gestión de RCD Chile 60
Ilustración 11 Modelos de gestión RCD Colombia 62
Ilustración 12 Modelo de gestión RCD Perú 64

1. Introducción

La evidencia científica respalda la viabilidad técnica del uso de agregados reciclados en aplicaciones estructurales, demostrando que bajo condiciones controladas es posible mantener el desempeño mecánico ideal para ser utilizado, no obstante, la implementación efectiva en la región depende mucho de la gobernanza. El desafío principal no radica solo en las propiedades del material, sino en la existencia de sistemas de gestión bien ejecutados que aseguren su calidad, trazabilidad y clasificación, contrarrestando la informalidad que predominan en el sector.

El presente trabajo de integración curricular aborda esta problemática mediante un análisis comparativo de los marcos regulatorios y estrategias de gestión, a través de esta revisión, se identifican las condiciones técnicas y legales que habilitan o limitan el aprovechamiento de los RCD, destacando modelos integrales como el de Brasil, que norman desde la generación del residuo hasta su uso final en obra.

Finalmente, se puede observar la situación actual del Distrito Metropolitano de Quito. El análisis evidencia que la ciudad se encuentra aún en una etapa inicial, centrada en la disposición final de residuos de construcción, careciendo de la infraestructura para valorización del material y la normativa técnica específica necesaria para el aprovechamiento de estos recursos. Así, el presente trabajo indica la urgencia de transitar desde esquemas básicos de recolección hacia sistemas de gestión que garanticen una valorización segura y estandarizada en la construcción.

1.1 Justificación.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen uno de los volúmenes más grandes de desechos generados por la actividad humana. A nivel global, se estima que los RCD representan al menos el 30 % del total de residuos sólidos producidos (Soto-Paz, 2023). En América Latina, estudios específicos confirman magnitudes similares: en Brasil, por ejemplo, los RCD equivalen aproximadamente al 38 % del flujo combinado de residuos municipales y de construcción, con una tasa de reciclaje que no supera el 7 % (Nunes & Mahler, 2024). Estas cifras revelan una diferencia considerable frente a regiones como Europa, donde apuntan a tener un RCD reciclado de 70 % gracias estándares técnicos y mecanismos de fiscalización establecidos (European Commission, 2018).

Esta diferencia evidencia la necesidad de fortalecer la gestión de RCD en Latinoamérica, no solo desde el enfoque ambiental, sino también desde el punto de vista técnico y normativo.

La investigación se justifica por su utilidad práctica, ya que busca analizar y comparar los marcos regulatorios y estrategias de gestión adoptadas por países como Chile, Colombia, Perú y Brasil, con el fin de identificar buenas prácticas aplicables.

En el caso de los residuos de construcción y demolición (RCD), su reincorporación como áridos reciclados en el hormigón estructural representa una alternativa técnica viable para reducir la extracción de agregados naturales, mitigando la degradación ambiental asociada a las canteras y disminuyendo las emisiones derivadas del transporte y procesamiento de materiales vírgenes.

1.2 Planteamiento del Problema.

Se puede observar que, en gran parte de los países latinoamericanos, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) presentan algunas deficiencias en cuanto a implementación, regulación, ejecución y cumplimiento. A raíz de esto existe bajas tasas de reciclaje, ausencia de sistemas estandarizados, y la falta de una infraestructura destina al aprovechamiento de los materiales provenientes de la demolición y construcción.

Regiones como la Unión Europea, a pesar de tener retos por delante, cuenta con una normativa mejor diseñada y consolidada, estableciendo metas claras sobre la reutilización o reciclaje de RCD, mientras que en ciertos países de América Latina no existen objetivos definidos y cuantificables, ni una gestión coordinada a nivel nacional o regional. Con frecuencia los RCD suelen destinarse a botaderos o escombreras informales, e incluso cuando estas son certificadas, tienes falencias en el correcto funcionamiento de estándares operativos requeridos, generando grandes impactos ambientales y desaprovechando un alto potencial del uso residuos de construcción y demolición como material reciclado.

Esta problemática se agrava por la falta de lineamientos técnicos unificados que regulen el uso de áridos reciclados en el hormigón, también contribuye el hecho de que existe escasa evidencia experimental que respalde su desempeño mecánico bajo condiciones de carga.

Como consecuencia, existe desconfianza en el sector de la construcción a la par de una baja demanda por materiales reciclados, generando un uso ineficiente de los residuos de construcción y demolición, e incrementando la dependencia de recursos naturales no renovables.

1.3 Objetivos.

- **Objetivo general.**

Analizar el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) como material alternativo en la elaboración de hormigón estructural en Latinoamérica, evaluando su viabilidad técnica, ambiental y las condiciones de gestión que permiten su aprovechamiento.

- **Objetivo específico.**

1. Identificar los conceptos fundamentales relacionados con los residuos de construcción y demolición (RCD), su origen, clasificación y problemáticas asociadas a su gestión en el contexto latinoamericano.
2. Recopilar información sobre los volúmenes o cantidades de la utilización de reciclajes en el distrito metropolitano de Quito para comparar con valores semejantes con Latinoamérica.
3. Analizar la situación actual de la gestión y normativa de los RCD en Latinoamérica, identificando los principales desafíos e implementación que condicionan su uso hormigón estructural.

1.4 Alcance.

El presente estudio comprende el análisis de las estrategias de gestión, normativa vigente y aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Latinoamérica, con énfasis en su potencial aplicación dentro de hormigones estructurales. Se aborda desde una perspectiva documental, identificando experiencias regionales relevantes, marcos regulatorios y lineamientos técnicos. El trabajo se orienta a generar una visión que compare y proponga una contribución al fortalecimiento de políticas y prácticas sostenibles en el sector de la construcción.

2. Fundamentación Teórica

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Panorama Global y Revisión Sistemática Reciente (2025)

Para comprender la magnitud del impacto que los residuos de construcción y demolición (RCD) tienen a nivel mundial, es necesario partir de referentes de consumo de la industria. Actualmente, el sector de la construcción es responsable del 50% de la extracción de recursos minerales y del 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además, la industria consume el 40% de la energía global, el 30% del agua disponible y genera aproximadamente un tercio de la producción mundial de residuos. (Junior, et al., 2025)

Debido a esta problemática, la comunidad científica está en constante búsqueda de validaciones técnicas para el uso de RCD. Un aporte significativo y reciente es el trabajo desarrollado por (Junior, et al., 2025) del Instituto Federal Fluminense y a la Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), quienes llevaron a cabo una revisión sistemática de la literatura, filtrando más de 2000 documentos a través del protocolo PRISMA y analizando bibliográficamente 358 artículos para establecer el estado del arte actual sobre las propiedades mecánicas y la caracterización de agregados reciclados.

A través de este estudio, se han logrado consolidar parámetros técnicos indispensables que definen la viabilidad del uso de RCD en hormigones, a continuación, se detallan alguno de los parámetros presentados en la investigación:

Tabla 1
Parámetros técnicos para el uso de áridos reciclados

Parámetro	Descripción
Tasas de Reemplazo	La literatura actual indica que, para hormigones estructurales (20-25 MPa), las tasas de reemplazo parcial de agregados naturales por reciclados deben limitarse generalmente a un máximo del 25% en masa para no comprometer el desempeño.
3.2.4 Gravedad específica	La gravedad específica del agregado reciclado suele ser menor que la del agregado natural, principalmente por la presencia de mortero adherido y micro fisuras, lo que incrementa la porosidad y reduce la densidad. En la literatura se reportan rangos típicos alrededor de ≈1.9–2.7, con valores promedio cercanos a ≈2.3 g/cm³ en conjuntos amplios de muestras. (2.55-2.75 g/cm³ valor típico agregado natural.)
3.2.5 Mortero residual adherido	El mortero residual es una parte de pasta o mortero adherido al agregado reciclado tras la trituración. Es un parámetro crítico porque controla gran parte de la porosidad, la absorción de agua y la variabilidad del material. La revisión reporta rangos típicos de mortero adherido del orden de ≈20%–56%, lo que explica diferencias importantes de comportamiento entre agregados reciclados de distintas fuentes.
3.2.7 Absorción de agua	La absorción de agua del agregado reciclado suele ser mayor que la del agregado natural debido al mortero adherido y su mayor porosidad. En estudios compilados se reportan valores típicos en un rango amplio de ≈2%–15%, con promedios frecuentemente alrededor de ≈5% (dependiendo de la fracción granulométrica y del procesamiento del RCD). (0.5%-2% valor típico)

Nota: Elaboración propia con base en (Junior, et al., 2025)

Para mejorar las propiedades mencionadas y potenciar el uso estructural, se han investigado diversos métodos de tratamiento de los agregados. Junior et al. (2025) concluyen que el tratamiento de los agregados reciclados puede realizarse eficazmente mediante la adición de nanomateriales, carbonatación, recubrimiento con materiales cementosos, inmersión en sulfato de sodio, limpieza autógena, tratamiento térmico, limpieza ultrasónica y tratamiento con puzolanas.

No obstante, el estudio la caracterización de RCD es esencial para garantizar la calidad del hormigón, pero esta necesidad dificulta su producción a gran. Es importante mencionar que el estudio encontró algunas diferencias significativas en los resultados obtenidos respecto a los datos de caracterización de los agregados, las mezclas, tasas de reemplazo permisibles,

por esta razón, el hormigón reciclado se ha utilizado predominantemente en obras de pavimentación o en aplicaciones con baja demanda estructural.

En consecuencia, el uso de este material a escala comercial aún no parece ser viable de manera generalizada, ya que esta discrepancia entre estudios científicos hace que el establecimiento de estándares unificados sea difícil y requiera mucho tiempo.

2.1.2 Áridos Reciclados Usados en Hormigón Estructural con CO2

En Chile, además de los instrumentos de gestión en obra, se observa un impulso técnico hacia aplicaciones de mayor exigencia de los RCD, particularmente mediante el uso de áridos reciclados provenientes de residuos de hormigón en nuevos hormigones con potencial estructural. Un ejemplo relevante es la divulgación del proyecto FONDEF difundida por Construye2025, donde se reporta el desarrollo de un árido reciclado de hormigón "mejorado" mediante carbonatación acelerada/absorción de CO_2 (encapsulamiento bajo presión), con el objetivo de aumentar su desempeño. En esa experiencia se documentan ensayos de laboratorio (mecánicos y de durabilidad) y, de forma especialmente pertinente para el enfoque estructural, pruebas en elementos de hormigón armado (vigas), en las que se señala que el comportamiento estructural del hormigón con árido reciclado carbonatado no mostró diferencias relevantes respecto del hormigón de control, al alcanzarse resistencias comparables en las condiciones evaluadas. (Construye2025 proyecto FONDEF, 2023)

Complementariamente, el Centro UC Innovación del Hormigón enmarca este avance desde una mirada técnico-institucional: reconoce que el árido reciclado de hormigón es prometedor no solo por sustituir áridos naturales, sino porque la absorción de CO_2 puede mejorar su microestructura reduciendo porosidad; sin embargo, advierte que el salto desde pilotos hacia adopción amplia requiere enfrentar desafíos prácticos de calidad y consistencia del material, tales como asegurar un proceso de carbonatación eficiente y controlado, y gestionar la variabilidad del material de origen (cada hormigón de partida puede tener propiedades distintas, lo que condiciona el comportamiento del árido reciclado).Chile debate sobre RCD y hormigón estructural ya no se limita a "reciclar", sino a elevar calidad, control y trazabilidad del árido reciclado para que su desempeño sea verificable en aplicaciones estructurales. (Valeria F. Moraga D., 2024)

2.1.3 Evidencia Experimental

En Perú, Palma Vargas (tesis de maestría) evalúa si agregados reciclados obtenidos del tratamiento de residuos de edificaciones pueden sustituir agregados naturales para producir concreto simple, enfatizando la caracterización del agregado (granulometría, absorción, abrasión, humedad) y un diseño de mezcla base del orden de f'c ≈ 210 kg/cm², con una mezcla experimental con reemplazo parcial del agregado. En el registro se resume que el reemplazo reduce la resistencia a compresión respecto al patrón, pero que aun así se logra un concreto que supera la resistencia esperada, lo que refuerza la idea de viabilidad técnica cuando hay control del material y de la dosificación. (Palma Vargas, 2023)

Rodríguez Chico (tesis doctoral) trabaja con agregado reciclado proveniente de demolición de pavimento rígido y ensaya concretos con diferentes niveles de sustitución del agregado grueso natural. En el resumen del registro se reportan campañas con probetas cilíndricas y prismáticas y valores altos de resistencia a compresión y flexión para ciertos porcentajes de reemplazo (incluyendo el caso de sustitución total del agregado grueso en el resumen). Aunque el caso de aplicación es pavimento rígido, metodológicamente aporta evidencia experimental sobre hasta dónde puede llegar el desempeño mecánico del concreto reciclado cuando la fuente del RCD es concreta y el material es triturado y controlado. (RODRÍGUEZ, 2025)

2.1.4 Otras Experiencias

Como se menciona en "Panorama Global y Revisión Sistemática Reciente (2025)" hay una gran cantidad de artículos científicos que forman parte del estado del arte de los agregados reciclados, a continuación, se ha preparado una tabla resumen que contiene 3 ejemplares:

Tabla 2
Tabla Resumen

Título	Descripción
Mejía-de-Gutiérrez, R.; Robayo-Salazar, R.; Valencia-Saavedra, W. (2023). ***Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de***	Esta investigación aborda el aprovechamiento de RCD mediante la técnica de activación alcalina (AA), proponiendo el uso compuesto por residuos de concreto, cerámica y ladrillo, combinado con un 100% de agregados reciclados (finos y gruesos). El estudio detalla un riguroso procesamiento mecánico que permite clasificar al agregado grueso dentro de la categoría T1 ('Agregado fundamentalmente de concreto') según la norma NTC 6421,

construcción obtenidos mediante activación alcalina **(artículo). (Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, & Valencia-Saavedra, 2023)**	garantizando así sus propiedades físicas. Estructuralmente cumple frente a la normativa sismo resistente colombiana (NSR-10), los concretos activados alcalinamente alcanzaron la resistencia mínima a la compresión exigidos para ser catalogados como estructurales. Además, se demostró la fabricación exitosa de elementos prefabricados, como adoquines y bloques, confirmando que el material es apto para aplicaciones constructivas.
Ceballos-Medina, S.; González-Rincón, D. C.; Sánchez, J. D. (2020). ***Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) generados en la Universidad del Valle… para la fabricación de adoquines*** **(artículo). (Ceballos-Medina, González-Rincón, & Sánchez, 2020)**	En la Universidad del Valle propone una ruta integral de aprovechamiento para los RCD generados dentro del mismo campus universitario. La investigación abarco todo el ciclo del residuo: desde la identificación de puntos de acumulación y clasificación del escombro mixto (morteros, ladrillos y concretos), hasta su transformación final en agregados para la fabricación de adoquines. A diferencia de los estudios centrados únicamente en la resistencia a la compresión, este trabajo verifico el desempeño del material mediante ensayos de flexo tracción (módulo de rotura), parámetro crítico para elementos de pavimentación. Los resultados obtenidos a los 7 días mostraron un módulo de rotura promedio de 3.5 MPa, con una absorción de agua del 3.52% y una densidad de 1608 kg/m³. Estos valores evidencian que, aunque la densidad del material reciclado es inferior a la de los prefabricados tradicionales, sus propiedades mecánicas son aptas para cumplir con las solicitaciones de tráfico peatonal y vehicular ligero.
Construye2025 / UBB (2018). Caracterización de residuos de la construcción, 1° etapa: Desarrollo, validación y calibración de metodología, aplicado a casos piloto – Informe Final **(CITECUBB & Construye2025, 2018) (reporte técnico).**	Este trabajo es fundamental para el estado del arte regional porque desplaza el foco de la simple 'prueba de resistencia' hacia los prerrequisitos industriales: la valorización efectiva no es posible sin una rigurosa caracterización fisicoquímica previa y una clasificación operativa del residuo. En términos de desempeño material, el informe destaca las brechas físicas entre el árido natural y el reciclado específicamente la mayor porosidad y menor densidad, advierte sobre problemas prácticos en obra, como la pérdida acelerada de trabajabilidad si no se implementan protocolos de pre-mojado para compensar la alta absorción. El documento señala qué, a pesar de la evidencia técnica favorable en reemplazos parciales, la adopción es lenta.

Nota: Elaboración propia.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Residuos de Construcción y Demolición RCD

Durante las últimas décadas se ha evidenciado un crecimiento acelerado en el sector de la construcción, renovación, remodelación, reparación de infraestructura dentro de las zonas urbanas y rurales, por esta razón es inevitable que se generen residuos de construcción y demolición (RCD). Varios reportes internacionales, como (*Global Status Report for Buildings and Construction 2022)* del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), afirman que actividades constructivas generan aproximadamente 100 mil millones de toneladas de residuos anualmente (United Nations Environment Programme (UNEP), 2022)

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y Eurostat afirman que los RCD sobrepasan el 30% de los residuos generados en Europa (European Commission , s.f.) mientras que en países como Brasil el porcentaje de RCD es un poco mayor ocupando el 38.2% de los residuos sólidos municipales (municipal solid waste MSW) (Nunes & Mahler, 2024)

Estos residuos pueden variar en función del tipo de obra que ejecutada, estos son, pero no se limitan a hormigón, ladrillos, cerámica, metales, madera, plásticos, vidrio, yeso, así como pequeñas proporciones de materiales con posibles contaminantes o elementos peligrosos.

Debido a esta variedad de elementos se ha clasificado los RCD dependiendo de la composición y del grado de riesgo ambiental que representa, por ejemplo, la normativa brasileña ABNT en cuanto a residuos sólidos los clasifica en 3 categorías según su peligrosidad e impacto ambiental:

Clase I (peligrosos): Incluyen materiales tóxicos o inflamables, como pinturas, solventes, aceites y fibras de asbesto, que requieren tratamiento y confinamiento especial.

Clase II A (no inertes): No son peligrosos, pero pueden degradarse o reaccionar químicamente, como ocurre con la madera, el yeso, los plásticos y el cartón.

Clase II B (inertes): Se caracterizan por su ausencia de reactividad, algunos ejemplos son: hormigón, ladrillos, cerámica, piedra, vidrio, formando gran parte de los escombros de construcción (Liseane P. Thives, 2022) (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004)

No obstante, en la práctica es común observar depósitos de residuos que no tienen una correcta separación del material que almacenan y los RCD terminan mezclados con los demás desechos haciendo el proceso de reutilización más complicado y agravando los efectos ambientales.

2.2.2 Impactos Ambientales de una Mala Gestión

Según World Green Building Council (WGBC) las actividades constructivas son responsables de generar aproximadamente el 40% de las emisiones de CO_2 relacionadas con la energía y procesos industriales. Además, mencionan que la industria de la construcción es responsable de un 50 % del árido natural que es extraído y un 30% del consumo de agua. (World Green Building Council, n.d.)

En cuidades de Latinoamérica los botaderos informales son una realidad que afecta y contamina agua, suelo aire además de impactos de ecotoxicidad (capacidad que tiene una sustancia o residuo para causar daño a los organismos vivos en un ecosistema). Un estudio realizado en Bolivia (La Paz) demostró que la mala gestión de residuos de construcción y demolición junto con residuos sólidos municipales contribuyeron a un 60% de la ecotoxicidad acuática de agua dulce en la ciudad. (Ferronato, y otros, 2023)

América Latina y el Caribe es una de las regiones con mayor crecimiento y urbanización en el mundo, alrededor del 80% de su población reside en ciudades densamente pobladas, lo que dificulta la gestión de residuos. Ocho de los vertederos más grandes del mundo se ubican en América Latina y el Caribe con alrededor del 60% de desechos depositados en rellenos sanitarios inadecuadamente controlados generando emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación hídrica y sobre todo mayor impacto en la salud pública. (Stockholm Environment Institute (SEI), 2025)

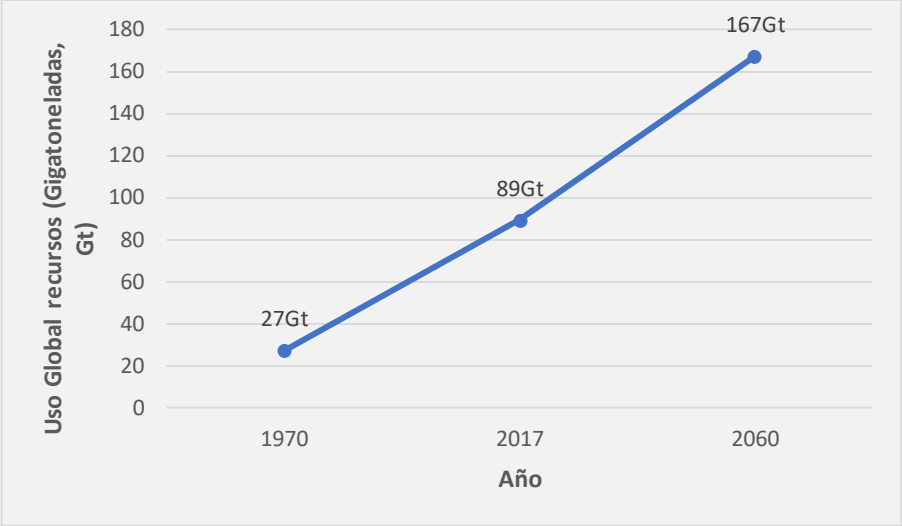
2.2.3 Impactos Sociales de una Mala Gestión

El tener una gestión ineficiente de residuos de construcción y demolición (RCD) aparte de afectar al medio ambiente puede afectar la salud de las comunidades aledañas. Según la revisión sistémica de (Ziyi et al, 2024)indican que la inhalación prolongada de nanopartículas como magnetita y dióxido de titanio (usualmente encontrados en ambientes constructivos) incremente de manera significativa los riegos respiratorios, especialmente para poblaciones cercanas a construcciones, demoliciones o vertederos, Este problema, crece con la débil regulación y control normativo, obteniendo un impacto social altamente perjudicial, que afecta la salud pública y agrava las desigualdades en las áreas urbanas vulnerables. (Ziyi et al, 2024)

2.2.4 Economía Circular

Una economía circular es un sistema que mantiene el valor de los productos, materiales y recursos dentro de la economía durante el mayor tiempo posible, y minimiza la generación de residuos, intentando prolongar la vida útil de los productos, materiales y recursos durante el mayor tiempo posible mientras reduce el consumo de materiales vírgenes y minimiza la generación de residuos. Según la OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) el incremento acelerado de consumo global de materiales hace imperativo la transición hacia una economía circular, menciona que en 1970 la demanda de recursos naturales y materiales era de 27 mil millones de toneladas mientras que en 2017 la demanda era de 89 mil millones de toneladas, un incremento de más de 3 veces en menos de 50 años, y proyectando una demanda de 167mi millones de toneladas para el 2060. (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2019)

Ilustración 1
Consumo global de materiales



Nota: Elaboración propia con base en (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2019).

Stockholm Environment Institute durante su estudio en América latina y el Caribe resaltan que la transición a una economía circular puede reducir el consumo de recursos en un 50%, disminuir la pobreza, la pérdida de biodiversidad en la región y se estima la creación de 4.8 millones de empleos para el 2030. En el caso de Colombia, la economía circular se ha aplicado a sectores como los residuos de construcción y demolición (RCD), demostrando su potencial para cerrar ciclos productivos y reducir los impactos ambientales asociados al uso de materiales vírgenes. (Stockholm Environment Institute (SEI), 2025)

2.2.5 Jerarquía de Residuos

La jerarquía de residuos es crucial dentro del desarrollo sostenible y la economía circular, consiste en 5 niveles que tienen como objetivo minimizar el impacto ambiental.

1. Prevención

Busca evitar la generación de residuos mediante practicas más eficientes cuando se trata de manejo de recursos y diseño de productos, como por ejemplo optimizar hormigón o reducir cortes de acero sobrantes.

2. Reutilización

Consiste en prolongar la vida útil del material o producto mediante reparación o reacondicionamiento del mismo dotándolo de una segunda vida.

3. Reciclaje

Transforma el residuo en materia prima secundaria usualmente mediante un proceso físico o químico, un ejemplo puede ser triturar hormigón para producir un material pétreo y usarlo en un nuevo hormigón.

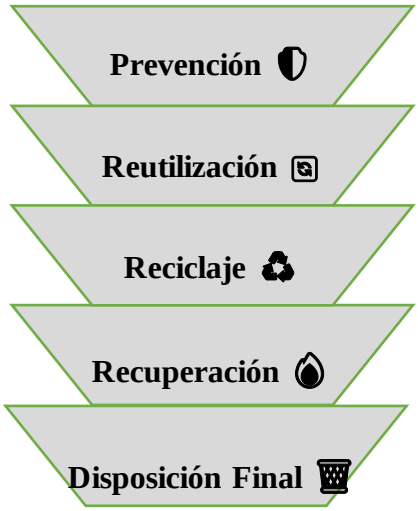
4. Recuperación

La recuperación trata de aprovechar el residuo una vez que ya no es posible reciclarlo, puede ser como recuperación energética, también se puede considerar recuperación usar escombros para rellenos estructurales.

5. Disposición Final

Ocurre cuando el residuo no puede aprovecharse de ninguna manera, si es este el caso este terminará en algún relleno sanitario aledaño. (Murphy, 2025)

Ilustración 2
Jerarquía de Residuos



Nota: Adaptado de Environmental Impacts of Waste Management Strategies por (Murphy, 2025)

2.2.6 Huella de Carbono

La huella de carbono en el ámbito constructivo hace referencia a la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a lo largo del ciclo de vida de cualquier tipo de edificación o infraestructura, usualmente medida en toneladas equivalentes de dióxido de carbono CO_2.

Se conoce que el sector de la construcción emite alrededor del 40% de CO_2 y se calcula que el CO_2 emitido hacia la atmosfera alcance el 50% para el 2025. El artículo científico "*A comprehensive review of building lifecycle carbon emissions and reduction approaches"* estima que un 60% de estas emisiones son producidas durante la fase operativa del edificio (50 años) y 40% está ligado a la producción y construcción. En cuanto a las emisiones podemos identificar al hormigón como un contribuyente importante con 0.73 t de CO_2 por tonelada producida y llegar a representar aproximadamente un 56 % de las emisiones de la etapa de fabricación de materiales. (Guohao Wang, 2024)

Si hablamos sobre la buena gestión de residuos de construcción y demolición, sobre todo en el aprovechamiento de RCD como material pétreo, se puede evidenciar como una solución totalmente viable para reducir la huella de carbono. En el estudio de (Jiménez, 2018) se demuestra que existe una disminución en cuanto a la huella de carbono para hormigones que usan áridos reciclados. Utiliza como ejemplo la península de Yucatán que tiene 4.17millones de habitantes (2010) y considera que en un país desarrollado los desarrollado la cantidad de residuos son grandes, entre 520-720 kg/persona/año, siendo el hormigón 67%

del peso total de residuos de construcción y demolición, para un cálculo rápido podemos tomar 640kg/persona/año, con este dato podemos decir que la región mexicana genera alrededor de 1.79millones de toneladas de residuos anuales (744 751 m3). Si este material fuera reciclado para usar en vez de agregados naturales se evitaría emitir
22 343 toneladas de CO_2 en esta región.

2.3 Marco Conceptual

- **Árido reciclado (RA — Recycled Aggregates)**

"Árido reciclado" es un término que describe el hormigón de cemento triturado o el pavimento asfáltico proveniente de residuos de construcción, que se reutiliza en otros proyectos de edificación. (buschsystems, 2019)

- **Residuos de construcción y demolición (RCD)**

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son los desechos generados en las actividades y procesos de construcción, restauración, rehabilitación, demolición y remodelación de edificios e infraestructuras. (ScrapAd, 2021)

- **Economía circular**

Una economía circular es un sistema que mantiene el valor de los productos, materiales y recursos dentro de la economía durante el mayor tiempo posible, y minimiza la generación de residuos. Esto implica un sistema en el que los productos se reutilizan, reparan, remanufacturan o reciclan. (Union, EUR-LEX, 2020)

- **Jerarquía de residuos**

La jerarquía de residuos se aplica como un orden de prioridad en la legislación y políticas de prevención y gestión de residuos. Es la piedra angular de las políticas y la legislación de residuos de la Unión Europea (UE). Su objetivo es minimizar los impactos negativos derivados de la generación y gestión de residuos y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. (Union, 2020)

- **Reciclaje**

El reciclaje se define como cualquier operación de recuperación mediante la cual los materiales de desecho se reprocesan en productos, materiales o sustancias, ya sea para el propósito original u otros fines. (Union, n.d.)

- **Huella de Carbono**

La huella de carbono es el total de emisiones de gases de efecto invernadero causadas directa e indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. (Michigan, 2025)

- **Hormigón Estructural**

Todo Hormigón utilizado con propósitos estructurales incluyendo Hormigón simple y reforzado. (NEC, 2015)

- **Logística inversa**

Proceso de mover productos, materiales o residuos desde el cliente final de vuelta hacia el fabricante o distribuidor, gestionando el flujo "al revés" de la cadena de suministro tradicional, e involucra devoluciones, reparaciones, reacondicionamiento, reciclaje y disposición final, buscando recuperar valor y reducir costos y residuos. (Departamento Nacional de Planificación & LOGYCA, 2022)

- **Trazabilidad**

Se define como la capacidad de rastrear y documentar el historial completo, la ubicación y la trayectoria de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) a lo largo de toda su cadena de gestión. Esto abarca desde su generación en la obra hasta su entrega a un gestor autorizado para su tratamiento final. (Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019)

- **Valorización**

En gestión de residuos, valorización es el aprovechamiento del residuo como recurso, es decir, convertirlo en material útil o energía mediante acciones como reutilización, reciclaje o tratamiento. (Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019)

2.4 Marco Histórico

El aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en materiales cementicos tiene un desarrollo progresivo a nivel mundial. Los primeros antecedentes de reutilización de escombros se registran en Europa tras la Segunda Guerra Mundial, cuando la escasez de materiales impulsó usos de áridos recuperados. Más tarde, durante la década de 1970, el reciclaje de concreto empezó a explorarse en Estados Unidos y otros países desarrollados, inicialmente en aplicaciones no estructurales, como bases granulares y rellenos, mientras se investigaba la viabilidad mecánica de sustituir áridos naturales por reciclados. (Junior, et al., 2025)

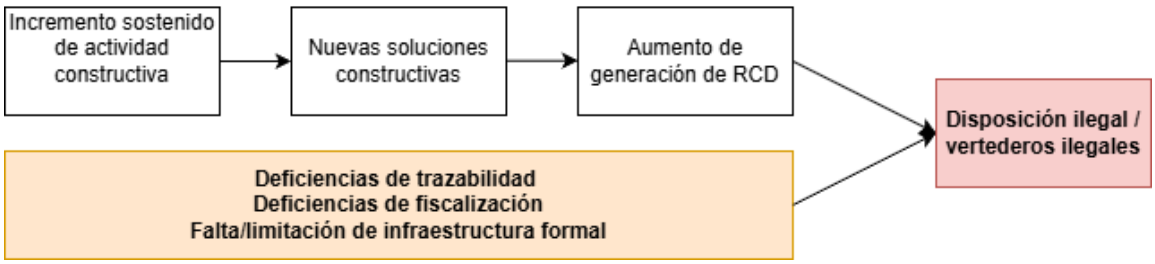
En Latinoamérica, el marco regulatorio sobre residuos de construcción y demolición ha evolucionado de forma tardía y desigual, pero con avances visibles desde inicios de los 2000 como Brasil abrió que comenzó con reglas nacionales pioneras que ordenaron la gestión, clasificación y reciclaje de escombros, lo que impulsó infraestructura y criterios

técnicos para reutilizarlos, luego países como Colombia y Chile consolidaron sistemas con el mismo objetivo de dar un mejor uso a los RCD.

2.4.1 Chile

Debido al incremento sostenido de la actividad constructiva en las últimas décadas y a la incorporación de nuevas soluciones constructivas incluyendo aquellas orientadas al desempeño sísmico, la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) ha tomado relevancia como problema técnico y ambiental. En Chile, se reporta una generación anual significativa de RCD y se reconoce que una fracción relevante termina en vertederos ilegales, lo que evidencia deficiencias de trazabilidad, fiscalización e infraestructura formal de disposición y valorización; además, la presencia de sitios ilegales en áreas periurbanas genera impactos ambientales y sociales en los territorios aledaños. Este escenario se refuerza con análisis técnicos nacionales que señalan una relación entre generación de RCD y disposición ilegal, particularmente en contextos donde existen limitaciones de sitios autorizados específicos para este flujo de residuos. (Instituto de la Construcción, 2023)

Ilustración 3
Flujograma Causal



Nota: Elaboración propia con base en (Instituto de la Construcción, 2023)

2.4.1.1 Ecosistema Institucional en Chile para la Gestión y Valorización de RCD.

En Chile, la evolución de la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) hacia un enfoque de economía circular se apoya en un ecosistema institucional donde los roles se distribuyen entre actores gremiales, técnicos y de fomento productivo. Esta arquitectura permite pasar desde lineamientos estratégicos hasta herramientas operativas y pilotos de innovación, articulando sector público, privado y academia.

CChC – Cámara Chilena de la Construcción (privada, gremial): agrupa y representa a empresas del sector. En RCD, coordina iniciativas sectoriales y empuja compromisos

voluntarios (p. ej., Compromiso PRO/Sello PRO) para que las empresas adopten buenas prácticas y gestión medible.

CDT – Corporación de Desarrollo Tecnológico (privada, ligada a la CChC): es el "brazo técnico" del gremio. Produce manuales, guías, herramientas e indicadores para implementar en obra (segregación, trazabilidad, seguimiento), facilitando que los RCD puedan valorizarse con mayor control.

Compromiso PRO / Sello PRO (privado, de la CChC): programa de acompañamiento y reconocimiento para empresas: diagnóstico → plan → mejora → evaluación. Sirve como evidencia de gestión ante mandantes y puede traer beneficios por convenios (no es certificación estatal).

Corfo (pública): agencia estatal de fomento productivo. En este tema aporta el "músculo público" para transformar el sector mediante financiamiento, programas y articulación.

Construye2025 (programa público impulsado por Corfo): funciona como plataforma de coordinación (sector público–privado–academia) para productividad y sustentabilidad; impulsa hojas de ruta, proyectos colaborativos y condiciones para mercados de materiales secundarios.

CTEC – Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (público-impulsado por Corfo): foco en innovación aplicada y pilotos con empresas (prototipos, validación y escalamiento de soluciones). En RCD, ayuda a pasar de "lineamientos" a pruebas y demostraciones en terreno.

2.4.1.2 Hoja de Ruta de RCD.

En este contexto, un hito institucional relevante es la "Hoja de Ruta RCD: Economía Circular en Construcción 2035", impulsada de manera interministerial (Ministerio del Medio Ambiente, junto a organismos sectoriales y Corfo/Construye2025). Este documento se entiende como un instrumento de planificación estratégica: establece una visión compartida de largo plazo y, para alcanzarla, define ejes estratégicos, líneas de acción, metas y plazos, construidos mediante trabajo colaborativo con los actores de la cadena de valor. En términos operativos, la Hoja de Ruta organiza el avance hacia la circularidad en cinco ejes para la gestión de RCD; 1) planificación del territorio, 2) la coordinación pública, 3) cadenas de valor sostenibles, 4) datos para políticas públicas, 5) remediación ambiental. Así, la Hoja de Ruta plantea el cambio de enfoque de "residuo" a recurso, promoviendo la prevención y la valorización, y creando condiciones habilitantes (datos, estándares, coordinación pública y

mercado) para aumentar el uso de materiales secundarios en proyectos de edificación e infraestructura hasta 2035. (Programa Construye2025, 2022)

2.4.1.3 Manual de Gestión de RCD.

En Chile, una referencia aplicada para operativizar la gestión de RCD en obra es el "Manual de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición: Detalles de implementación", desarrollado en el marco del Compromiso PRO de la Cámara Chilena de la Construcción y a partir de aprendizajes del Acuerdo de Producción Limpia (APL) de Valparaíso (2022). Este manual funciona como una herramienta de implementación del plan de gestión, organizada en tres etapas planificación, implementación, medición y mejora continua, operacionalizada mediante 17 protocolos que abarcan: definición de responsables y roles, estimación de volúmenes, segregación en origen, coordinación de transporte y retiros con gestores, exigencia de evidencias/certificados de destino final, capacitación continua, seguimiento y cuantificación de RCD e indicadores, y reportabilidad asociada (RETC). (Cámara Chilena de la Construcción, 2022)

El enfoque del manual es relevante para la valorización porque apunta a reducir pérdidas y aumentar la trazabilidad, condiciones necesarias para que una fracción de los RCD pueda reingresar como material secundario (por ejemplo, áridos reciclados). En la práctica, estos usos suelen concentrarse primero en aplicaciones de menor exigencia (bases/subbases, rellenos u hormigones no estructurales); mientras que su proyección hacia hormigón estructural depende de una segregación más estricta, control de contaminantes, caracterización y criterios normativos y de desempeño (resistencia y durabilidad) más exigentes, coherentes con el objetivo de pasar de "residuo" a "recurso" con calidad verificable.

2.4.1.4 Manual de Reducción (RCD).

En Chile, una herramienta aplicada para avanzar desde la "gestión" hacia la prevención y reducción de RCD es el Manual de Reducción de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), desarrollado como instrumento del Compromiso PRO de la CChC, con elaboración liderada por la CDT y colaboración de Reduciclo. El manual se plantea como guía práctica para acompañar proyectos en todas sus fases, estructurando estrategias en tres tomos (diseño, planificación y ejecución) para promover prevención, reducción y reutilización de materiales, alineadas a economía circular. En el diseño, enfatiza que las decisiones

tempranas condicionan la generación de residuos e incorpora selección/optimización de materiales, reutilización de elementos e indicadores. En planificación, incorpora identificación de elementos reutilizables, coordinación temprana de actores, optimización de instalación de faena e indicadores con líneas base, además de capacitación. En ejecución, aborda almacenamiento y transporte eficiente, verificación de entrega/recepción, conservación y reutilización in situ, e indicadores de control. Además, el documento fue desarrollado con participación de empresas coautoras y validación mediante comité técnico y estrategias piloto en proyectos, reforzando su enfoque de aplicabilidad en terreno. (Cámara Chilena de la Construcción, 2022)

2.4.1.5 SINADER (Trazabilidad Digital).

El Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) es una plataforma web del Ministerio del Medio Ambiente, integrada a la Ventanilla Única del RETC, que permite cumplir con las obligaciones de declaración de residuos no peligrosos. En términos operativos, el sistema contempla declaraciones anuales y también por periodos mensuales; para declarar los establecimientos a los actores que generen y/o reciban más de 12 toneladas anuales de residuos, y la declaración anual debe realizarse a más tardar el 30 de marzo de cada año respecto del periodo anterior. (SINADER, n.d.)

2.4.1.6 Seremi de Salud (Autorización Operativa).

Habilitar la operación de infraestructura recae en las Secretarías Regionales Ministeriales de Salud (Seremi de Salud), al almacenar o transportar RCD se trabaja con Residuos Industriales No Peligrosos o similares a los ojos del SEREMI, por esta razón su rol en la gestión de RCD es crítico y previo a cualquier operación son las encargadas de otorgar la Autorización Sanitaria expresa para el funcionamiento de plantas de reciclaje, estaciones de transferencia y, para las empresas de transporte de residuos. En la práctica, ninguna planta de valorización ni camión de residuos puede operar legalmente en Chile sin la resolución aprobatoria de la Seremi de Salud de su respectiva jurisdicción, convirtiéndose en el primer filtro de control estatal contra la informalidad operativa. (SEREMI, n.d.)

2.4.1.7 Centros de Gestión de RCD.

En Chile ya operan o se presentan públicamente iniciativas privadas enfocadas en valorización de RCD y producción de insumos reciclados. Por ejemplo, Greenrec-Lepanto (San Bernardo, RM) se describe como una empresa de recuperación que recibe residuos de construcción y demolición incluyendo madera, cartón, plásticos, metales y papel, hormigón, ladrillo, cerámica teniendo un flujo entrante de 3 000 m3 (no se especifica en qué periodo de tiempo), la planta se dedicada a la recuperación/valorización de RCD en esa zona. (Greenrec, 2023) gerente general de Greenrec Lepanto comenta que se logra valorizar el 10% del flujo de RCD entrante, evitando que este termine en un vertedero. (Larraín, 2023)

Por otra parte, Revaloriza (Viña del Mar, Región de Valparaíso) declara un enfoque de economía circular que transforma y valoriza RCD para convertirlos en nuevas materias primas, y su operación se ha asociado a la venta de árido reciclado proveniente del procesamiento de hormigón/concreto, orientado a reducir el consumo de árido natural; adicionalmente, plantea servicios logísticos (transporte) y trazabilidad para empresas generadoras. (Revaloriza, 2022)

Según el director de Revaloriza Nassim Esus en el 2022, la empresa tiene una capacidad de producir 80 toneladas por hora. (Esus, Economia Circular, 2022)

Finalmente, Río Claro – Eco Áridos RCL se enfoca en la valorización del hormigón de demolición para generar áridos reciclados, con experiencias reportadas a escala industrial, Carla Salinas la asesora de proyectos Rio Claro comenta que la planta tiene la capacidad de generar mensualmente aproximadamente 4 mil toneladas de áridos artificiales (escoria de acero) y 7 mil toneladas de áridos reciclados de hormigón (Salinas, 2022), con destino tanto a la fabricación/uso en nuevos hormigones como a aplicaciones viales por ejemplo base y subbase de carreteras, dependiendo de las especificaciones del proyecto. (Eco Áridos RCL, 2022)

Tabla 3
Plantas de valorización

Planta	Ubicación	Datos clave (muy breve)
Greenrec–Lepanto	San Bernardo, RM	• Recibe RCD mixto (madera/papel/plástico/metal + inertes= hormigón, ladrillo, cerámica) • 3.000 m³ (periodo no indicado) • Valorización 10%
Revaloriza	Viña del Mar, Valparaíso	• Valorización RCD → árido reciclado • 80 t/h
Río Claro – Eco Áridos RCL	TilTil, RM	• Hormigón demolición → árido reciclado • 7.000 t/mes (árido reciclado) • 4.000 t/mes (árido artificial)

Nota: Elaboration propia.

Según la Red de Economía Circular de la Construcción RED-ECC con ayuda de Iván Jensen, constructor civil del área de Acción Climática y Economía Circular de EPB Chile estiman en una noticia publicada el 17 de diciembre del 2025 en la página Construye 2025 (Corfo), estiman que las plantas de **valorización trabajan entre un 2%-4%** en la Región Metropolitana de Santiago (RM) y para procesar todo los RCD de esta región se necesitaría alrededor de 25 plantas con un mínimo desempeño de 50 toneladas por hora. (Jensen, 2025)

2.4.2 Colombia

En Colombia, el crecimiento del sector edificador y de infraestructura ha ido acompañado de un aumento significativo en la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que ha impulsado la producción de diagnósticos, guías técnicas y estudios aplicados orientados a su prevención, separación, trazabilidad y aprovechamiento. El uso de RCD en hormigón estructural es especialmente relevante cómo el país ha venido articulando medición del fenómeno, instrumentos técnicos para gestionar RCD en obra, y evidencia experimental que valida su incorporación en concretos con desempeño estructural.

2.4.2.1 Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Un antecedente clave es el desarrollo de indicadores oficiales asociados a economía circular. En el Primer reporte de Economía Circular del DANE se presenta, para 2018, una distribución de residuos dispuestos por la industria manufacturera donde los RCD alcanzan 542.142 toneladas (37,6%), evidenciando que este flujo tiene un peso importante dentro de los residuos dispuestos y justificando la necesidad de estrategias de aprovechamiento y cierre de ciclos materiales. (DANE, 2020)

2.4.2.2 Cartilla TECC Visión 360.

En la Cartilla TECC Visión 360 (CAMACOL), el capítulo II sobre manejo de RCD en Colombia estructura el tema desde la lógica necesaria para su aprovechamiento: primero diferencia los RCD susceptibles de aprovechamiento y los no susceptibles (por contaminación, presencia de residuos peligrosos o pérdida de características para reúso), estableciendo una base de clasificación que es determinante para la calidad del material que podría transformarse en agregado reciclado.

Luego consolida cifras y tasas de generación expresadas como Ton/m² y m³/m², calculadas a partir de información disponible en regiones como Villavicencio, AMVA, Bogotá y Caldas, y plantea una aproximación nacional de referencia de 0,3 a 0,5 Ton de RCD/m² o alrededor de 0,32 m³ de RCD/m², advirtiendo que son valores indicativos y que pueden variar según prácticas y contexto del proyecto; este bloque es clave porque permite dimensionar, con criterios comparables, el potencial "stock" de RCD para abastecer cadenas de reciclaje orientadas a la producción de agregados para concreto.

Enseguida, la cartilla enlaza este diagnóstico con metas de aprovechamiento presentadas para Bogotá, porcentajes que avanzan progresivamente hasta alcanzar 75% en 2030, que funcionan como impulso para aumentar la capacidad instalada y la demanda de materiales reciclados en el sector.

Finalmente, desarrolla un bloque técnico de tecnologías para la gestión de RCD, describiendo operaciones típicas de plantas como clasificación, trituración, separación y reciclaje, además de resumir buenas prácticas internacionales por ejemplo auditorías previas, demolición selectiva, protocolos de trazabilidad y optimización logística que apuntan a reducir contaminación y variabilidad del RCD. (TECC, 2024)

2.4.2.3 Guía de Gestión Sostenible y Circular en Obras del CCCS/CAMACOL.

Elaborada por Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) y CAMACOL plantea lineamientos específicos para la fase constructiva orientados a minimizar la producción de RCD, mejorar prácticas de selección de materiales y estandarizar decisiones que faciliten la circularidad durante el ciclo de vida del proyecto. Esta guía es valiosa porque conecta la gestión en obra (separación, control y buenas prácticas) con la obtención de corrientes de RCD más "limpias", condición crítica para fabricar agregados reciclados aptos para mezclas de concreto. (CAMACOL & CCCS, 2021)

Complementariamente, Toolkit de economía circular para la construcción (TECC) liderada por la CAMACOL incorpora herramientas aplicadas como el "Formato control de RCD generado", que busca dar trazabilidad a los residuos por etapas, alternativas de aprovechamiento y gestores involucrados; esta trazabilidad es un puente práctico entre la generación del RCD y su potencial certificación/aceptación como insumo para productos de mayor valor agregado. En la página de TECC se puede observar la sección denominada "caja de herramientas" donde se pueden encontrar recursos valiosos que tratan el RCD como "Guía para el diligenciamiento de formatos de las autoridades ambientales para la gestión de RCD" , "Guía para la elaboración de un Plan de gestión de RCD" , "Matriz de cuantificación de RCD e indicadores de desempeño" , "Matriz de estimación de RCD a generar en obra" , "Oportunidades de aprovechamiento de los RCD por composición" , "Roles y obligaciones de la gestión de RCD". Todo esto gracias a la mesa lidera por CAMACOL y la Embajada de Suiza en Colombia, creado para impulsar una agenda de construcción sostenible y acelerar herramientas prácticas para el sector. (Toolkit de economía circular para la construcción, 2024)

2.4.2.4 Plan de Gestión de la Secretaría Distrital de Ambiente (Bogotá).

La Secretaría Distrital de Ambiente (Bogotá), difunde una guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en obra en el año 2015, concebida como una herramienta para minimizar impactos ambientales durante las distintas etapas del proceso constructivo y para orientar al constructor en el control adecuado de los residuos y su conducción hacia tratamientos y destinos finales apropiados. (Secretaría de Ambiente, 2015)

La Secretaría Distrital de Ambiente también enmarca la gestión de RCD hacia un modelo que busca mayor recuperación y reincorporación al proceso constructivo y el uso de plantas

de reciclaje, lo cual resulta especialmente pertinente para investigaciones sobre aprovechamiento de RCD en hormigón: al promover una gestión más ordenada (segregación, trazabilidad y control), se incrementa la probabilidad de obtener fracciones "limpias" (pétreas, concreto/céramicos) con potencial de transformarse en agregados reciclados aptos para aplicaciones de mayor exigencia. (Secretaría Distrital de Ambiente, n.d.)

2.4.2.5 Logística Inversa de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia.

El Informe Ejecutivo "Logística inversa de RCD en Colombia" (Fundación LOGYCA Investigación–DNP) presenta el diseño de una estrategia orientada a fortalecer los procesos de logística inversa asociados a los residuos de construcción y demolición, abordando etapas como clasificación, recolección, transporte, distribución, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final, e incorporando lineamientos e incentivos dentro del marco de la Política Nacional Logística. El documento desarrolla su propuesta a partir de un proceso metodológico en tres fases: un diagnóstico basado en revisión documental, entrevistas y espacios de discusión con actores del sistema; una validación con recolección de información primaria en seis municipios priorizados; y una fase de formulación que estructura acciones e instrumentos de intervención desde enfoques de análisis de política pública y transición a economía circular. Como resultado, identifica problemáticas del sistema y organiza las recomendaciones en tres líneas: fortalecimiento institucional, capacidades del sistema logístico (incluyendo tiempos, costos y tecnologías) y mejora de los flujos de información, proponiendo acciones con responsables e indicadores; además, incluye orientaciones para robustecer el registro y disponibilidad de datos del flujo de RCD mediante operaciones estadísticas como el Censo de Edificaciones (CEED) del DANE. (Departamento Nacional de Planificación & LOGYCA, 2022)

2.4.2.6 Centros de Gestión de RCD.

En Colombia también existen plantas que transforman RCD en materiales reutilizables para obras civiles. RCD Project (Bogotá) indica que realiza un proceso de trituración, separación y clasificación para convertir residuos como concreto, ladrillo y escombros en agregados listos para reutilizarse en nuevas construcciones; además, han comunicado uso de sus agregados reciclados en aplicaciones de subbase vial dentro de proyectos urbanos. (RCD Project, 2024)

En paralelo, GRECO – Granulados Reciclados de Colombia (Cota, Cundinamarca; y sede sur en Bogotá) declara que reintegra los RCD produciendo arenas y gravas para concreto, y también materiales para capas granulares; en su portafolio aparecen productos como base granular, subbase granular y material de relleno, típicamente destinados a estructuras de pavimento (entre subrasante–subbase–base) y a rellenos compactados en obra. (GRECO SAS, 2017)

Finalmente, en Antioquia, EPM en alianza con RIC (planta de aprovechamiento en Girardota) reporta una planta que ofrece a constructores una alternativa para la correcta disposición de RCD y señala que los residuos se aprovechan en productos reciclados y certificados para reutilizarlos, vinculando la gestión del residuo con el suministro de materiales sostenibles para el sector. (EPM, 2022)

2.4.2.7 Retos del RCD en Colombia.

Para contrastar las metas normativas con la realidad operativa, el Ministerio de Ambiente presentó en 2025 el informe *'Retos y Oportunidades'*, un diagnóstico oficial que evalúa las brechas actuales entre la regulación y la capacidad instalada del sector. Menciona que debido a la baja tasa de reporte y a la calidad limitada de la información remitida, el análisis del documento clasifica los reportes de las autoridades ambientales según su completitud, consistencia y la posibilidad de localizar efectivamente a los actores reportados. De un total de 41 autoridades, se recibió reporte de 33, y se presentan resultados agrupados por el nivel de calidad del reporte.

Tabla 4
Reportes

Clasificación del reporte	**%**	**n**
Datos conformes	4,9%	2
Sin reporte	19,5%	8
Ausencia de generadores y gestores de RCD	12,2%	5
Datos con observaciones y actualizaciones	41,5%	17
Datos con observaciones, actualizaciones e información parcialmente insuficiente	19,5%	8
Datos insuficientes	2,4%	1

Nota: Elaboración propia con base en reporte 'Retos y Oportunidades'

Revelando que un número importante de entidades ambiental que deberían dominar la Resolución 1257 de 2021 para poder fiscalizar su aplicación, tienen problemas para comprenderla, limitando la capacidad del Ministerio de realizar un seguimiento técnico de la cadena de gestión de RCD en Colombia.

En 2022 Colombia genero 29.208.223,25 toneladas de RCD y destaca los territorios más representativos por participación.

Tabla 5
% RCD por ciudad

Territorio reportado	**Participación en el total nacional**
Bogotá D.C.	58%
Municipios del departamento del Cauca	29%
Municipios de Cundinamarca	4%
Municipios de Atlántico	4%
Santiago de Cali	1%

Nota: Elaboración propia con base en reporte 'Retos y Oportunidades'

El informe indica que muy poco porcentaje del total de RCD es enviado hacia plantas de aprovechamiento y receptores externos, aproximadamente el 1%.
(MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2025)

2.4.3 Perú

El diagnóstico de Global Gateway sobre la gestión de residuos sólidos en Perú muestra que, aunque existen instituciones y esfuerzos en marcha, la operación real todavía presenta brechas que limitan el control y el desarrollo de infraestructura para valorización. En lo institucional, se evidencia una falta de supervisión/regulación integral del servicio, con capacidades desiguales entre territorios, lo que se traduce en diferencias en cobertura, calidad y financiamiento.

Un problema clave es el déficit de información: el reporte al sistema oficial (especialmente en el ámbito no municipal, donde se ubican muchos RCD) es incompleto, lo que dificulta planificar, fiscalizar y estimar flujos reales. En lo técnico-operativo, el documento remarca una valorización baja y una red de infraestructura aún insuficiente para cerrar el ciclo (transferencia, tratamiento y disposición). Además, se reconoce la persistencia de

disposición informal y la existencia de áreas degradadas asociadas a residuos, con presencia importante del ámbito no municipal. (European Union External Action, 2025)

2.4.3.1 Herramientas Públicas.

La herramienta más directa es la "Guía informativa de manejo de residuos de construcción y demolición en obras menores" (MINAM). Su propósito es principalmente didáctico-operativo: define qué son los RCD, cómo se clasifican y, sobre todo, resume obligaciones y responsabilidades de actores típicos en obras menores (generadores, operadores, autoridades), buscando estandarizar criterios mínimos de manejo. (Ministerio del Ambiente, 2015)

Dentro del Ministerio del Ambiente (MINAM) tenemos el SIGERSOL es un instrumento oficial que facilita el registro y procesamiento de información sobre gestión de residuos, con dos plataformas: una Municipal y otra No Municipal, siendo estos residuos generados por entidades que no son municipalidades: empresas y organizaciones privadas que generan residuos fuera del "ámbito municipal" típico. Lo administra el MINAM y aparece también OEFA en el esquema de administración/uso institucional del sistema.

También se han podido encontrar diferentes planes de gestión de RCD, aquí algunos ejemplos:

En la provincia de Puno, se identifica la "Propuesta/Plan de Gestión de RCD depositados en espacios públicos y de obras menores de la Provincia de Puno (2018)", difundida a través del repositorio del SINIA–MINAM; el documento se plantea como una herramienta operativa a nivel provincial (Municipalidad Provincial de Puno) y organiza la intervención mediante objetivos, metas y líneas de acción como implementar/fortalecer el servicio de recolección, promover el reaprovechamiento, y reducir la disposición informal, incluyendo acciones concretas como instalar puntos de recepción y la construcción de una escombrera para disposición final. (MINAM PUNO, 2018)

En Lima, se dispone el Plan de Gestión de RCD depositados en espacios públicos y de obras menores para el Cercado de Lima, elaborado desde la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) mediante un grupo técnico responsable conformado para desarrollar actividades vinculadas a esta línea de gestión; el plan se orienta a ordenar el manejo del RCD en espacios públicos y a estructurar la implementación municipal a través de su gerencia competente. (Municipalidad Distrital de ATE, 2013)

2.4.3.2 Casos Industriales.

El caso más visible es CICLO, que se presenta como una solución de economía circular para residuos de construcción y demolición, con operación en Lima. En su material institucional describen una planta de reciclaje en Cieneguilla orientada a transformar RCD mediante procesos de selección, trituración y clasificación, para reinsertarlos al mercado como insumos y productos de concreto. CICLO reporta una línea de prefabricados y agregados reciclados: adoquines/ecopavimentos, bloques, ladrillos y elementos separadores, además de agregado reciclado (árido) como insumo para nuevas mezclas. (CICLO, n.d.)

En prensa se destaca su enfoque de convertir escombros en materiales reutilizables, y se menciona que su capacidad operativa puede llegar a decenas de toneladas por día (como orden de magnitud), lo cual es importante porque sugiere que el reciclaje de RCD ya no es solo piloto académico, sino un servicio con cierta escala y continuidad. (Fiorella Gil Mena, 2025)

2.4.4 Brasil

2.4.4.1 MTR (Manifiesto de Transporte de Residuos).

El MTR (Manifiesto de Transporte de Residuos) es un documento digital del SINIR (Sistema Nacional de Información sobre la Gestión de Residuos Sólidos) que acompaña el transporte del residuo y registra quién lo genera, quién lo transporta y quién recibe la carga. Operativamente, el generador emite el MTR en el sistema, selecciona transportista y destinatario ya registrados, identifica el tipo de residuo y completa los datos del transporte; el destinatario confirma la recepción en el sistema y, posteriormente, la destinación se respalda mediante el CDF (Certificado de Destinación Final) emitido en el propio sistema el manual enfatiza que el registro de recepción y el MTR no sustituyen al CDF ya que el MTR es usado a nivel nacional mientras que el CDF no es utilizado en todos los estados. Cuando existen problemas temporales para acceder al sistema, el SINIR permite generar un MTR Provisorio para no interrumpir el transporte, una vez restablecido el acceso, el generador debe regularizar ese MTR provisorio emitiendo el MTR regular correspondiente, para que el destinatario pueda completar el cierre del registro. (SINIR, n.d.)

2.4.4.2 Plantas de Reciclaje (Usina).

En Brasil se estima que se generan 100 millones de toneladas de RCD por año (500 kg/hab.año). Para tratar de manejar este gran flujo de residuos existen "usina de reciclaje" estas se refieren a plantas industrial de reciclaje. Según el diagnóstico sectorial de ABRECON (Asociación Brasileña para el Reciclaje de Residuos de la Construcción Civil y Demolición.), más específicamente el documento "PESQUISA SETORIAL ABRECON 2020" el cual será analizado a lo largo de este capítulo gracias a su gran cantidad de información de calidad, sabes que el parque industrial brasileño cuenta con 360 unidades operativas en el año 2019 siendo estas públicas y privadas (ABRECON, 2020), divididas tecnológicamente en dos tipologías:

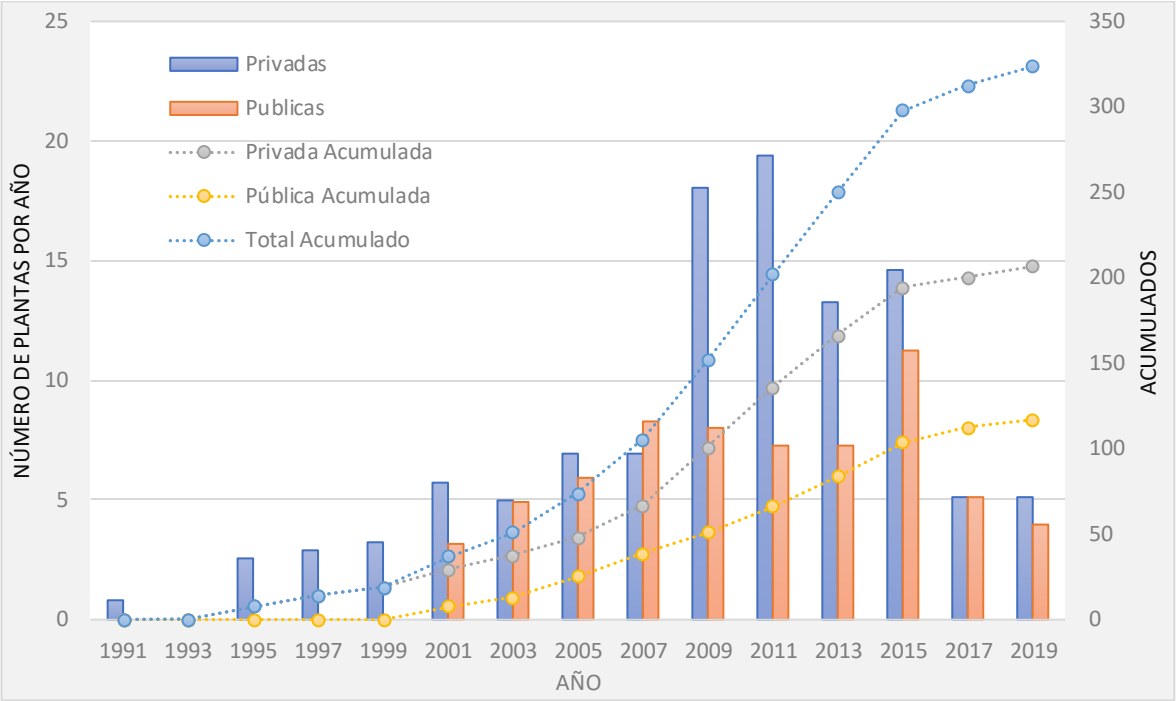
Tabla 6
Tipos de plantas

Tipo de planta y descripción	**Fotografía**
Plantas fijas (aprox. 66% del mercado): Instalaciones permanentes donde el residuo externo es transportado para su procesamiento. Típicamente operan en áreas de 10.000 a 50.000 m² debido a la gran cantidad de stock y poseen licencias ambientales completas.	 Figura 5 – Fotografía ilustrativa de una planta fija de reciclaje de residuos de construcción y demolición. Normalmente consta de una mesa de clasificación, una criba, una trituradora y un conjunto móvil de criba y cinta transportadora. Fuente: Banco de imágenes ABRECON. Empresa Vila Reciclo, Serra/ES.
Plantas móviles (aprox. 33% del mercado): Equipos compactos sobre orugas o ruedas que se desplazan in situ a obras de demolición o infraestructura, eliminando costos logísticos de transporte.	 Figura 6 – Fotografía ilustrativa de una planta móvil de reciclaje de residuos de construcción y demolición. Normalmente procesa residuos de demolición, como hormigón. Se centra en la retirada y venta de chatarra de acero, tiene menos control sobre la distribución granulométrica del material y suele producir piedra triturada para pavimentación. Fuente: Banco de imágenes de ABRECON. Empresa: R3ecó, Río de Janeiro/RJ.

Nota: Elaboración propia con base en (ABRECON, 2020)

A continuación, se presenta el grafico que describe la construcción de plantas en cada año desde 1991 hasta el 2019 teniendo un total de 320 plantas registradas ya que no todas las plantas mantienen contacto con la asociación (ABRECON), 360 son las unidades operativas hasta el 2019.

Ilustración 4
Plantas (Usinas) Operativas

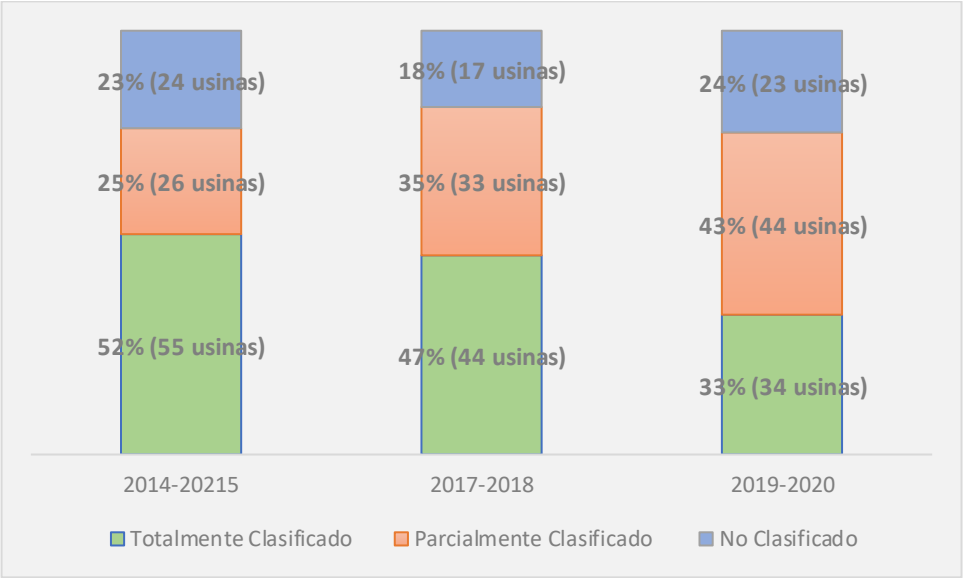


Nota: Elaboración propia adaptado de (ABRECON, 2020)

Desde el punto de vista operativo, una planta fija estándar en Brasil opera con una capacidad de procesamiento media de 50 a 300 toneladas/hora. No todo el material que se recibe puede convertirse en árido reciclado, estas plantas tienen una tasa de rechazos que oscila entre el 10% a 20% del material de entrada.

Es importante destacar que Brasil tiene la tecnología suficiente para procesar y reciclar gran parte de RCD, por ejemplo, en la región sureste que es una de las más avanzadas, tiene la capacidad de procesar 70% de los residuos generados, sin embargo, la tasa de reciclaje se estima en un 25% del total de residuos generados mientras que regiones con municipalidades más pequeñas como la región Noreste tiene una capacidad de procesar 34% de RCD, mientras que su tasa de reciclaje real es del 7%. Esta diferencia se puede dar gracias a la gestión, políticas para combatir verederos ilegales, inclusiones de regulaciones sobre almacenamiento y transporte, y la cultura del reciclaje, esto se puede evidenciar en la cantidad de RCD que ya llega clasificado a las plantas. (ABRECON, 2020)

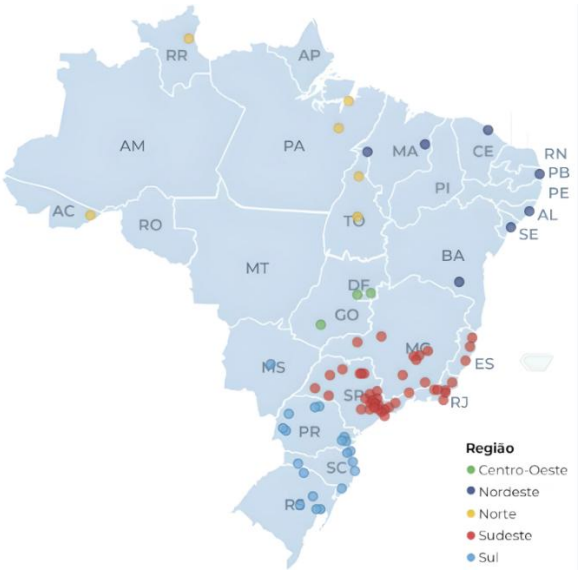
Ilustración 5
Estado de clasificación al llegar a la planta



Nota: Elaboración propia adaptado de (ABRECON, 2020)

En la investigación se menciona que 34 plantas afirmaron recibir RCD 100% clasificados, 31 de estas se encuentran en el estado de São Paulo, lugar donde existe una mayor implementación de Planes de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición. Si bien Brasil tiene 90 municipalidades que tienen un plan de gestión de RCD, la mayoría se encuentran en la región Sur-Sureste del país. Brasil tiene alrededor de 5500 municipalidades, en cada estado **aproximadamente el 2% participo** de los cuestionarios para concretar esta investigación.

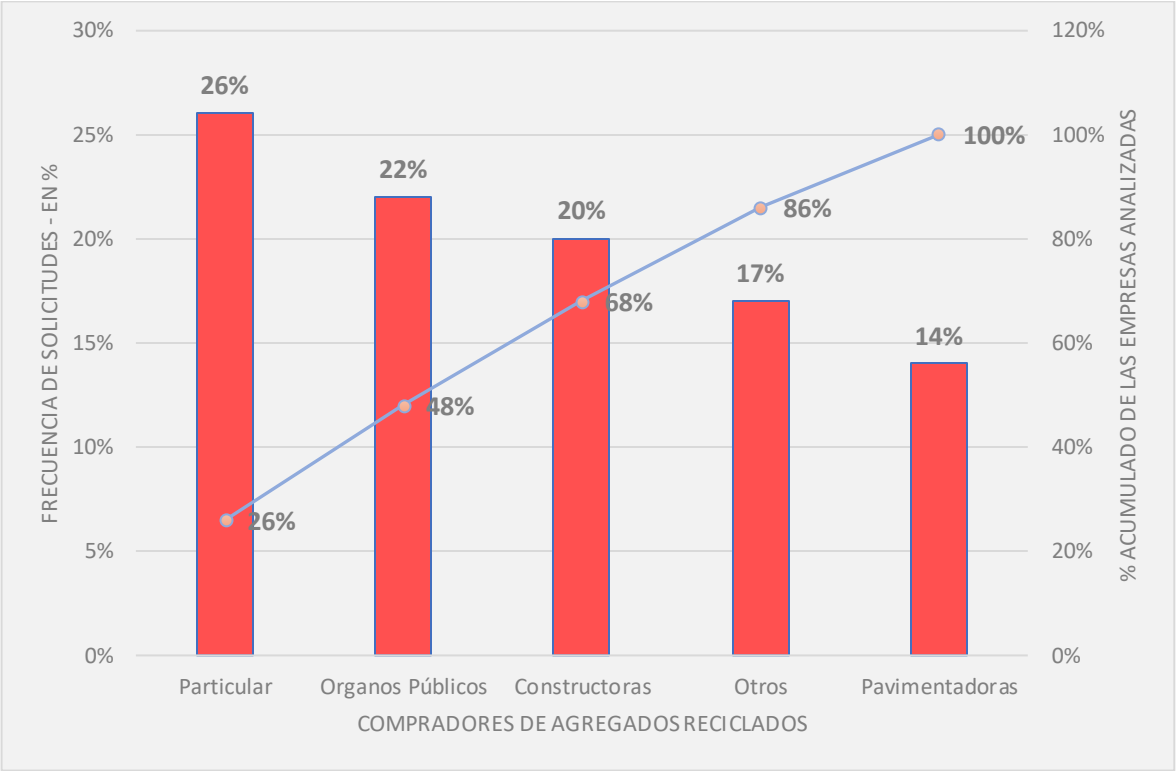
Ilustración 6
Ubicación de las municipalidades que respondieron a la pregunta sobre poseer un plan de gestión



Nota: Obtenido de "PESQUISA SETORIAL ABRECON 2020"

Es interesante conocer los principales los perfiles de las personas que compran los agregados reciclados. Según (ABRECON, 2020) el mayor porcentaje de personas que comprar áridos reciclados son personas naturales, que corresponden al **sector informal de la construcción.**

Ilustración 7
Perfil de compradores de áridos reciclados



Nota: Elaboración propia adaptado de (ABRECON, 2020)

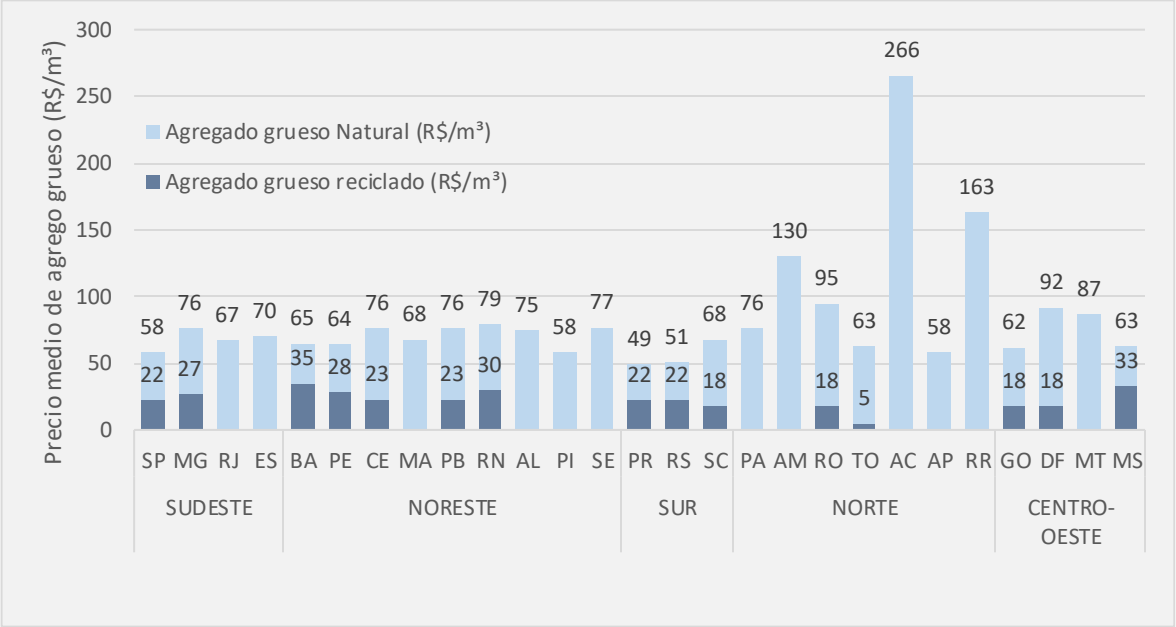
2.4.4.3 Precio por Recepción de Residuos

ABRECON evidencia una dispersión significativa en los costos de recepción de RCD entre las diferentes regiones brasileñas, observándose incluso plantas que aceptan el material de forma gratuita. En varios estados se practican tarifas mínimas de R$ 5/m³, este valor resulta económicamente insostenible, considerando un contenido promedio de rechazo (material no apto para ser reciclado) del 10% y un costo de disposición final de R$ 100/m³, la tarifa técnica de equilibrio debería superar los R$ 10/m³

2.4.4.4 Precio del Agregado Reciclado vs Agredo Natural

El análisis de precios revela la alta competitividad económica de los agregados reciclados, los cuales llegan a comercializarse a valores inferiores al 50% del costo de los áridos naturales. Esta diferencia de precios no es uniforme y se da gracias a dinámicas regionales de escasez. En el Nordeste el agregado grueso es más valorado, mientras que en el Sudeste (como en São Paulo) la escasez de fuentes naturales ha elevado el precio de la arena reciclada por encima de la grava. Sin embargo, un factor determinante para estos precios bajos radica en el modelo de negocio del sector, dado que la mayor parte de los ingresos de una planta proviene de la tasa de recepción y no de la venta del producto final.

Ilustración 8
Precio del agregado grueso en los diferentes estados



Nota: Elaboración propia adaptado de (ABRECON, 2020)

Según ABRECON 2020 la sostenibilidad económica del sector de reciclaje se enfrenta dificultades, la baja participación y compromiso de las fuentes generadoras obliga a las plantas a operar con márgenes mínimos, dificultando la viabilidad del negocio. Si bien un aumento en las tarifas de recepción sería necesario para cubrir los costos reales de operación y tratamiento de rechazos, esta medida desincentiva el uso de canales formales, desviando los residuos hacia la disposición ilegal más barata. Esta inestabilidad financiera se ve agravada considerando que menos de la mitad del volumen de RCD reciclado logra ser comercializado, generando altos costos de almacenamiento. Como indica la literatura

sectorial ABRECON, 2020, la confianza en el material es baja debido a que los ensayos de control de calidad no son rutinarios, realizándose mayoritariamente 'solo bajo solicitud o de manera esporádica', lo que impide certificar el desempeño del árido para usos de mayor responsabilidad estructural. (ABRECON, 2020)

2.4.5 CEPAL

2.4.5.1 Economía Circular en América Latina y el Caribe.

En el documento Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora, la CEPAL aborda la economía circular como un marco para transitar desde esquemas centrados en "gestión de residuos" hacia enfoques de "gestión de recursos", destacando la importancia de contar con diagnósticos y datos para orientar decisiones y políticas en la región. En el análisis del contexto regional de residuos, el texto señala que, si bien existe información relativamente disponible sobre residuos sólidos urbanos, hay escasez de datos para varias categorías específicas, incluyendo residuos de construcción y demolición, lo que dificulta presentar un panorama regional integral y exhaustivo de todas las corrientes de residuos. En este sentido, el documento aporta un encuadre regional útil para comprender por qué los RCD suelen aparecer como un flujo de alto interés en economía circular, pero también por qué, a escala latinoamericana, persisten limitaciones de información comparables entre países para caracterizar el problema y seguir el desempeño de la valorización. (CEPAL, 2021)

2.4.5.2 Panorama de las Hojas de Ruta de Economía Circular en América Latina y el Caribe.

El documento Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe sistematiza y compara hojas de ruta de economía circular en países de la región, incorporando fichas por país y por estrategias sectoriales. En los anexos, el texto incluye una ficha específica para Chile denominada "Hoja de Ruta RCD–Economía Circular en Construcción 2035", donde se presenta como concepto clave la jerarquía de manejo (prevención como primera opción y eliminación como última alternativa), asociada al marco de gestión de residuos. La ficha caracteriza al sector construcción como prioritario por su intensidad en el uso de materias primas y su impacto en consumo de energía y agua, y resume lineamientos/acciones que incluyen, entre otros aspectos, medidas vinculadas a disposición inadecuada de RCD, extracción ilegal de áridos y la valorización de RCD

desde vertederos u otros sitios afectados por disposición. Además, se indica que una parte relevante del documento de hoja de ruta se enfoca en gobernanza, proceso participativo, contexto, diagnóstico del sector y principios para su implementación. En conjunto, esta fuente permite ubicar los RCD dentro de instrumentos de planificación sectorial y entender cómo se formulan ejes de acción para promover su valorización en la construcción. (CEPAL & MITECO, 2025)

2.4.5.3 Metodología para la Evaluación de Avances en la Economía Circular en los Sectores Productivos de América Latina y el Caribe.

La publicación de la CEPAL Metodología para la evaluación de avances en la economía circular en los sectores productivos de América Latina y el Caribe propone un enfoque de análisis basado en cadenas de valor, y desarrolla una metodología de indicadores para evaluar avances en circularidad e identificar oportunidades de mejora en sectores priorizados. El documento valida esta metodología mediante casos de estudio, entre ellos el de la cadena de construcción en Colombia, donde describe la estructura de la cadena y caracteriza el problema de los residuos asociados a la actividad constructiva. En este caso, se reporta que el sector genera escombros por demoliciones equivalentes a 22 millones de toneladas, y que una fracción importante se dispone de forma ilegal; asimismo, se indica un aprovechamiento reducido de estos materiales, lo que muestra un margen relevante para estrategias de circularidad en el sector.

CEPAL también señala que, a lo largo de la cadena, coexisten materiales como cemento, hierro, maderas, plásticos y vidrios, y que se generan RCD tanto al inicio como al final del ciclo, destacando como abundantes las tierras de excavación y los pétreos provenientes de la demolición de concreto. Finalmente, se menciona que el reciclaje de concretos, cerámicos, tierras y maderas, mediante trituración, puede convertirse en agregados para su uso en diversos productos y aplicaciones de construcción, aportando un marco de referencia para comprender cómo se conectan la gestión de RCD y las alternativas de valorización dentro de la cadena constructiva. (CEPAL DP, 2022)

2.4.6 Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

2.4.6.1 De Residuos a Recursos: Residuos de Construcción y Demolición en Montevideo.

La nota técnica del BID De residuos a recursos: residuos de construcción y demolición en Montevideo forma parte de una serie orientada a impulsar economía circular y mejorar la gestión de residuos sólidos en Uruguay, presentando elementos de reflexión, diagnóstico y líneas de acción para distintos flujos de residuos, incluyendo los RCD. El documento organiza su propuesta en tres ejes de actuación: (1) Infraestructura, con el objetivo de eliminar el ingreso de residuos de obras civiles al relleno sanitario municipal e incrementar la preparación para la reutilización, reciclado y valorización de RCD incorporando infraestructura necesaria; (2) Gobernanza y regulación, orientado a reducir la informalidad, mejorar fiscalización, transparencia de información y fomentar mercados para productos reciclados; y (3) Capacitación y sensibilización, que incluye fomentar prevención, reutilización y consumo de áridos recuperados, junto con generación de conocimiento sobre soluciones avanzadas. Como parte del diagnóstico de infraestructura, se indica que el sistema se encuentra predominantemente enfocado en disposición final y se reporta la existencia de una planta piloto de valorización; además, se presenta una estimación de destinos de RCD donde se observa que el relleno sanitario municipal y la disposición informal representan proporciones relevantes, mientras que el reciclaje aparece en una fracción reducida. Esta fuente es útil para describir, a escala de ciudad, cómo se estructura un enfoque de gestión y valorización de RCD que incluye explícitamente el uso de áridos recuperados como parte de la transición hacia prácticas circulares en construcción. (Roda & Pigola, 2021)

2.4.6.2 Unlocking Circular Economy Finance in Latin America and the Caribbean.

El informe Unlocking Circular Economy Finance in Latin America and the Caribbean, elaborado por UNEP FI con BID Invest, revisa el financiamiento de iniciativas de economía circular en la región e incorpora casos ilustrativos de modelos de negocio que valorizan residuos. Dentro de estos, se presenta el caso CICLO (Perú), descrito como una empresa que surge para atender la baja tasa de reciclaje de residuos de construcción y demolición mediante un esquema de recolección y procesamiento del residuo, transformándolo en agregados reciclados. El reporte indica que estos agregados reciclados

se destinan al mercado de materiales de construcción incluyendo usos vinculados a cemento y concreto, además de otros materiales y que la empresa busca escalar su operación mediante expansión y fortalecimiento de capacidades productivas. Asimismo, el documento resume la trayectoria de financiamiento del caso, mostrando la combinación de fuentes y etapas que se reportan para sostener el crecimiento de este tipo de iniciativas circulares. (BID, 2023)

2.5 Marco Legal y Normativo

2.5.1 Chile

2.5.1.1 Ley 20.920 (2016) "Ley Marco para la Gestión de Residuos" (Ley REP).

Esta ley establece el marco general para la gestión de residuos en Chile y crea la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) como instrumento central. Define obligaciones e instrumentos para prevenir la generación, fomentar la reutilización, reciclaje y valorización, y ordenar la gestión mediante metas, sistemas de gestión y reglas de cumplimiento asociadas a productos priorizados por la ley. (Chile. Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

2.5.1.2 Decreto Exento N° 37 (MINVU, 2019) Oficializa la NCh 3562.

Aprueba y declara como Norma Oficial la NCh 3562 ("Gestión de residuos – RCD – Clasificación y directrices para el plan de gestión"). Indica que la norma entra en vigencia tras 6 meses desde su publicación. (Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019)

2.5.1.3 Decreto Supremo N° 40 (2012, MMA) Reglamento del SEIA.

Este decreto contiene el reglamento que fija cómo funciona el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA): define conceptos (área de influencia, impactos significativos, etc.), establece el procedimiento de evaluación y diferencia entre DIA (Declaración de Impacto Ambiental) y EIA (Estudio de Impacto Ambiental), además de regular participación ciudadana, contenidos mínimos de los estudios/declaraciones y el tratamiento de medidas de mitigación/compensación/reparación dentro del proceso. (Decreto 40, 2012)

2.5.1.4 NCh 3562:2019 “Gestión de Residuos RCD Clasificación y Directrices para el Plan de Gestión”.

Esta norma establece una clasificación de los RCD y define el contenido mínimo que debe tener un plan de gestión de RCD para obras de construcción y demolición. En términos prácticos, estructura el plan en torno a: identificación/estimación de residuos, segregación, acopio, traslado, valorización y disposición final, además de registros de control asociados al manejo. La norma técnica NCh3562:2019 es adoptada por entidades públicas chilenas como Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) o también Ministerio de Obras Públicas (MOP) haciéndola parte del sistema operativo utilizado en el país. (Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019)

2.5.1.5 NCh 163:2024 “Áridos para hormigones y morteros – Requisitos”.

Incluso más a fin en cuanto a residuos de construcción y demolición para uso en hormigones como agregados o áridos es el documento relativamente nuevo NCh163:2024 “Áridos para hormigones y morteros” que menciona explícitamente el uso de áridos reciclados que provienen de hormigón endurecido, y prohíbe el uso de áridos reciclados de otros materiales provenientes de obras de construcción, se consideran impurezas que deben ser controladas según su porcentaje máximo respecto al peso total de la muestra, por ejemplo material cerámico 5%, asfalto, vidrios, plásticos, madera 1%. Además, exige la trazabilidad del origen del hormigón reciclado, acopios separados de áridos naturales y áridos reciclados, proporciona también un porcentaje máximo de áridos reciclado (10%) del peso del árido grueso natural, cuando la absorción del árido grueso reciclado no supera el 7% con el fin de cumplir con las tablas de requisitos de desempeño. (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2024)

La norma menciona la posibilidad de mayores porcentajes de áridos gruesos reciclados para casos especiales como si especificaciones estructurales alternas lo permiten como la normativa NCh170 y/o NCh430 o alguna obra especifica lo autorizan explícitamente, con el debido sustento y justificación técnica para ese proyecto. De esta manera podemos asegurar que está habilitado la reutilización de residuos de construcción siempre y cuando provengan de hormigones limpios y endurecidos.

2.5.1.6 NCh 170:2016 “Hormigón Requisitos generales”.

Norma marco de requisitos generales del hormigón. En su alcance técnico, se utiliza para fijar criterios de especificación y control (por ejemplo, requisitos ligados a dosificación mínima de cemento y condiciones asociadas a desempeño/durabilidad según exposición, según lo que se establezca en especificaciones del proyecto). (INN NCh 170, 2016)

2.5.2 Colombia

2.5.2.1 Resolución 0472 de 2017 (MADS) Gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

Colombia cuenta con diversos recursos que regulan los residuos de construcción y demolición, cuenta con el ámbito ambiental obligatorio para su gestión en obra y con normativa técnica que permite y limita su utilización en el concreto. En cuanto al aspecto jurídico ambiental podemos referirnos a la Resolución 0472 de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y su reciente actualización en el 2021 con la Resolución 1257, ambos documentos reglamentan la gestión de RCD en nivel nacional, definen a los RCD como desechos sólidos provenientes de excavación, construcción, demolición, reparaciones y mejoras de obras civiles. Además, incluyen planes obligatorios para el adecuado manejo y gestión de RCD priorizando el almacenamiento temporal, transporte con gestores autorizados, aprovechamiento y disposición final controlada. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

2.5.2.2 Resolución 1257 de 2021 (MADS) Modifica la Resolución 0472 de 2017 (RCD).

En cuanto a la actualización publicada en el 2021 (Resolución 1257) busca reforzar el sistema de control con ayuda de reportes y registros de gestores, enfatizando la importancia de la trazabilidad, seguimiento y metas del aprovechamiento. Mejorando la parte jurídica y normativa, más un constante monitoreo de las falencias de sistemas actúales apuntamos a reducir la disposición clandestina y a consolidar las practicas formales de valorización de RCD. Un punto clave es que redefine las metas obligatorias de aprovechamiento para grandes generadores según la categoría del municipio, siendo categoría especial municipios con más de 2 millones de habitantes y categoría 4 cien mil habitantes según la ley 617.

Tabla 7
Metas de cumplimiento de reciclaje

Cumplimiento de meta (desde)	Categoría especial	Categorías 1, 2, 3	Categorías 4, 5, 6
1° de enero de 2023	25%	15%	5%
1° de enero de 2026	50%	30%	20%
1° de enero de 2030	75%	60%	40%

Nota: Elaboración propia adaptado de (Resolución No 1257, 2021)

En la siguiente tabla resume los actores y elementos operativos del modelo de gestión de RCD en Colombia, definiendo quién genera, dónde se recibe/acopia y quién gestiona o aprovecha el residuo, para describir la ruta básica del RCD desde la obra hacia su manejo, aprovechamiento o disposición final. (Resolución No 1257, 2021)

Tabla 8
Actores y elementos operativos

Concepto	Definición
Puntos limpios	Sitios de entrega y acopio temporal para escombros/RCD, orientados a pequeños generadores y a evitar disposición en vía pública.
Pequeños generadores	Obras menores que no requieren licencia o que no superan 2.000 m² de área construida.
Grandes generadores	Proyectos que requieren licencia (construcción/espacio público/ambiental) y con área construida ≥ 2.000 m²; sujetos a metas de aprovechamiento.
Gestores	Empresas/personas autorizadas que realizan recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y/o disposición final de RCD.
Receptores	Industrias/actores que usan RCD aprovechables como materia prima (simbiosis industrial), sin ser gestores como actividad principal.

Nota: Elaboración propia adaptado de (Resolución No 1257, 2021)

2.5.2.3 NTC 6421:2021 (ICONTEC) – Agregados Gruesos Reciclados para Uso en el Concreto Hidráulico.

En cuanto al enfoque normativo técnico, Colombia tiene la NTC 6421:2021 (ICONTEC) "Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico" que tiene como complemento la NTC 6422:2021 "Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados". La NTC 6421 establece requisitos de calidad y define una guía de uso de los agregados gruesos reciclados (AGR) provenientes de RCD, que tendrán como fin hormigón estructural y no estructural. La normativa es muy clara en que el agregado fino reciclado (AFR) no está permitido utilizarlo por falta de consenso técnico. (ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021)

La NTC 6421 clasifica a los AGR según su composición, si se pretende utilizarlo en hormigón estructural, la categoría admisible es T1, al igual que la norma chilena lo que busca la norma es que el agregado grueso reciclado provenga en su mayoría o en su totalidad de hormigones limpios y endurecidos con porcentajes muy pequeños de impurezas como residuos de mampostería de arcilla, material asfaltico, plásticos, caucho, vidrios, entre otros. Se habla también de AGR mixto el cual contiene mayores cantidades de impurezas, de ahí su nombre (mixto), no obstante, este queda prohibido para uso estructural y su resistencia a la compresión se limita a 21 MPa asegurando que su desempeño mecánico y durabilidad estructural no sea vean comprometidos. (Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, 2023)

Es importante aclara que la norma NTC 6421 opera como una habilitante del uso de agregados gruesos reciclados, sin embargo, el diseño final debe respetar la NRS-10 Titulo C que fija los requisitos mínimos para concreto estructural en Colombia.

2.5.2.4 CONPES 3919 de 2018 – Política Nacional de Edificaciones Sostenibles.

Este documento de política pública reconoce que el crecimiento del sector edificador incrementa impactos ambientales como la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) y la presión por extracción/consumo de recursos. Dentro del diagnóstico y la justificación de la política, se menciona explícitamente el aumento de RCD asociado a la construcción y se enmarca la necesidad de orientar el sector hacia prácticas más sostenibles. (Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), 2018)

2.5.3 Perú

2.5.3.1 Decreto Legislativo N.° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

La ley de gestión integral de residuos sólidos aprobada mediante el Decreto legislativo N.° 1278 (2017) es la que establecen medidas para la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) a nivel nacional, desde su origen hasta la disposición final, dando prioridad a la prevención, minimización y valorización que aplica a todos los flujos de residuos incluyendo a los RCD, aunque es importante mencionar que esta norma no posee el mismo detalle e información como lo hacen en otros países. (Decreto N 1278, 2017)

2.5.3.2 Ley N.° 32212.

En diciembre de 2024 se publicó la Ley N.° 32212, un cambio relevante que modifica Decreto legislativo 1278 donde se incorpora explícitamente, aunque de manera breve a los residuos de construcción y demolición de obras menores. Se menciona el uso de canteras en etapa de cierre o abandono como posible infraestructura para valorización o disposición final de RCD. (EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2024)

2.5.3.3 Decreto Supremo N.° 002-2022-VIVIENDA.

Publicado el 6 de abril del 2022 El Decreto Supremo N.° 002-2022-VIVIENDA aprueba el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición en el Perú, Establece que los residuos de construcción y demolición se clasifican, según el manejo que reciben, en no peligrosos y peligrosos, posee un marco obligatorio para prevenir, minimizar, segregar, almacenar, transportar, valorizar y disponer adecuadamente los residuos generados en obras de construcción y demolición. El reglamento define criterios de aplicación incluyendo el tratamiento de obras menores, fija responsabilidades del generador y de las empresas operadoras (EO-RS), y exige instrumentos de control como el registro interno en obra, la verificación de valorización y, para actividades no municipales o con Instrumento de Gestión Ambiental (IGA), la declaración anual y reportes destinados al SIGERSOL. Además, reconoce y ordena la implementación de infraestructura autorizada (valorización, escombreras), promueve la valorización mediante usos permitidos del material reciclado, y establece el esquema de supervisión, fiscalización y sanción por las autoridades competentes para asegurar el

cumplimiento y reducir impactos ambientales. (Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2022)

2.5.3.4 NTP 400.050:2017 (INACAL) – Residuos de la Actividad de Construcción y Demolición (2017).

Para Perú las normas técnicas que describan el uso de residuos de construcción y demolición para uso de áridos gruesos reciclados son no existentes, lo más cercano al tema podría ser la NTP 400.050:2017 que clasifica los residuos de la actividad de construcción y abarca temas como el aprovechamiento, la trazabilidad, el transporte, la disposición final, entre otros. (Norma Técnica Peruana NTP 400.050:2017)

2.5.3.5 NTP 400.053:1999 (INACAL) MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCION. Reciclaje de Concreto de demolición.

Aunque antigua ya que fue publicada en 1999 la norma NTP 400.053:1999 sigue vigente la cual reconoce, define y centra específicamente en el concreto de demolición, granulado de concreto, y concreto reciclado, tratando de clasificar su uso, sin embargo, se considera que el detalle es muy escaso y tienes brechas comparado con normativa más moderna. (Norma Técnica Peruana NTP 400.053:1999 (INACAL), 1999)

2.5.4 Brasil

2.5.4.1 Ley nº 12.305/2010 Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS).

Instituye la PNRS y fija el marco nacional para la gestión integrada y el manejo ambientalmente adecuado de los residuos sólidos, definiendo los RCD. Establece instrumentos como planes en distintos niveles (nacional/estadual/municipal) y planes de gestión; además desarrolla el esquema de responsabilidad compartida y la logística reversa como parte del sistema de gestión. (Ley n 12.305, 2010)

2.5.4.2 Decreto nº 10.936/2022.

Reglamenta disposiciones operativas de la PNRS, incluyendo el enfoque de responsabilidad compartida y obligaciones asociadas a separación, acondicionamiento y destinación de residuos en el marco de recolección selectiva y logística reversa, y articula instrumentos de implementación dentro del sistema nacional. (Decreto n 10.936, 2022)

2.5.4.3 Portaria MMA nº 280/2020 Manifiesto de Transporte de Residuos e Inventario Nacional de Residuos Sólidos.

Aprueba el Manifestó de Transporte de Residuos (MTR) Nacional como herramienta de registro y trazabilidad del traslado de residuos, e instituye lineamientos del Inventario Nacional de Residuos Sólidos. Define el uso del MTR dentro del sistema nacional, y organiza la lógica documental del flujo (emisión/registro por los actores del transporte y la destinación). (Portaria MMA, 2020)

2.5.4.4 Resolución CONAMA nº 307/2002 Residuos de Construcción Civil.

Publicada en el 2002 resolución establece directrices nacionales específicamente para la gestión de RCD y los clasifica en 4 en clases A, B, C y D. (CONAMA n 307, 2002)

Tabla 9
Clasificación CONAMA

Clase	Definición (CONAMA 307/2002)	Ejemplos
A	Residuos reutilizables o reciclables como agregados.	- Construcción, demolición, reformas y reparaciones de pavimentación y otras obras de infraestructura, incluyendo suelos de movimientos de tierra. - Construcción y demolición de edificaciones: componentes cerámicos (ladrillos, bloques, tejas) y hormigón. - Prefabricados de hormigón: bloques, tubos, bordillos.
B	Residuos reciclables para otros usos	Plásticos, papel, cartón, metales, vidrio, madera, envases vacíos de pintura y yeso.
C	Materiales de desecho para los cuales no existe tecnología o aplicaciones económicamente viables para reciclaje o valorización.	No reciclables económicamente
D	Residuos peligrosos provenientes del proceso constructivo, o perjudiciales para la salud (incluye contaminados).	Pinturas, solventes, aceites, contaminantes o perjudiciales para la salud provenientes de demoliciones, renovaciones o reparaciones.

Nota: Elaboración propia con base en (CONAMA n 307, 2002)

También define objetivos como priorizar la no generación, reducción, reutilización, reciclaje y la disposición final adecuada, y prohíbe la disposición de RCD en botaderos/áreas no autorizadas y en rellenos de residuos domiciliarios. Exige planificación mediante planes municipales y proyectos/planes de gestión para grandes generadores; además fija etapas mínimas: caracterización, segregación, acondicionamiento, transporte y destinación. Esta norma sigue en vigencia, sin embargo, ha sufrido 4 actualizaciones en los años 2004, 2011, 2012, 2015.

2.5.4.5 Normas NBR 1511X.

La serie ABNT NBR 1511X corresponde a un paquete de normas técnicas emitidas en el 2004 por la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para estandarizar la gestión y el aprovechamiento de los residuos de construcción civil.

ABNT NBR 15112:2004 Residuos de la construcción civil y residuos voluminosos Áreas de transbordo y clasificación (ATT)

Esta norma fija los requisitos mínimos para diseñar, implantar y operar las Áreas de Transbordo y Clasificación (ATT) para RCD y residuos voluminosos.
Incluye definiciones operativas como reutilización, reciclaje, y formaliza el CTR (Control de Transporte de Residuos) como documento con datos del generador, origen, cantidad, descripción por ejemplo cuántos m^3 y qué clase es (A, B, C o D) y destino, fundamental para la trazabilidad municipal de los escombros. En la parte operativa exige condiciones de aislamiento y control de acceso (portón y cerramiento perimetral), identificación visible de la instalación, equipos de seguridad y un sistema de protección ambiental que considere control de polvo, contención de ruido, drenaje superficial y acondicionamiento del piso de áreas de acceso y operación. (ABNT NBR 15112:2004, 2004)

ABNT NBR 15113:2004 Residuos sólidos de la construcción civil y residuos inertes Rellenos

Esta norma fija requisitos mínimos para rellenos de RCD Clase A y residuos inertes. Su enfoque es la reservación y disposición segregada para uso futuro o futura utilización del área y la protección de aguas superficiales/subterráneas, condiciones de trabajo y población vecina. En implantación, define criterios de localización para minimizar impacto ambiental, maximizar aceptación social y cumplir uso de suelo/legislación ambiental y lista aspectos a evaluar como geología/suelos, hidrología, pasivo ambiental, vegetación, accesos, vida útil y distancia a núcleos poblados. (ABNT NBR 15113:2004, 2004)

ABNT NBR 15114:2004 Residuos sólidos de la construcción civil Áreas de reciclaje

Esta norma fija requisitos mínimos para áreas de reciclaje de RCD Clase A (hormigón, ladrillo, mortero), aplicables cuando el material ya fue clasificado y será procesado para producir agregados para infraestructura y edificaciones.

En implantación exige que el sitio elegido minimice impacto ambiental, maximice aceptación de la población y cumpla uso de suelo y legislación ambiental. Además, detalla que deben considerarse variables como hidrología, vegetación y vías de acceso. (ABNT NBR 15114:2004, 2004)

ABNT NBR 15115:2004 Agregados reciclados de residuos sólidos de la construcción civil Ejecución de capas de pavimentación

Define criterios técnicos para usar agregado reciclado de RCD Clase A en capas de pavimentación (refuerzo de subrasante, sub-base, base y revestimiento primario). Establece requisitos de calidad del material: evitar presencia de madera, vidrio, plásticos, yeso y otros no inertes, y fija parámetros como: Cu ≥ 10, porcentaje que pasa tamiz 0,42 mm entre 10% y 40%, límites de CBR/expansión según el tipo de capa, máximo de 30% de granos aplanados, tamaño máximo 63,5 mm, y límites para materiales indeseables por masa. Complementariamente, la norma regula los procedimientos constructivos y criterios de aceptación en campo, enfatizando la necesidad de homogeneizar el material y controlar la humedad óptima debido a la alta tasa de absorción del RCD. Menciona que el extendido debe realizarse en capas que no superen los 20 cm de espesor durante la compactación, exigiendo alcanzar un grado de compactación mínimo del 100%. Además, establece el control de calidad final mediante ensayos para asegurar que la capacidad de soporte de la vía cumpla con los límites de proyecto antes de liberar el tráfico o colocar la capa de rodadura. (ABNT NBR 15115:2004, 2004)

ABNT NBR 15116:2021 — Agregados reciclados para uso en morteros y concretos de cemento Portland: requisitos y métodos de ensayo

La ABNT NBR 15116:2021 establece los requisitos y métodos de ensayo para agregados reciclados destinados a morteros y concretos de cemento Portland, indicando que los materiales empleados deben encajar en la Clase A (residuos reutilizables o reciclables como agregados) y no contener sustancias que afecten la hidratación/endurecimiento del cemento, la protección de la armadura frente a la corrosión o la durabilidad. La norma define tres subclases de agregado reciclado: ARCO (predominantemente de residuos de concreto), ARCI (predominantemente de materiales cementicio) y ARM (mezcla de cementicios + cerámicos). Se especifica un control por lotes, el tamaño del lote no debe

superar 300 m³ de material del mismo origen o 12 h de producción continua, y para obras pequeñas se limita a 80 m³, sobre cada lote se obtiene una muestra representativa.
Sobre requisito podemos referirnos a la siguiente tabla:

Tabla 10
Requisitos y métodos de ensayo

Ensayos (propiedad)	**Ensayo / criterio**	**Límite (%)**	**Requisito**	**Método de ensayo**
Materiales indeseables (G)[b]	Teoría	< 1	Anexos A y B	Anexos A y B
Arcilla en terrones	Teoría	< 3	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 7218
Sulfatos	Teoría	< 0,1	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 9917
Cloruros	Teoría para concreto simple	< 0,2	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 9917
	Teoría para concreto armado	< 0,1		
	Teoría para concreto protendido	< 0,01		
Absorción de agua	Clase ARCO	< 7	5.3	ABNT NBR 16917 (grueso)
Absorción de agua	Clase ARCI o ARM	< 12	5.3	ABNT NBR 16916 (pequeño)

Nota: Elaboración propia adaptado de (ABNT NBR 15116:2021, 2021)

La norma explicita que por "materiales indeseables" se consideran fragmentos orgánicos (maderas, plásticos, betunes, materiales carbonizados) e inorgánicos (vidrios, cerámicas vidriadas, yeso), y que los Anexos A y B establecen los métodos para determinar su contenido y la composición: Anexo A por análisis visual para agregado grueso y Anexo B por lupa para agregado fino. Respecto al uso estructural, la norma indica que productos con función estructural debe utilizarse únicamente ARCO, con sustitución limitada al 20% de la masa total de agregados únicamente utilizado para concretos de clases de agresividad I (Rural) y II (Urbano) (ABNT NBR 6118:2014). Para usos no estructurales, permite ARCO/ARCI/ARM con sustitución de hasta 100%, manteniendo el cumplimiento de los

requisitos de las normas específicas del producto final. Finalmente, aborda el comportamiento de los reciclados frente al agua mediante la sección de pre-mojado y compensación: recomienda el pre-humedecimiento de agregados finos y gruesos para ajustar propiedades reológicas (trabajabilidad, consistencia, pérdida de asentamiento), y si no se presaturan, exige compensar el agua absorbida y no incluirla en el cálculo de la relación a/c, trabajando con el concepto de agua efectiva; incluso propone expresiones de cálculo y señala como referencia práctica K1 ≈ 80% de la absorción a 24 h y un tiempo de pre-saturación del orden de 10 min antes del contacto del agua con el cemento.

3. Fundamentos Metodológicos

3.1 Diseño Metodológico

El presente Trabajo de Integración Curricular se desarrolla bajo un diseño metodológico de tipo documental, orientado a comprender el estado de la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en América Latina y analizar las condiciones que permiten su valorización como áridos reciclados con potencial de aplicación en el sector de la construcción. El estudio se sustenta en la revisión de artículos científicos, informes técnicos, experiencias regionales, y normativa vigente con el fin de identificar oportunidades, limitaciones y tendencias que aporten una visión integral sobre la problemática.

En coherencia con el enfoque del trabajo, el diseño metodológico prioriza el análisis y comparación de los marcos regulatorios y estrategias de gestión implementadas en la región, tomando como referencia los casos de Chile, Colombia, Perú y Brasil, para reconocer criterios comunes, disparidades y prácticas aplicables. Esta comparación considera que, en el contexto latinoamericano, la gestión de RCD enfrenta retos asociados a la falta de segregación, limitada infraestructura de reciclaje y prácticas informales de disposición, factores que condicionan la calidad del material recuperado y su posibilidad de reincorporación en procesos productivos de mayor valor.

Operativamente, el trabajo se organiza en fases generales que aseguran seguimiento y orden en el análisis documental:

Delimitación del objeto de estudio y alcance comparativo, definiendo los países de referencia y los componentes temáticos a revisar (gestión, regulación y criterios técnicos asociados a la valorización de RCD).

Levantamiento y selección de fuentes, recopilando normativa, guías, reportes institucionales y literatura científica pertinente al manejo de RCD y su aprovechamiento como material reciclado.
Sistematización de la información, mediante el registro y organización de hallazgos, para facilitar el seguimiento de cada criterio y su origen documental.
Análisis comparativo e integración, contrastando disposiciones, enfoques de implementación y condiciones de control que inciden en la valorización de RCD en cada caso.
Síntesis de resultados, presentando los hallazgos en tablas comparativas y en un análisis interpretativo que permita identificar deficiencias, buenas prácticas y condiciones habilitantes para una gestión más sostenible.

3.1.1 Definición del Enfoque, Diseño y Tipo de Investigación del Trabajo

El presente Trabajo de Integración Curricular adopta un enfoque principalmente cualitativo, debido a que se centra en la interpretación y análisis de marcos normativos, lineamientos técnicos y estrategias de gestión relacionadas con los residuos de construcción y demolición (RCD) en el contexto latinoamericano. De manera complementaria, se incorporan referencias cuantitativas puntuales (porcentajes e indicadores reportados en fuentes oficiales o estudios técnicos) cuando resultan pertinentes para describir magnitudes, contrastar escenarios o reforzar comparaciones entre países.
En cuanto al diseño, la investigación se enmarca en un diseño no experimental, dado que no se manipulan variables ni se realizan ensayos de laboratorio; en su lugar, se trabaja con información proveniente de documentos publicados. En este sentido, el trabajo corresponde a una investigación documental (bibliográfica), basada en la revisión y sistematización de fuentes como normativa, guías, informes técnicos y literatura científica, orientada a construir un análisis integral del manejo de RCD y de las condiciones que posibilitan su valorización.
Respecto al tipo y nivel de investigación, el estudio es de carácter descriptivo–comparativo. Es descriptivo porque caracteriza y organiza la información relevante sobre la gestión y regulación de RCD en distintos países; y es comparativo porque contrasta enfoques, criterios y disposiciones entre Chile, Colombia, Perú y Brasil, identificando similitudes, diferencias, brechas y prácticas destacables que aporten a la comprensión del estado actual de la temática en la región.

3.1.2 Definición de Métodos, Técnicas y Tipo de Investigación del Trabajo

Para el desarrollo del estudio se emplea una metodología basada en revisión documental, sustentada en el análisis de fuentes secundarias (artículos científicos, informes técnicos y experiencias regionales) con el fin de comprender el estado de la gestión de RCD en América Latina y las condiciones que permiten su valorización.

Métodos utilizados.

- **Revisión documental:** permitió recopilar y organizar información proveniente de literatura científica y documentos institucionales relacionados con la gestión de RCD y su aprovechamiento en el sector construcción.
- **Análisis de contenido:** se aplicó para interpretar los documentos seleccionados, identificando disposiciones, criterios y lineamientos relevantes sobre planificación, control, trazabilidad, infraestructura de valorización y regulación aplicable.
- **Análisis comparativo:** se utilizó para contrastar enfoques y prácticas de gestión entre Chile, Colombia, Perú y Brasil, identificando similitudes, diferencias, brechas y buenas prácticas aplicables al contexto regional.

Técnicas de recolección y tratamiento de información.

- **Búsqueda documental** en fuentes académicas y repositorios oficiales, priorizando documentos técnicos y normativos (leyes, reglamentos, normas técnicas, guías institucionales) y estudios científicos pertinentes.
- **Selección por pertinencia temática**, considerando únicamente documentos directamente vinculados con gestión/regulación de RCD y su valorización, excluyendo contenidos de opinión o materiales sin respaldo técnico.
- **Lectura analítica y fichaje**, mediante resúmenes técnicos y registro de información clave por documento (conceptos, requisitos, procedimientos, actores, mecanismos de control y hallazgos relevantes), para asegurar trazabilidad y coherencia en la síntesis.
- **Organización en cuadros de apoyo (cuando corresponda)**, empleando tablas comparativas como recurso para facilitar el contraste entre países y la claridad expositiva; sin embargo, estas se consideran un medio de sistematización y no el fin principal del trabajo.

Tipo de investigación

En concordancia con lo anterior, el trabajo se mantiene como una investigación documental de alcance descriptivo–comparativo, orientada a comprender y explicar, desde la evidencia disponible, cómo se lleva a cabo la gestión de RCD en los países de referencia y qué condiciones institucionales y normativas favorecen su aprovechamiento.

4. Análisis de Resultados

4.1 Presentación de Resultados.

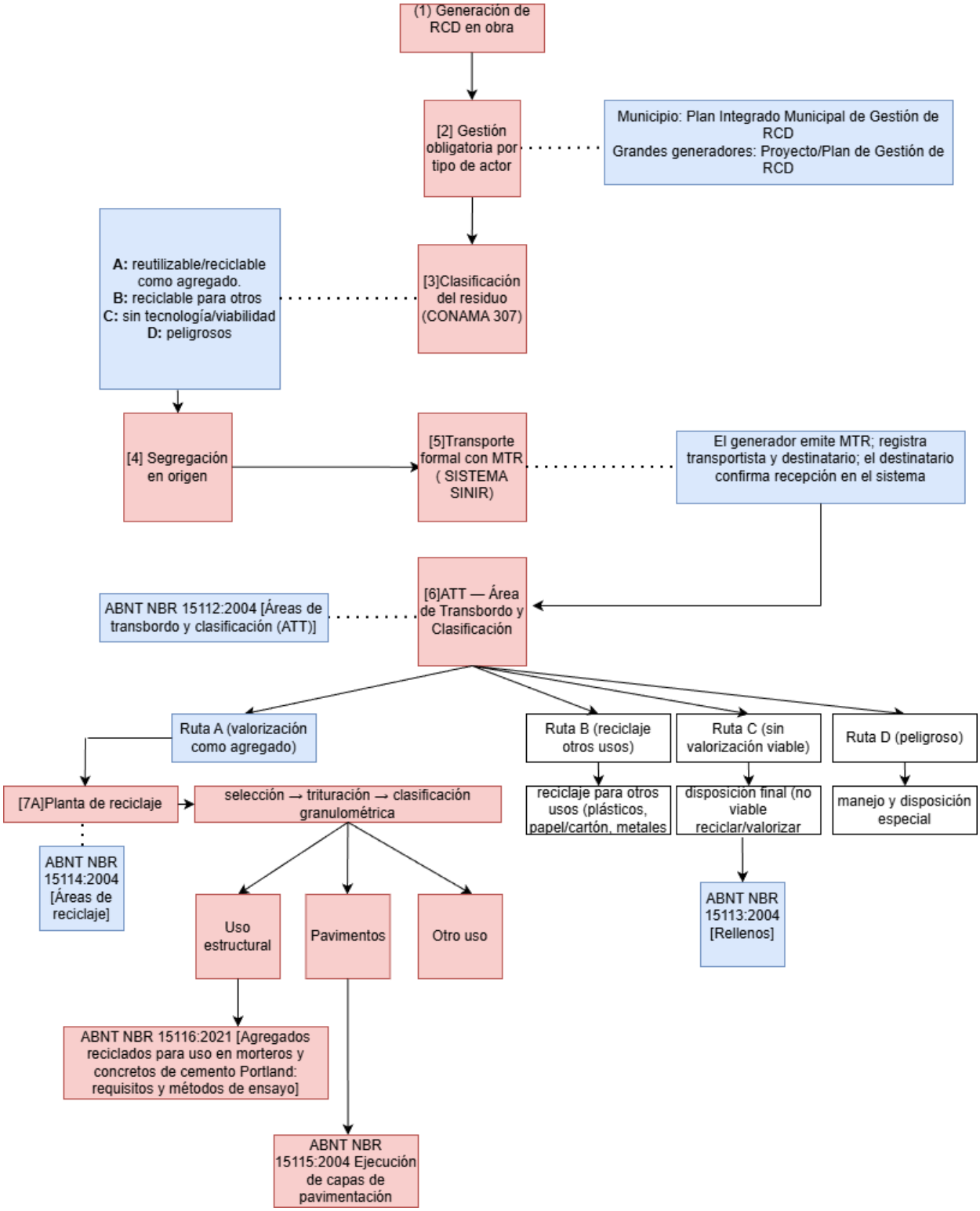
A continuación, se exponen los hallazgos obtenidos tras la revisión sistemática de la normativa legal y técnica vigente en la región. Con el propósito de caracterizar los modelos de gestión adoptados por países latinoamericanos, los resultados se presentan mediante esquemas de flujo que ilustran la trayectoria operativa de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). En cada esquema se identifican explícitamente los instrumentos regulatorios, leyes, decretos y normas técnicas, que habilitan y controlan cada etapa del proceso.

4.1.1 Brasil

Como se aprecia en la Ilustración 9, el modelo de gestión brasileño se estructura bajo el paraguas de la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), la cual se operacionaliza a través de instrumentos técnicos específicos para cada etapa del flujo

1. **Clasificación:** El proceso inicia bajo los criterios de la Resolución CONAMA 307, que segrega los residuos en cuatro clases (A, B, C, D) determinando su viabilidad de reciclaje.
2. **Trazabilidad:** El transporte se controla mediante el sistema digital MTR (Manifiesto de Transporte de Residuos) del SINIR, asegurando el registro fiscalizable entre generador, transportista y destinatario.
3. **Infraestructura:** La recepción se regula mediante normas técnicas diferenciadas; la ABNT NBR 15112 rige para las Áreas de Transbordo y Clasificación (ATT) como puntos intermedios, mientras que la ABNT NBR 15114 establece los requisitos para las Plantas de Reciclaje donde ocurre la transformación del material.
4. **Aplicación Final:** Finalmente, la valorización estructural se habilita mediante la ABNT NBR 15116:2021, la cual permite y limita el uso de agregados reciclados (ARCO) en hormigones, estableciendo requisitos de calidad por lotes.

Ilustración 9
Modelo de gestión de RCD Brasil



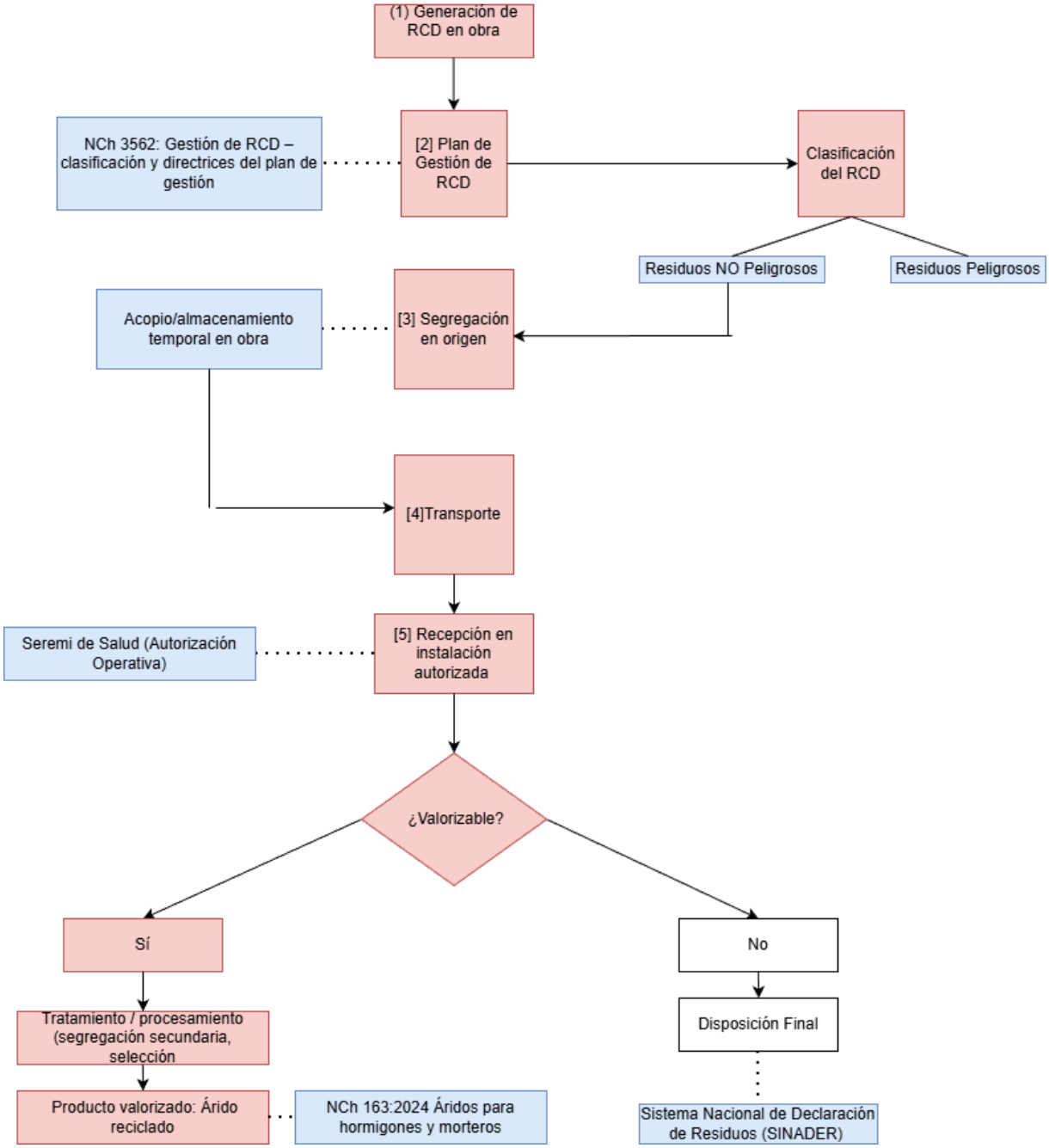
Nota: Elaboración propia

4.1.2 CHILE

Como se ilustra en la Ilustración 10, el modelo de gestión chileno se estructura operativamente bajo los lineamientos de la norma técnica NCh 3562:2019, la cual organiza el flujo mediante instrumentos específicos para cada etapa del proceso:

1. **Gestión en Origen:** El proceso inicia bajo los criterios de la NCh 3562, que estandariza el Plan de Gestión de RCD priorizando la segregación en la fuente y el almacenamiento diferenciado en obra.
2. **Trazabilidad:** El movimiento de los residuos se controla mediante la declaración digital en el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER), mecanismo que permite el seguimiento administrativo del flujo desde el generador. Es importante mencionar que esta declaración se la hace anualmente.
3. **Infraestructura:** La recepción y operación de las instalaciones se valida mediante la Autorización Sanitaria otorgada por la Seremi de Salud, requisito obligatorio que distingue la gestión formal de la ilegalidad. Para el Seremi los RCD recaen en concepto de Residuos Industriales No Peligrosos o similares.
4. **Aplicación Final:** Finalmente, la valorización estructural se habilita bajo la NCh 163:2024, norma que permite el uso de áridos reciclados en la industria del hormigón. En el caso de que el objetivo no sea áridos reciclados para hormigones y morteros, el material será llevado hacia su disposición final.

Ilustración 10
Modelo de gestión de RCD Chile



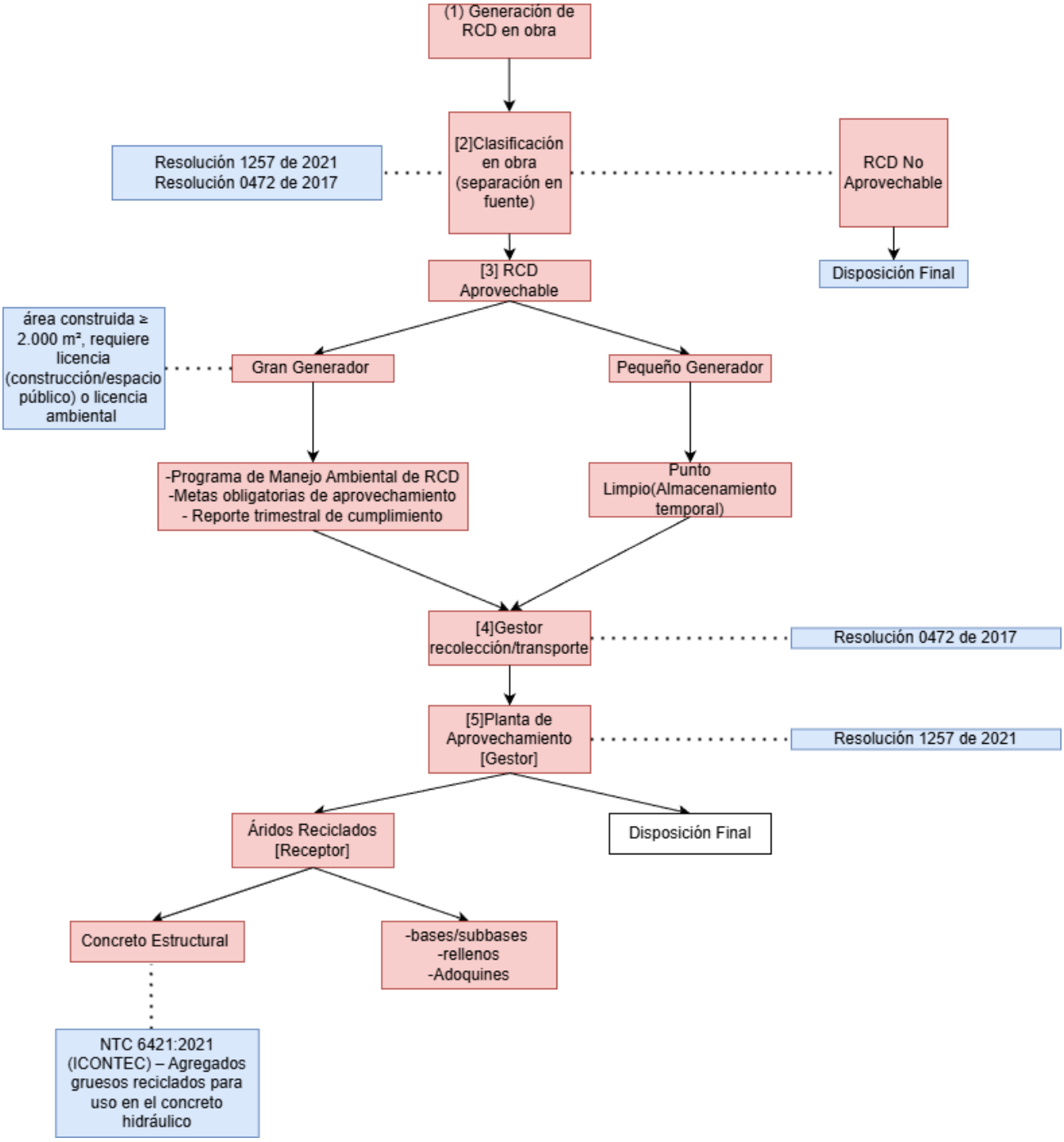
Nota: Elaboración propia

4.1.3 Colombia

Como se aprecia en la Ilustración 11, el modelo de gestión colombiano se estructura a partir de la Resolución 0472 de 2017, actualizada por la Resolución 1257 de 2021, y se operacionaliza mediante obligaciones diferenciadas por tipo de generador, rutas de aprovechamiento y requisitos técnicos de aplicación del material reciclado:

1. **Gestión en Origen:** El proceso inicia con la separación en obra, distinguiendo entre RCD susceptibles de aprovechamiento y aquellos destinados a disposición final, lo que define desde el origen la ruta de gestión (valorización o eliminación).
2. **Obligaciones por tipo de generador:** Los grandes generadores (proyectos con ≥ 2.000 m² o que requieren licencia) se vinculan a instrumentos de control como el Programa de Manejo Ambiental de RCD y el cumplimiento obligatorio de metas de aprovechamiento progresivas. Por su parte, los pequeños generadores se canalizan principalmente mediante Puntos Limpios y acopios temporales, mecanismos diseñados para la logística inversa y la prevención de la disposición inadecuada.
3. **Infraestructura:** La trazabilidad del traslado se materializa mediante gestores autorizados hacia Plantas de Aprovechamiento (o receptores industriales), donde se realiza la transformación y se emiten los certificados de gestión, mientras que el material rechazado se dirige a sitios de disposición final autorizados.
4. **Aplicación final**: La salida valorizada se reintegra como áridos reciclados en obra civil y, específicamente para su incorporación en concreto estructural, se rige por la NTC 6421, la cual establece los requisitos para el agregado grueso Tipo 1 (T1), garantizando la compatibilidad con el diseño de mezcla hidráulico.

Ilustración 11
Modelos de gestión RCD Colombia



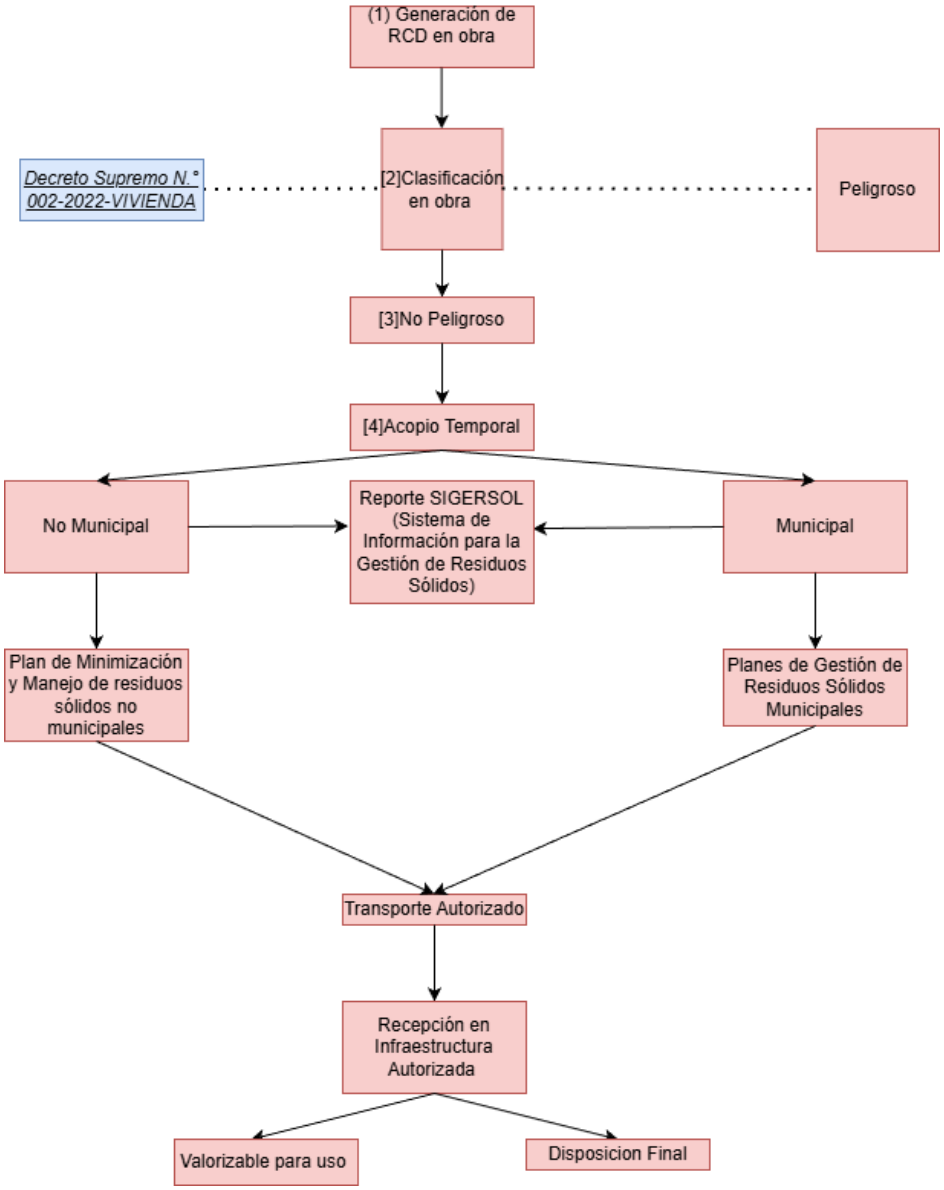
Nota: Elaboración propia

4.1.4 Perú

Como se aprecia en la Ilustración 12, el modelo de gestión peruano para residuos de construcción y demolición se estructura legalmente a partir del Decreto Supremo N.° 002-2022-VIVIENDA, el cual establece un marco orientado a la minimización y valorización, aunque operativamente sigue priorizando el saneamiento y la disposición final controlada debido a la falta de incentivos técnicos específicos:

1. **Clasificación en origen:** El flujo inicia con la segregación en obra, diferenciando estrictamente entre residuos peligrosos y no peligrosos.
2. **Acopio y competencias:** La gestión se bifurca operativamente según la naturaleza del generador: el esquema municipal (para obras menores y domiciliarias) y el esquema no municipal (para grandes proyectos privados) generalmente.
3. **Instrumentos de gestión y reporte:** Se elabora el Plan de Minimización y Manejo de Residuos Sólidos y se consolida digitalmente en el sistema SIGERSOL. A diferencia de otros modelos, este registro funciona mayoritariamente bajo una lógica de declaración anual y trimestral, más que de control en tiempo real.
4. **Brecha en la aplicación final:** Si bien la normativa 2022 fomenta la valorización, el país carece de una norma técnica actualizada y exclusiva para el uso estructural del árido reciclado.

Ilustración 12
Modelo de gestión RCD Perú



Nota: Elaboración propia

4.2 Análisis De Resultados

Este apartado interpreta los hallazgos presentados en la sección 4.1, donde se esquematizaron los modelos de gestión de RCD para Chile, Colombia, Perú y Brasil a partir de sus instrumentos legales y normas técnicas. En este apartado el análisis se organiza por ejes afines, y conecta explícitamente la gestión con la viabilidad del uso de áridos reciclados en hormigón estructural, que es el foco del trabajo.

4.2.1 Estructura Común en los Modelos de Gestión

Aunque los cuatro países no operan con el mismo nivel de detalle, la comparación evidencia que comparten una lógica base con la jerarquía de residuos: prevención, minimización, segregación en origen, reciclaje, valorización, y disposición final para lo no aprovechable. Esta estructura común funciona como un eje operativo, porque determina qué fracciones pueden transformarse en áridos reciclados y con qué confiabilidad.

Gestión en origen (planificación y segregación): Todos los modelos incluyen algún instrumento que empuja la separación inicial y el manejo en obra, ya puede ser desde un punto legal, normativo o ambos.

Trazabilidad/documentación del flujo: En los cuatro casos hay mecanismos de registro, aunque con distinta granularidad y capacidad fiscalizable. Brasil incorpora trazabilidad "en tránsito" mediante MTR (Manifestó de Transporte de Residuos). Chile utiliza declaración digital en SINADER con periodicidad anual (enfoque más administrativo que en tiempo real). Perú consolida su plan y reporte en SIGERSOL con una lógica predominantemente anual/trimestral. Colombia solicita tanto al gestor como a grandes generadores reportes del estado del RCD.

Transporte y destino: Todos consideran la necesidad de canalizar el residuo hacia gestores, plantas o disposición final, la diferencia crítica es si el sistema logra que ese tránsito sea verificable y, además, si existe infraestructura suficiente para almacenar el volumen.

4.2.2 Diferenciadores Críticos de los Modelos de gestión

A partir de la evidencia, se identifican cinco diferenciadores que explican por qué algunos países presentan modelos más detallados y mejor elaborados que otros:

A) Trazabilidad

Tabla 11
Trazabilidad

País	Sistema / instrumento	Enfoque de trazabilidad / control	Periodicidad de reporte
Brasil	MTR (Manifesto de Transporte de Residuos) asociado al SINIR	Control más continuo del flujo: emisión por carga y seguimiento del traslado con registro verificable	Por carga / por traslado (operación continua)
Chile	SINADER (Sistema Nacional de Declaración de Residuos)	Trazabilidad basada en declaración consolidada del flujo	Anual
Perú	SIGERSOL	Reportabilidad del manejo/movimiento con periodicidad definida	Anual
Colombia	Reportes de RCD por actores del sistema (gestores y generadores)	Control por obligación de reporte de los volúmenes/movimientos que se gestionan	Anual

Nota: Elaboración propia

Implicación para hormigón estructural: mientras exista menos trazabilidad, más difícil es controlar la calidad del flujo pétreo que llega a plantas, y más compleja se vuelve la estandarización de áridos reciclados “aptos” para aplicaciones estructurales.

B) Habilitación normativa para valorización estructural

Tabla 12
Habilitación normativa

País	Norma	Descripción (súper rápida)
Chile	NCh 163:2024	Habilita y limita el uso de áridos reciclados en hormigón (aplicación estructural bajo requisitos).
Brasil	ABNT NBR 15116:2021	Regula el uso de agregados reciclados (ARCO) en hormigones y fija requisitos de ensayo por lote.
Perú	Inexistente	-
Colombia	NTC 6421:2021 (ICONTEC) + NTC 6422:2021 (ICONTEC)	NTC 6421: requisitos para agregado grueso reciclado en concreto hidráulico; NTC 6422: ensayo de clasificación de componentes del agregado reciclado.

Nota: Elaboración propia

Es importante mencionar que Brasil también posee la normativa ABNT NBR 15115:2004 Ejecución de capas de pavimentación, norma dedicada a tratar los RCD como áridos reciclados para capas de pavimento.

C) Control de calidad: requisito técnico vs. práctica real

Para este apartado solo se puede mencionar a Brasil gracias al increíble recurso 'Encuesta Sectorial ABRECON 2020' indicado en el marco histórico, aunque existe un marco técnico, la confianza en el material es baja porque los ensayos de control de calidad no son rutinarios y se realizan mayoritariamente bajo solicitud o de manera esporádica en la mayoría de los casos, lo que impide certificar desempeño para usos de mayor responsabilidad estructural. Esto podría ser solucionarse con una fiscalización adecuada, pero debemos tener en cuenta que Brasil con 360 plantas de valorización, a lo largo del país, volviéndolo complicada la revisión de cada paquete de material reciclado que sale de las plantas.

4.2.3 Comparación Interpretativa

4.2.3.1 Brasil.

Brasil presenta el modelo más completo en términos de diseño de gestión: clasificación (CONAMA 307), trazabilidad (MTR/SINIR) y habilitación técnica de uso en hormigón (NBR 15116), las ATT, y múltiples normativas que garantiza el éxito a lo largo de todo el proceso. En particular, la NBR 15116:2021 introduce criterios que conectan el árido reciclado con desempeño en hormigón: define clases (ARCO, ARCI, ARM), incorpora control por lotes, exige límites de absorción (por ejemplo, ARCO ≤ 7%) y recomienda pre-humedecer el agregado reciclado ya que se sabe que este suele tener un porcentaje de absorción significativamente mayor. También diferencia niveles de aplicación: para hormigón estructural permite reemplazo máximo de 20% y para no estructural admite sustituciones significativamente mayores.

No obstantes, el modelo de gestión brasileño enfrenta algunos desafíos como:

Confianza/calidad: ensayos no rutinarios y realizados bajo pedido reducen capacidad de certificar desempeño estructural.

Capacidad vs. uso real: En ciertas zonas se tiene capacidad de reciclar alrededor de 70% del RCD, pero el reciclaje efectivo se reporta cercano a 25%, con una brecha marcada por regiones, por ejemplo, al norte del país la capacidad de reciclaje es de 34% con reciclajes estimados del 5%.

Costos: Cada vez que se hace la valorización de un lote, se estima que el porcentaje de rechazo ronda el 10%, este rechazo debe ser enviado desde la planta de valorización a un lugar autorizado de disposición final, el cual tiene un costo de R$ 100/m3, un valor alto considerando que algunas plantas de valorización cobran tarifas mínimas como por ejemplo R$ 5/m3 o incluso lo aceptan de forma gratuita dificultando la viabilidad del negocio.

Gobernanza local: Se reporta que el número de municipios con planes efectivos es reducido frente al total, y de igual manera se evidencia la baja participación en la encuesta llevada a cabo por la ABRECON (Asociación Brasileña para el Reciclaje de Residuos de la Construcción Civil y Demolición), de los 5500 municipios solo participaron 90 haciendo un 2%.

4.2.3.2 Chile

Chile destaca por la estructura institucional con un gremio, brazo técnico, programas de fomento e innovación que empuja herramientas, pilotos y hoja de ruta, algunas de estas entidades son CChC/CDT, Compromiso PRO/Sello PRO, Corfo/Construye2025, entre otros. Esto es relevante porque fortalece las buenas prácticas en el territorio chileno (protocolos, guías, medición y mejora continua) que suelen ser condición previa para producir áridos reciclados consistentes.

En términos de normativa, el modelo se estructura con NCh 3562 (gestión en origen) y SINADER como trazabilidad declarativa anual. En aplicación final, reconoce la habilitación del uso de áridos reciclados mediante NCh 163:2024.

La brecha crítica se ubica en infraestructura: en la Región Metropolitana de Santiago la capacidad estimada de reciclaje es de un 2% a 4%, valor que es insuficiente para absorber el flujo, y se estima la necesidad 25 plantas con un mínimo desempeño de 50 toneladas por hora para cubrir la totalidad del residuo regional.

4.2.3.3 Colombia

Colombia presenta un enfoque claramente regulatorio-operativo: el modelo se estructura sobre Resolución 0472 de 2017 (y actualización 1257 de 2021) e incorpora obligaciones diferenciadas por tipo de generador.

En particular, para grandes generadores se exige Programa de Manejo Ambiental de RCD y cumplimiento de metas de aprovechamiento progresivas. Esto es valioso porque crea presión de cumplimiento y genera demanda formal por rutas de aprovechamiento. Además, cuenta con empresas valorizan el material para darle un nuevo ciclo de vida útil.

Los desafíos para Colombia se encuentran en el reconocimiento y entendimiento de la normativa vigente, se puedo constatar en el informe *'Retos y Oportunidades'* del Ministerio del ambiente que las entidades ambientales que deberían ser las que regulen y promuevan el uso de las resoluciones, tienen dificultades al momento de entenderlas o simplemente las dejan en segundo plano, afectando la regulación del RCD y los datos que validen su buen uso.

4.2.3.4 Perú

Perú incorpora instrumentos de gestión y reporte (Plan de Minimización y Manejo, SIGERSOL) con lógica anual/trimestral. El documento identifica una brecha directa en

aplicación final, el país carece de una norma técnica actualizada y exclusiva para uso estructural del árido reciclado.

4.2.4 ¿Es Viable Utilizar RCD Reciclado para Nuevos Hormigones?

Sí, es viable, pero no en cualquier condición ni porcentaje de reemplazo. La evidencia y la normativa convergen en una idea central, el hormigón con árido reciclado puede funcionar, siempre que el RCD sea controlado (por origen y composición), caracterizado y dosificado considerando sus particularidades, especialmente porosidad y absorción.

4.2.4.1 Propiedades Físicas Diferentes.

Los agregados reciclados suelen contener mortero residual adherido y micro fisuras producto de la trituración. Esto incrementa la porosidad y, en consecuencia, el material es menos denso que un agregado natural.

Gravedad Especifica.

Esa menor densidad se refleja en valores de gravedad específica: se reportan rangos típicos del agregado reciclado de ≈ 1.9–2.7, con promedios cercanos a ≈ 2.3 g/cm³, frente a valores típicos del agregado natural de ≈ 2.55–2.75 g/cm³.

Absorción del Árido.

A la vez, por esa misma porosidad y mortero adherido, la absorción de agua del agregado reciclado suele ser mayor: valores típicos reportados ≈ 2%–15%, con promedios frecuentes alrededor de ≈ 5%, mientras que el agregado natural suele estar en ≈ 0.5%–2%.

Contrarrestar la Absorción para hormigón estructural.

Para abordar el comportamiento frente al agua, la ABNT NBR 15116 incluye una sección específica de pre-mojado y compensación, donde recomienda el pre-humedecimiento (fino y grueso) para estabilizar propiedades reológicas (trabajabilidad, consistencia y pérdida de asentamiento). Si no se presaturan, exige compensar el agua absorbida sin incluirla en la relación a/c, trabajando con el concepto de agua efectiva.

4.2.4.2 Hormigón Estructural.

De cuarto con (Junior, et al., 2025) y múltiples estudios publicados a lo largo de los años podemos decir con certeza que es totalmente viable y seguro usar árido reciclado para hormigón estructural, donde se centra el debate es en el porcentaje de reemplazo, algunos

aseguran que pueden llegar a reemplazar más de la mitad del árido natural otros son más conservadores, siendo este el caso se puede decir que para hormigones estructurales (20–25 MPa), las tasas de reemplazo deben **limitarse generalmente a un máximo del 20% de la masa total de agregados** para no comprometer el desempeño. Es interesante menciona que en la norma colombiana NTC 6421:2021 (ICONTEC) – Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico, se prohíbe el uso de árido fino reciclado, solo se permite árido grueso reciclado.

4.2.4.3 ¿Solo Sirve para Hormigón Estructural?

No, también para no estructural, pavimentos y adoquines, un resultado importante del análisis es que la viabilidad del RCD no se limita al hormigón estructural; al contrario, su mayor campo de aplicación suele estar en usos de menor exigencia o más tolerantes a la variabilidad.

Hormigones no estructurales: La ABNT NBR 15116 permite para usos no estructurales el empleo de ARCO/ARCI/ARM con sustitución de hasta 100%, siempre que se cumplan los requisitos de la norma del producto final.

Pavimentos: la ABNT NBR 15115:2004 regula explícitamente el uso de agregados reciclados Clase A en capas de pavimentación (refuerzo de subrasante, sub-base, base y revestimiento primario), enfatizando control de calidad, homogeneización y control de humedad óptima por alta absorción.

Adoquines (prefabricados): En el estado del arte se presenta evidencia aplicada. Por ejemplo, (Ceballos-Medina, González-Rincón, & Sánchez, 2020). validan la fabricación de adoquines con RCD y reportan desempeño por flexotracción (módulo de rotura), además de absorción y densidad (MOR promedio 3.5 MPa; absorción 3.52%; densidad 1608 kg/m^3), mostrando que, aunque el material puede ser menos denso que prefabricados tradicionales, puede alcanzar propiedades competentes para tránsito peatonal y vehicular ligero.

De forma complementaria, (Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, & Valencia-Saavedra, 2023). también reportan fabricación exitosa de elementos prefabricados como adoquines y bloques en su investigación.

4.2.5 El Problema del Comprador Informal.

En la encuesta realizada por la ABRECON, se muestra la ilustración [x], indicando que el mayor comprador de áridos reciclados, son personas jurídicas que en parte corresponden al sector informal de la construcción. Esto se debe a que el árido reciclado es mucho más económico que el árido natural, en algunas regiones de Brasil llega a ser menos de la mitad del precio sobre metro cubico.

Esta realidad es extremadamente peligrosa, considerando que un día cualquiera una persona natural decide construir su vivienda de forma informal, y cuando se acerque a pedir el material reciclado comenta que lo necesita para algo diferente que uso estructural, ya que los ensayos pertinentes elevarían su costo, acciones como estas perjudicarían en gran medida al comprador y todos los individuos a su alrededor teniendo en cuenta que vivimos en una zona altamente sísmica.

Para poder controlar este fenómeno se necesitaría un grupo de fiscalización extremadamente grande y costoso ya que tendrían que verificar que el material reciclado este cumpliendo el verdadero propósito que se le dio en la planta de valorización.

4.2.6 Modelo de gestión a seguir.

Con base en los resultados presentados en 4.1, se recomienda el modelo de gestión de Brasil como referencia principal, habilitando con el mayor grado de control posible, la valorización de RCD, incluyendo el uso de áridos reciclados en hormigón. Esta recomendación no se fundamenta en que el sistema sea "perfecto", sino en que Brasil es el país que integra la cadena completa desde la clasificación hasta la aplicación final con instrumentos técnicos específicos para cada una de las etapas, logrando un marco más coherente y cerrando mejor las fases finales hacia el uso estructural.

4.2.6.1 Cadena completa y normada por etapas (del origen al uso final).

El modelo brasileño se estructura como un flujo continuo con normas específicas en cada eslabón:

- **Clasificación:** Inicia con CONAMA 307, que separa RCD en clases (A–D), definiendo desde el origen la viabilidad de reciclaje y los manejos diferenciados.
- **Trazabilidad del transporte:** Controla el traslado mediante el MTR digital del SINIR, con registro fiscalizable entre generador, transportista y destinatario.

- **Infraestructura formal diferenciada:** Regula puntos intermedios y plantas industriales mediante normas distintas (ABNT NBR 15112 para ATT y ABNT NBR 15114 para plantas de reciclaje).
- **Aplicación final:** habilita el uso en hormigón bajo ABNT NBR 15116:2021, incorporando requisitos de calidad por lotes y límites para uso estructural.

4.2.6.2 Trazabilidad Efectiva.

Brasil maneja un sistema de trazabilidad que apunta a un control operativo mediante MTR. Incluso se prevé un MTR provisorio cuando hay problemas temporales de acceso, para no interrumpir el transporte y luego regularizar el registro, lo que refuerza continuidad y cierre de trazabilidad. A diferencia de los otros países que reportan la generación de RCD de manera anual o trimestral, el MTR funciona como una especie de salvo conducto que debe tener cada vehículo que transporta estos residuos, de donde, hacia donde, y el contenido de la carga que debió ser previamente clasificada en el sitio de la obra.

4.2.6.3 Infraestructura.

Otro diferenciador de Brasil es la existencia de un parque industrial relevante: se indica que existe 360 unidades operativas (2019), con plantas fijas y móviles para valorizar el RCD. Además, se reporta que una planta fija estándar procesa 50–300 t/h y maneja una tasa de rechazo del 10%–20%, lo cual evidencia operación industrial y control del rechazo. Un modelo de gestión, por más completo que sea, se vuelve frágil si no tiene dónde los instrumentos para tratar el material (plantas, ATT, estándares de implantación y operación). En este punto, Brasil muestra una base más amplia que cualquier otro país, ya que según la ABRECON las primeras plantas comenzaron su construcción en la década de los 90s.

4.2.6.4 Normativa Vigente.

Finalmente, la fortaleza del modelo brasileño consiste en no dejar vacíos técnicos, a diferencia de otros esquemas que regulan la gestión, pero descuidan el producto final, Brasil cierra el ciclo normativo asegurando que el árido reciclado no sea solo un "residuo procesado", sino un material de construcción estandarizado. Al contar con normas específicas para el diseño de plantas (NBR 15114), la ejecución de obras (NBR 15115) y, crucialmente, los requisitos de calidad para su uso en hormigón (NBR 15116), el sistema

ofrece el respaldo legal y técnico necesario para que el usuario pueda utilizar estos materiales con confianza en elementos estructurales.

4.2.7 Como se Compara con el Distrito Metropolitano de Quito

Al contrastar la realidad del Distrito Metropolitano de Quito con los modelos de gestión analizados anteriormente, se evidencia una ausencia de información significativa, situando a la ciudad en una etapa inicial, con un desarrollo mínimo a nulo incluso frente a esquemas como el peruano. Según datos de (EMGRIS, 2025) , la gestión en Quito se concentra casi exclusivamente en la disposición final en escombreras autorizadas (operadas por EMGIRS), registrando volúmenes masivos que superaron los 1,2 millones de m^3 en 2024, pero sin procesos intermedios de transformación o aprovechamiento. A diferencia de Brasil o Colombia, que ya integran cadenas de valorización y normativas de uso final, Quito carece tanto de la infraestructura de reciclaje (plantas de tratamiento) como de un marco técnico y legal específico que habilite el uso de áridos reciclados en hormigón. Se puede decir, el modelo actual trata de resolver el problema sanitario de la recolección de residuos, pero desperdicia la totalidad del potencial del RCD como recurso reciclado, manteniendo una dependencia absoluta de la extracción de áridos naturales.

Desarrollar una legislación, normativa e implementar la infraestructura suficiente para poder satisfacer las necesidades del país lleva tiempo, teniendo en cuenta que países como Brasil que edificaron plantas de valorización de RCD desde la década los 90s y una poseen una normativa establecida del manejo de RCD desde el 2004.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se identificó que, aunque los conceptos de economía circular y jerarquía de residuos son conocidos en la región, la problemática común en Latinoamérica radica en la desconexión entre la normativa y la realidad operativa. La gestión enfrenta deficiencias críticas como la falta de segregación en la fuente y la informalidad en la disposición final, factores que contaminan los RCD y dificultan su transformación en áridos aptos para uso estructural.
Gracia a la experiencia de Brasil podemos identificar un problema grave que es la comercialización del árido reciclado sin conocer de forma certera el uso que se le dará al material, haciendo que ciertos compradores como constructores informales pongan un riesgo alto para la seguridad constructiva, esto presenta una problemática de fiscalización difícil de solventar.
Se ha determinado que el uso de residuos de construcción y demolición (RCD) como agregados en hormigón estructural es técnicamente viable, siempre que se respeten condiciones específicas de control. Por tanto, el éxito no depende solo del material, sino de la implementación rigurosa de normas técnicas que controlen las propiedades físicas.\
Existe una diferencia significativa en el avance de los modelos de gestión en la región. Brasil se posiciona como el referente más completo, integrando una cadena que abarca desde la clasificación en origen (CONAMA 307), trazabilidad digital en tiempo real (MTR/SINIR), hasta una normativa técnica específica que habilita su uso estructural (NBR 15116).
El análisis evidencia que el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra en una etapa principiante respecto a la gestión de RCD, centrada en la disposición final en escombreras autorizadas, a diferencia de otros modelos analizados, Quito carece de infraestructura de valorización industrial y de un marco normativo técnico que permita el aprovechamiento de estos residuos como materia prima para la construcción, dejando como única opción para el sector constructor los áridos naturales, evidenciando así la urgencia de trasladar las practicas nacionales hacia una gestión mejor planificada.

5.2 Recomendaciones

- **Gestión en origen y Normativa Técnica habilitante**

Es fundamental que el Distrito Metropolitano de Quito no se limite a regular la disposición final, sino que implemente planes de gestión que actúen desde el inicio de la cadena. Se recomienda establecer documentos que detallen la clasificación de residuos en la fuente y exijan el uso de transporte autorizado, replicando herramientas efectivas como el MTR (Manifiesto de Transporte de Residuos) observado en la experiencia brasileña.

Sin embargo, para que esta gestión tenga un propósito, debe ir acompañada de un respaldo técnico, se recomienda a las entidades de normalización nacional la adaptación de una norma técnica específica para el uso de agregados reciclados en hormigón y/o uso de agregados reciclados en pavimentos, tomando como referencia normativa internacional. Esta normativa es indispensable para definir clases de material y límites claros de reemplazo, brindando seguridad al sector de la construcción.

- **Impulsar infraestructura de valorización**

La normativa por sí sola es insuficiente si no existe infraestructura capaz de procesar los residuos. Actualmente, Quito concentra su gestión en escombreras autorizadas que entierran el material. Se recomienda transitar de este modelo hacia uno de economía circular mediante la implementación de una planta piloto de valorización.

Una opción que ayude con la financiación son alianzas público-privadas, permitiendo transformar el RCD en un productor comercial y no en una carga ambiental. El objetivo es dejar de depender exclusivamente de la extracción de áridos naturales y demostrar, en la práctica, que la recuperación de materiales es técnica y económicamente viable en nuestro contexto local.

- **Establecer controles estrictos en la comercialización para mitigar la informalidad**

El análisis del caso brasileño reveló un riesgo crítico, debido a su bajo costo, los áridos reciclados son adquiridos masivamente por el sector informal, que podría utilizarlos sin criterio técnico, por ejemplo, reemplazando el 100% del árido en elementos estructurales, cuando lo recomendado es máximo un 20%.

Para evitar que esto ocurra en Ecuador, se recomienda establecer mecanismos de fiscalización rigurosos en la venta del material. La comercialización de áridos reciclados con fines estructurales no debe ser libre, sino restringida a compradores autorizados empresas constructoras o profesionales responsables que puedan certificar el uso técnico

adecuado. Esto evitará que la ventaja económica del reciclaje se convierta en un factor de riesgo considerando que el territorio nacional es una zona altamente sísmica.

6. Bibliografía

ABNT NBR 15112:2004. (2004).

ABNT NBR 15113:2004. (2004).

ABNT NBR 15114:2004. (2004).

ABNT NBR 15115:2004 . (2004).

ABNT NBR 15115:2004. (2004).

ABNT NBR 15116:2021. (2021).

ABRECON. (2020). Obtenido de https://abrecon.org.br/documentos-e-informa/pesquisa-setorial-abrecon-2020

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2004). *NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.* Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.

Becerra-Rojas, J. S. (2023). *Use of construction and demolition waste for the production of paving stones for pedestrian walkways.*

BID. (Noviembre de 2023). Obtenido de https://idbinvest.org/en/publications/unlocking-circular-economy-finance-latin-america-and-caribbean-catalyst-positive

buschsystems. (2019 de Septiembre de 2019). *buschsystems*. Obtenido de https://www.buschsystems.com/blog/glossary-terms/what-are-recycled-aggregates

CAMACOL & CCCS. (2021). *guia-de-gestion-sostenible-y-circular-en-obras.pdf*. Obtenido de https://www.cccs.org.co/wp-content/uploads/2023/05/guia-de-gestion-sostenible-y-circular-en-obras.pdf

Cámara Chilena de la Construcción. (2022). *Manual de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición: Detalles de implementación.*

Ceballos-Medina, S., González-Rincón, D. C., & Sánchez, J. D. (2020). *Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines.* Cali.

CEPAL & MITECO. (2025). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/037778b3-04da-4351-a558-3dded786ab50/content

CEPAL. (2021). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5fceda72-3fed-4ace-bb87-5688547cf2f5/content

CEPAL DP. (2022). Obtenido de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/321c16c7-62ef-441d-ab18-93bfda59276f/content

Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). *Decreto Exento N.º 37: Aprueba y declara norma oficial de la República de Chile la norma técnica NCh 3562, Gestión de residuos — Residuos de construcción y demolición (RCD) — Clasificación y directrices para el plan de gestión.* Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Chile. Ministerio del Medio Ambiente. (1 de junio de 2016). *Ley N.º 20.920: Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894

CICLO. (s.f.). Obtenido de https://connectamericas.com/sites/default/files/company_files/CICLO%20-%20Productos%20y%20Servicio_0.pdf

CITECUBB & Construye2025. (2018). Obtenido de https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Caracterizacion-Residuos-Construccion.pdf

CONAMA n 307. (2002). Obtenido de https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305

Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). (2018). *CONPES 3919 de 2018: Política Nacional de Edificaciones Sostenibles.* Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.

Construye2025 proyecto FONDEF. (16 de Junio de 2023). Obtenido de https://construye2025.cl/2023/06/16/aridos-reciclados-de-hormigon-con-co2-un-nuevo-tipo-de-arido-para-hormigones-mas-resistentes/

DANE. (2020). Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf

Decreto 40. (2012). Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563

Decreto n 10.936. (2022). Obtenido de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm

Decreto N 1278. (2017). Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N%C2%B0-1278.pdf

Departamento Nacional de Planificación & LOGYCA. (2022). Obtenido de https://logyca.com/sites/default/files/documentos-recursos/Informe-Ejecutivo-RCD-DNP.pdf

Eco Áridos RCL. (2022). Obtenido de https://rioclarolimitada.cl/eco-aridos-rcl/

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2024). *LEY QUE MODIFICA EL DECRETO LEGISLATIVO 1278, DECRETO LEGISLATIVO QUE APRUEBA LA LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.*

EMGRIS. (2025). Obtenido de https://emgirs.gob.ec/web2025/

EPM. (2022). Obtenido de https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-en-alianza-con-la-empresa-ric-inicia-operacion-de-planta-de-aprovechamiento-de-residuos-de-construccion-y-demolicion/

Esus, N. (30 de Junio de 2022). Obtenido de Economia Circular: https://www.economiacircularconstruccion.cl/construye2025-fomenta-el-uso-de-aridos-reciclados-junto-al-ich-y-los-primeros-centros-de-valorizacion-de-rcd-de-chile/

Esus, N. (30 de Junio de 2022). *Economia Circular* . Obtenido de https://www.economiacircularconstruccion.cl/construye2025-fomenta-el-uso-de-aridos-reciclados-junto-al-ich-y-los-primeros-centros-de-valorizacion-de-rcd-de-chile/

European Commission . (s.f.). Obtenido de https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/construction-and-demolition-waste_en

European Commission. (18 de Septiembre de 2018). *EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines*. Obtenido de European Commission: https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-2018-09-18_en?prefLang=es

European Union External Action. (17 de Octubre de 2025). Obtenido de https://www.eeas.europa.eu/delegations/per%C3%BA/estudio-sobre-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-per%C3%BA_es

Ferronato, N., Moresco, L., Guisbert Lizarazu, G. E., Gorritty Portillo, M. A., Conti, F., & Torretta, V. (2023). *Universidad Mayor de San Andrés*. Obtenido de

https://pure.umsa.bo/es/publications/comparison-of-environmental-impacts-related-to-municipal-solid-wa/

Fiorella Gil Mena. (2025). *El Comercio*. Obtenido de https://elcomercio.pe/economia/ciclo-conoce-a-la-empresa-peruana-que-convierte-los-residuos-de-la-construccion-y-demolicion-para-transformarlos-en-materiales-sostenibles-emprendedores-ciclo-premio-avonni-noticia/

GRECO SAS. (2017). Obtenido de https://recicladosgreco.com/nosotros/

Greenrec. (2023). Obtenido de https://greenrec.cl/inauguran-primera-planta-de-valorizacion-de-residuos-de-la-construccion-y-demolicion-en-chile/

Guohao Wang, T. L. (2024). A comprehensive review of building lifecycle.

ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). *NTC 6421:2021 – Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico.* Bogotá, ColombiaI: ICONTEC.

INN NCh 170. (2016). Obtenido de https://www.inn.cl/nch1702016

Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. (2023). *DESARROLLO DE CONCRETOS DE BAJO IMPACTO*. Medellín, Colombia.

Instituto de la Construcción. (3 de Octubre de 2023). *Los Residuos de Construcción y Demolición en Chile: un reto camino a la construcción sostenible*. Obtenido de Instituto de la Construcción: https://www.iconstruccion.cl/2023/10/03/los-residuos-de-construccion-y-demolicion-en-chile-un-reto-camino-a-la-construccion-sostenible/

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2024). *NCh163:2024 Áridos para hormigones y morteros — Requisitos.* Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

Jensen, I. (17 de Diciembre de 2025). *Construye 2025*. Obtenido de https://construye2025.cl/2025/12/17/la-red-ecc-avanza-con-fuerza-gobernanza-tecnologia-y-nuevos-modelos-de-inversion-marcan-sus-hitos-intermedios/

Jiménez, L. F.-A. (2018). Carbon Footprint of Recycled Aggregate Concrete.

Junior, G. A., Leite, J. C., Mendez, G. d., Haddad, A. N., Silva, J. A., & Costa, B. B. (2025). *A Review of the Characteristics of Recycled Aggregates and the Mechanical Properties of Concrete Produced by Replacing Natural Coarse Aggregates with Recycled Ones—Fostering Resilient and Sustainable Infrastructures.*

Larraín, P. (18 de Mayo de 2023). *Construye 2024*. Obtenido de https://construye2025.cl/2023/05/18/greenrec-inaugura-planta-de-separacion-de-residuos-rcd-para-una-gestion-sustentable-y-facilitar-su-valorizacion/

Ley n 12.305. (2010). Obtenido de https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/policies/lei-12305-de-02-de-agosto-de-2010-institui-politica-nacional-de-residuos

Liseane P. Thives, E. G. (2022). An outlook on the management of construction and demolition waste in Brazil. 10.

Mejía-de-Gutiérrez, R., Robayo-Salazar, R., & Valencia-Saavedra, W. (2023). *Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina.* Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Michigan, U. o. (2025). Obtenido de https://css.umich.edu/publications/factsheets/sustainability-indicators/carbon-footprint-factsheet

MINAM PUNO. (2018). Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialpuno/archivos/public/docs/plan_de_gestion_de_residuos_de_construccion_y_demolicion_depositados_en_espacios_publicos_y_de_obras_menores_de_la_provincia_de_puno-modificado.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. (2017). *Resolución N. 0472.* MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (Abril de 2025). *RETOS Y OPORTUNIDADES EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE*. Obtenido de https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/12/Retos-y-oportunidades-Gestion-RCD_280825-1.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Anexo 4: Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles (MGAS – Programa de Vivienda Resiliente e Incluyente en Colombia, P172535).* Bogotá, Colombia: Gobierno de Colombia.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Manejo de residuos de contrucción y demolición en obras menores*. Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-informativa-manejo-residuos-construccion-demolicion-obras?utm_source=chatgpt.com

Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2022). *El Peruano*. Obtenido de https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2055631-1

Municipalidad Distrital de ATE. (2013). Obtenido de https://www.muniate.gob.pe/ate/files/transparencia/GERENCIA%20DE%20GESTION%20AMBIENTAL/SUB%20GERENCIA%20DE%20GESTION%20Y%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS/PLAN%20DE%20GESTION%20DE%20RCD%20MDA.pdf?

Murphy, F. (2025). *Environmental Impacts of Waste Management Strategies.* Dublin: IEA Bioenergy.

NEC. (2015). NORMA ECUATORIANA DE LA CONTRUCCIÓN .

Norma Técnica Peruana NTP 400.050:2017. (s.f.).

Norma Técnica Peruana NTP 400.053:1999 (INACAL). (1999). *NTP 400.053:1999 (INACAL).*

Nunes, K. R., & Mahler, C. F. (24 de Diciembre de 2024). *LIDSEN Publishing.* Obtenido de https://www.lidsen.com/journals/rpm/rpm-06-04-029

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2019). *Waste Management and the Circular Economy in Selected OECD Countries: Evidence from Environmental Performance Reviews2019.* París, Francia: OECD Publishing.

Palma Vargas, E. C. (2023). Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_19bc05e7a18954f9d3abb953e36083ce

Portaria MMA. (2020). Obtenido de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-280-de-29-de-junho-de-2020-264244199

Programa Construye2025. (Julio de 2022). *Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en Construcción.* Obtenido de https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Hoja-de-Ruta-RCD-Economia-Circular-en-Construccion.pdf

Qasrawi, H., & Marie, I. (2013). Towards Better Understanding of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate.

RCD Project. (2024). Obtenido de https://rcdproject.com/

Resolución No 1257. (2021). *Resolución No 1257.* MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO.

Revaloriza. (2022). Obtenido de https://revaloriza.cl/

Roda, C., & Pigola, P. (Septiembre de 2021). Obtenido de https://publications.iadb.org/es/de-residuos-recursos-residuos-de-construccion-y-demolicion-en-montevideo

RODRÍGUEZ, H. (1 de Agosto de 2025). Obtenido de https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/8533/Tesis%20Hugo%20Emmanuel%20Rodr%c3%adguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, O. B., Castillo-SantaMaría, B., Rodríguez-Rodríguez, D. W., & Cueva-Rodríguez, M. (2022). *Gestión de residuos de construcción y demolición frente al cambio climático.*

Salinas, C. (30 de Junio de 2022). *Economia Circular* . Obtenido de https://www.economiacircularconstruccion.cl/construye2025-fomenta-el-uso-de-aridos-reciclados-junto-al-ich-y-los-primeros-centros-de-valorizacion-de-rcd-de-chile/

ScrapAd. (27 de Octubre de 2021). *ScrapAd*. Obtenido de https://scrapad.com/en/blog/construction-and-demolition-waste/

Secretaría de Ambiente. (2015). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión*. Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/guia-para-la-elaboracion-del-plan-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-obra

Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.). *Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*. Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/residuos-de-construccion-y-demolicion

SEREMI. (s.f.). Obtenido de https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/187-autorizacion-sanitaria-para-eliminar-o-valorizar-residuos-industriales-solidos-no-peligrosos-rsinp-fuera-del-predio

SINADER. (s.f.). *Ministerio Del ambiente*. Obtenido de https://portalvu.mma.gob.cl/sinader/

SINIR. (s.f.). Obtenido de https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/sistema-nacional-de-informacoes-sobre-a-gestao-de-residuos-solidos-sinir

Soto-Paz, J. (Noviembre de 2023). *Science direct.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223019046

Stockholm Environment Institute (SEI). (2025). *Advancing the circular economy in Latin American and Caribbean cities: Evaluation of Bogotá's circular economy strategy.* Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute.

TECC. (ABRIL de 2024). Obtenido de https://camacol.co/sites/default/files/2024-08/TECC_Vision_360_Circularidad_Colombia_compressed_1.pdf

Toolkit de economía circular para la construcción. (2024). *rutacircular.camacol.co*. Obtenido de https://rutacircular.camacol.co/caja-de-herramientas

Union, E. (s.f.). Obtenido de https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/less-waste-more-value/definition-recycling_en

Union, E. (2020). Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/glossary/waste-hierarchy.html

Union, E. (2020). *EUR-LEX*. Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/glossary/circular-economy.html

United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.* Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.

Valeria F. Moraga D. (28 de Febrero de 2024). *centrohormigon.uc*. Obtenido de https://centrohormigon.uc.cl/actualidad/reportajes/801-aridos-reciclados-de-hormigon-desafios-para-los-proximos-anos

World Green Building Council. (s.f.). *What is a sustainable built environment?* Obtenido de https://www.worldgbc.org/what-is-a-sustainable-built-environment/

Ziyi et al. (2024). *A systematic review on the social impact of construction and demolition waste management in construction industry.*

7. ANEXOS