

**IMPLEMENTACIÓN DE RCD EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL EN BOGOTÁ: UN ENFOQUE HACIA LA
ECONOMÍA CIRCULAR Y EL CUMPLIMIENTO DE LA META 2026 ESTABLECIDA EN LA RESOLUCIÓN 1257
de 2021.**

David Sebastián Alvarez Herrera



Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2025

**Implementación de RCD en la construcción vertical en Bogotá: Un enfoque hacia la economía circular
y el cumplimiento de la meta 2026 establecida en la resolución 1257 de 2021.**

David Sebastián Alvarez Herrera

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Jaime Arturo Rodríguez Profesor (Director)



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2025

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, mis hijos Derek y Martin, mi esposa Paula, mi madre María Fernanda, mi padre Humberto, mi gran hermano Santiago, hermanos, familia y amigos, con profunda gratitud por su amor, apoyo y guía constante.

Agradecimientos

Quiero aprovechar esta oportunidad para expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, hijos, tutores, director de tesis y amigos cercanos por su inmensa ayuda y apoyo durante nuestra trayectoria académica y personal. A mis hijos, les agradezco por ser mi mayor motivación. A mi esposa y familia, les agradezco por su amor incondicional y apoyo constante. A mis tutores y director de tesis, les agradezco por su guía y apoyo en todo momento. A mis amigos cercanos, les agradezco por estar siempre ahí, apoyándome en los momentos más difíciles. Les deseo a todos lo mejor en el futuro y les agradezco por haber sido parte de mi vida y haber hecho posible este importante logro. Con cariño y agradecimiento.

Tabla de contenido

RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
JUSTIFICACIÓN	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
IDENTIFICACIÓN DE LAS PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS CON LOS RCD EN BOGOTÁ	21
<i>Disposición Ilegal de RCD en Bogotá</i>	<i>22</i>
<i>Disposición Legal de los RCD en Bogotá y Comparación Respecto a los Residuos Sólidos</i>	
<i>Convencionales</i>	<i>22</i>
INCORPORACIÓN DE LOS RCD EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL EN BOGOTÁ	24
META DE APROVECHAMIENTO 2023, 2026 Y 2030 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ (RESOLUCIÓN 1257 DE 2021 Y DECRETO 507 DE 2023)	25
RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
ANTECEDENTES.....	29
ANTECEDENTES DE LA GESTIÓN DE RCD	29
<i>Contexto Histórico y Evolución de la Gestión de RCD a Nivel Global</i>	<i>30</i>
<i>Diversas Aproximaciones Internacionales Para la Gestión Eficiente de los RCD</i>	<i>31</i>
<i>Marco Normativo y Regulaciones Relacionadas con la Gestión de RCD en Otros Países</i>	<i>32</i>
ANTECEDENTES DE LA ADOPCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR FRENTE A LOS RCD A NIVEL GLOBAL	33
<i>Ejemplos de éxito en la incorporación de RCD bajo la óptica de la economía circular.....</i>	<i>33</i>
<i>Impacto de la Economía Circular en la Industria de la Construcción</i>	<i>35</i>
ANTECEDENTES NACIONALES DE LA GESTIÓN DE LOS RCD Y LA ECONOMÍA CIRCULAR EN COLOMBIA	36
<i>Estrategias, Programas y Acciones Implementadas en Colombia Para Gestionar Adecuadamente los</i>	
<i>RCD.....</i>	<i>36</i>
<i>Proyectos e Iniciativas Relevantes en Colombia que Promueven la Economía Circular de los RCD.....</i>	<i>37</i>

Estudios e Investigaciones Previas Sobre la Implementación de RCD en la Construcción en Colombia 40

MARCO LEGAL	42
LEGISLACIÓN NACIONAL SOBRE EL USO DE RCD	44
REGULACIONES LOCALES Y NORMAS ESPECÍFICAS EN BOGOTÁ.....	49
OTRAS NORMATIVAS Y REGULACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN RELACIONADAS A LOS RCD.....	53
MARCO TEÓRICO	57
ECONOMÍA CIRCULAR.	57
CONCEPTO DE RCD	59
<i>Clasificación de los RCD</i>	<i>59</i>
<i>Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción.....</i>	<i>61</i>
SOSTENIBILIDAD EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO	63
<i>La elección de materiales debe contemplar no solo su estética, desempeño y disponibilidad en el</i> <i>entorno local, sino también los impactos ambientales asociados a todo su ciclo de vida, abarcando desde la</i> <i>producción y el uso hasta su disposición final.....</i>	<i>65</i>
<i>Evaluación de Impacto Ambiental</i>	<i>65</i>
<i>Prácticas Internacionales en Gestión de RCD</i>	<i>69</i>
<i>Prácticas a Nivel Nacional Exitosas en la Gestión de RCD</i>	<i>70</i>
MATERIALES DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL	71
OBJETIVOS	74
OBJETIVO GENERAL	74
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	74
METODOLOGÍA	75
ENFOQUE METODOLÓGICO	75
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	75
PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	76
RESULTADOS	78

CUMPLIMIENTO DE NORMATIVAS AMBIENTALES	78
<i>Análisis de Normativas Vigentes</i>	78
<i>Grado de Cumplimiento de la Normativa Nacional y Local en Bogotá</i>	81
APLICACIONES DE LOS RCD CON USO EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL	84
<i>Identificación de Aplicaciones de los RCD en la Construcción Según su Capacidad Para Reducir el Impacto Ambiental.</i>	84
<i>Identificación de la Reducción del Impacto Ambiental de las Aplicaciones Disponibles de los RCD</i>	93
<i>Clasificación de Materiales de Construcción con RCD Para su Aplicación en la Construcción Vertical</i>	105
<i>Análisis de Viabilidad de las Aplicaciones disponibles de los RCD</i>	107
PROVEEDORES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN CON BASE EN RCD DE USO EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL EN BOGOTÁ ..	110
<i>Identificaciones de Proveedores de Materiales de Construcción con Base en RCD en Bogotá</i>	110
<i>Otras Ofertas y Productos Verdes, no Relacionados con RCD de Uso en la Construcción Vertical</i>	114
MAPA DE ECOSISTEMA DE PROVEEDORES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN BOGOTÁ.....	119
<i>Esquema de Presentación</i>	119
<i>El Esquema de Presentación Contempla los Sigüientes Elementos y su Lógica Visual</i>	120
<i>Diferenciación de Origen Sostenible</i>	120
<i>Interactividad en la Plataforma Web</i>	121
<i>Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá</i>	121
ANÁLISIS INTEGRADOR DE RESULTADOS: BRECHAS Y OPORTUNIDADES CLAVE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCD EN LA CONSTRUCCIÓN VERTICAL.....	122
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXOS	142

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Reducción de impactos ambientales al comparar materiales de construcción convencionales y alternativos.</i>	27
Figura 2 <i>Punto de venta de materiales de segunda mano en Bogotá.</i>	38
Figura 3 <i>Mobiliario urbano y arquitectónico elaborado con concreto de agregados reciclados.</i>	39
Figura 4 <i>Planta de aprovechamiento de RCD de Granulados Reciclados de Colombia.</i>	40
Figura 5 <i>Número de Escombros o Residuos de Construcción y Demolición Controlados y Dispuestos Adecuadamente.</i>	82
Figura 6 <i>Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital.</i>	82
Figura 7 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Acero.</i>	95
Figura 8 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Cemento.</i>	96
Figura 9 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del agregado petreo.</i>	97
Figura 10 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del concreto.</i>	98
Figura 11 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del ladrillo.</i>	100
Figura 12 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa de los cerámicos.</i>	101
Figura 13 <i>Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Drywall.</i>	102

Figura 14 *Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa de las pinturas.* 103

Figura 15 *Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Asfalto.....* 104

Figura 16 *Mapa de ecosistema de proveedores de materiales de construcción sostenible en Bogotá....* 122

Lista de Tablas

Tabla 1 Metas de Aprovechamiento de RCD.....	18
Tabla 2 Disposición de RCD en el Distrito Capital, 2013-2024.....	23
Tabla 3 Comparativo de RCD y Residuos Sólidos Generados (RSG) en Bogotá, 2023.....	24
Tabla 4 Metas de Aprovechamiento de RCD.....	26
Tabla 5 Marco legal y normativo para la gestión de RCD en Colombia y Bogotá, 1974-2023.	43
Tabla 6 Legislación nacional para la gestión ambiental y de residuos en Colombia, 1974-2005.....	45
Tabla 7 Marco legal y normativo distrital de los RCD en Bogotá, 1997-2023.	50
Tabla 8 <i>Normativa técnica específica para la incorporación de materiales reciclados y RCD en la construcción en Colombia y Bogotá, 2006-2021.</i>	54
Tabla 9 <i>Normativa técnica específica para la incorporación de materiales reciclados y RCD en la construcción en Colombia y Bogotá, 2006-2021.</i>	60
Tabla 10 <i>Ciclo de vida de los materiales de uso en la industria de la construcción: Principales impactos ambientales y estrategias de mitigación.</i>	63
Tabla 11 <i>Buenas prácticas en el manejo de RCD en proyectos constructivos.</i>	69
Tabla 12 Porcentaje de materiales de construcción según sistema constructivo (Kg/m ²).	72
Tabla 13 Análisis del aprovechamiento de RCD y el grado de cumplimiento de la normatividad.....	83
Tabla 14 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Acero (Porcentaje en Peso, (%p/p)).....	85
Tabla 15 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Cemento (%p/p).....	86
Tabla 16 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Agregado Pétreo (%p/p).	87
Tabla 17 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Concreto (%p/p).	88
Tabla 18 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Ladrillo (%p/p).	89

INCORPORACIÓN DE RCD EN EDIFICACIONES VERTICALES EN BOGOTÁ	11
Tabla 19 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Drywall (%p/p).....	91
Tabla 20 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Pinturas (%p/p).....	92
Tabla 21 Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Asfalto (%p/p).....	93
Tabla 22 Materiales de construcción para sistemas industrializados: Origen, aplicaciones y viabilidad para incorporar RCD.....	106
Tabla 23 Análisis cuantitativo de viabilidad y reducción de impacto por incorporación de RCD en materiales de construcción vertical (Sistema Industrializado).	109

Resumen

El presente trabajo parte de un problema ambiental y estructural identificado en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), específicamente en la construcción vertical en Bogotá. A pesar de los avances normativos y técnicos, la reincorporación efectiva de estos materiales en nuevos proyectos constructivos sigue siendo limitada, lo que genera impactos negativos en el entorno y pérdidas de recursos reutilizables.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la viabilidad técnica y ambiental de implementar residuos de construcción y demolición (RCD) en proyectos de construcción vertical bajo un enfoque de economía circular. Se busca así aportar soluciones prácticas y sostenibles que respondan a las necesidades del sector y a los compromisos locales e internacionales en materia ambiental.

La metodología empleada es de tipo aplicada, con enfoque mixto. Se realizaron revisiones documentales, análisis normativos, entrevistas semiestructuradas y aplicación de instrumentos de campo para identificar barreras, oportunidades y percepciones frente al uso de RCD en la construcción vertical. La investigación se desarrolló bajo un diseño exploratorio y descriptivo, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas.

Entre los principales resultados preliminares, se identificó un creciente interés por parte de algunos actores del sector por transitar hacia modelos más sostenibles. No obstante, persisten vacíos en la articulación normativa, baja cultura de aprovechamiento de residuos y limitaciones técnicas en el manejo y procesamiento de RCD.

Se concluye que, si bien existen condiciones favorables para avanzar hacia una gestión circular de los residuos en la construcción vertical, se requiere una mayor coordinación institucional, incentivos a la innovación técnica y generación de capacidades en los actores involucrados. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y para el diseño de estrategias que impulsen la sostenibilidad en el sector construcción.

Palabras clave: Residuos de Construcción y Demolición, Construcción Vertical, Economía Circular, Construcción Vertical en Bogotá, Materiales Sostenibles, Aprovechamiento de RCD.

Abstract

This study analyzes the implementation potential of construction and demolition waste (CDW) in vertical construction in Bogotá from a circular economy perspective. Despite existing regulatory and technical progress, the effective reintegration of these materials into new construction projects remains limited, generating environmental impacts and the loss of reusable resources.

The main objective of this research is to assess the technical and environmental feasibility of using CDW in vertical construction projects through circular strategies. The aim is to propose practical and sustainable solutions that respond to sectoral demands and align with both local and international environmental commitments.

The study follows an applied, mixed-methods approach. It includes a documentary review, regulatory analysis, semi-structured interviews, and field instruments to identify barriers, opportunities, and stakeholder perceptions regarding CDW integration in vertical construction. The research design is exploratory and descriptive, incorporating both qualitative and quantitative techniques.

Preliminary findings reveal growing interest among sector stakeholders in adopting more sustainable models. However, challenges persist due to regulatory fragmentation, low levels of reuse culture, and technical limitations in the handling and processing of CDW.

The study concludes that while favorable conditions exist to advance toward circular waste management in vertical construction, greater institutional coordination, technical innovation incentives, and capacity building are required. This research provides a foundation for future studies and for developing strategies to enhance sustainability in the construction sector.

Keywords: Construction and Demolition Waste (CDW), Vertical Construction, Circular Economy, Vertical Construction in Bogotá, Sustainable Materials, CDW Recovery.

Introducción

La rápida urbanización y el crecimiento exponencial de las ciudades en las últimas décadas han exacerbado la problemática global de la generación de residuos sólidos, con un impacto particularmente acentuado en economías emergentes como Colombia. Dentro de este panorama, el sector de la construcción emerge como un actor principal, al ser responsable de volúmenes significativos de RCD. En Bogotá, la ciudad más poblada del país, superan en 4.31 veces la cantidad de residuos sólidos urbanos para el año 2023. Esta situación se agrava por la persistencia de la disposición ilegal de RCD, que conlleva graves problemas ambientales, de salubridad y urbanísticos.

En Colombia, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) ha sido objeto de regulación en los últimos años, con el fin de promover su aprovechamiento y reducir los impactos negativos sobre el ambiente. Normativas como la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecen los lineamientos técnicos y operativos para el manejo adecuado de estos residuos, en concordancia con los principios de economía circular y sostenibilidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Sin embargo, a pesar de la existencia de este marco normativo, su implementación en proyectos constructivos verticales aún enfrenta barreras técnicas, institucionales y culturales, lo que limita el cierre de ciclos materiales y el cumplimiento de los objetivos ambientales planteados.

A pesar de los retos históricos, datos recientes indican que Bogotá ha superado exitosamente la meta de aprovechamiento del 25% para 2023, alcanzando un 34%, y ha excedido la meta del 50% proyectada para 2026, logrando un 63% en 2024. Este notable avance demuestra el progreso significativo en el aprovechamiento de RCD en Bogotá. Sin embargo, la industria reconoce que aún existe una notable falta de conocimiento e información entre constructores y fabricantes sobre cómo incorporar los RCD en los sistemas constructivos tradicionales, lo cual es crucial para sostener estas tendencias positivas.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la implementación de RCD en la construcción vertical en Bogotá, con base en normativas vigentes y bajo criterios de economía circular. Para ello, se desarrolló una revisión documental y un análisis de viabilidad técnica y ambiental.

Los resultados de esta investigación han confirmado el considerable potencial y la alta viabilidad técnica de incorporar RCD en materiales esenciales para la construcción vertical, tales como agregados, concreto y acero, lo que ha demostrado una reducción ponderada del 18.47% en el impacto ambiental y una tasa de incorporación de RCD del 44.89%. Además, se ha logrado identificar el ecosistema de proveedores de materiales sostenibles en Bogotá y, para facilitar la identificación de estos al constructor, se ha desarrollado un Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá, accesible a través de una plataforma web. Este recurso práctico busca superar la brecha de información en el sector, promoviendo el acceso a soluciones circulares.

En última instancia, esta investigación reviste una gran relevancia al abordar un desafío crítico para el desarrollo urbano de Bogotá. Contribuye directamente al cumplimiento de las regulaciones ambientales, a la mejora en la gestión de sitios de disposición final, a la protección de los recursos naturales y el fortalecimiento del enfoque de economía circular dentro del sector de la edificación vertical. Se proyecta que los hallazgos y sugerencias resultantes de esta investigación constituyan una base firme para fomentar prácticas constructivas más sostenibles y resilientes en el contexto urbano de la ciudad.

Justificación

La economía circular es una estrategia clave para afrontar retos ambientales y económicos tanto a nivel global como nacional. Según el informe del MADS, Se calcula que en el territorio colombiano la aplicación de la economía circular puede generar beneficios significativos. Por ejemplo, el MADS (2018) afirma que "la implementación de la economía circular puede generar 11,7 millones de dólares al año en ahorro de material y creación de negocios, así como la creación de 100 mil y 1 millón de empleos formales"(p. 9). Estas cifras evidencian la urgencia de avanzar en su adopción sectorial, especialmente en la construcción vertical, donde el potencial de aprovechamiento de materiales es alto y subutilizado.

Con respecto al tratamiento de residuos en el sector constructivo, es relevante señalar que existe un gran potencial de aprovechamiento de los RCD. Según Colombia Productiva (2019), "la mayor fracción de material reciclable que todavía no se aprovecha corresponde a los RCD, con un 96%, seguido de los residuos orgánicos, con un 65%" (p.5). Esto indica una oportunidad estratégica para aplicar principios de economía circular en el ciclo constructivo, reduciendo la presión sobre recursos naturales y disminuyendo los impactos ambientales.

En Bogotá, como principal generador de RCD, se ha observado un creciente interés por parte del gremio de la construcción en potenciar la economía circular mediante la correcta disposición y aprovechamiento de los RCD. La Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) (2021) destaca la importancia de adoptar prácticas sostenibles y menciona que "esta guía está diseñada para fomentar y apoyar el conocimiento de las mejores prácticas de construcción sostenible por parte del constructor, y de circularidad en relación a minimizar la producción de residuos de construcción y demolición RCD"(p. 5). Esta evidencia refuerza la relevancia de entender e identificar los factores que inciden en el cumplimiento de metas regulatorias como las establecidas en el Decreto 507 de 2023, por el cual se reglamenta la gestión de RCD en el Distrito Capital (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2023, Decreto 507), especialmente por parte de los grandes generadores de RCD.

De igual manera, la Resolución 1257 de 2021 impone metas incrementales de aprovechamiento para los RCD en Bogotá. Para los grandes generadores, estas metas escalonan desde el 25% en 2023, 50% en 2026 y hasta el 75% en 2030, como se detalla en la Tabla 1. Sin embargo, los generadores están igualmente encargados de gestionar todos sus residuos, promoviendo la máxima reutilización posible. Como se estipula en la Resolución, “La meta de aprovechamiento es de obligatorio cumplimiento para todos los grandes generadores” (MADS, 2021, Resolución 1257, art. 19). Cumplir estos objetivos requiere herramientas prácticas y estudios aplicados que orienten la toma de decisiones en política pública, diseño técnico y gestión operativa.

Tabla 1

Metas de Aprovechamiento de RCD.

CATEGORÍA ESPECIAL	CATEGORÍA 1, 2, 3	CATEGORÍA 4, 5, 6	CUMPLIMIENTO DE META
25%	15%	5%	1° de enero de 2023
50%	30%	20%	1° de enero de 2026
75%	60%	40%	1° de enero de 2030

Nota: La tabla representa las metas para los municipios de Colombia según su categoría de la cantidad de aprovechamiento de RCD por parte de los grandes generadores. Tomado de: “Resolución 1257 de 2021”, por MADS, 2021. (<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>)

Un hallazgo fundamental de la presente investigación mediante la consulta y cruce de datos del observatorio ambiental de Bogotá (OAB) revela que, aunque Bogotá ha logrado avances importantes en el cumplimiento de los objetivos relacionados con el aprovechamiento de RCD, este progreso se atribuye principalmente al sector vial, que ha impulsado sustancialmente el uso de RCD. Contrastando con esta tendencia general, el análisis de las barreras de implementación específicas para la construcción vertical, identificado a través de esta investigación, indica que dicho sector aún enfrenta desafíos considerables. Por lo tanto, para sostener este impulso global y, más críticamente, para trasladar el enfoque circular al campo de la edificación en altura, esta investigación es crucial para identificar estrategias que permitan superar los obstáculos inherentes a este segmento y capitalizar el potencial aún no plenamente explotado.

Diversos estudios también subrayan la relevancia de gestionar adecuadamente los RCD en edificaciones verticales, especialmente en lo relacionado con "la demanda que existe hoy en día con respecto a la construcción vertical" (Vargas, 2019, p. 20). Frente a esta problemática, la incorporación de materiales reciclados originados en la industria de la construcción se plantea como una estrategia fundamental. En particular, en el ámbito de la construcción Cárdenas (2019) sostiene que "El uso del material reciclado provenientes de la industria es importante para reducir los consumos de recursos naturales especialmente el de material granular explotado de banco" (p. 30).

En resumen, la implementación de la economía circular en la gestión de los RCD en la construcción vertical en Bogotá se justifica por sus beneficios económicos, laborales y ambientales. Existe una necesidad urgente de generar evidencia técnica que oriente la formulación de políticas, el diseño de estrategias sectoriales y la evaluación de impactos reales, especialmente de cara al cumplimiento de la meta del 50% para el año 2026 establecida en la Resolución 1257 de 2021 (MADS, 2021, Resolución 1257). Teniendo en cuenta el interés del gremio de la construcción, así como las regulaciones establecidas, se requiere una investigación exhaustiva para identificar las características asociadas al cumplimiento de las metas y desarrollar estrategias efectivas que impulsen la economía circular en la construcción vertical en Bogotá.

Planteamiento del Problema

El rápido crecimiento de las ciudades en las últimas décadas en el mundo ha resultado en un aumento significativo y desmedido en la generación de residuos sólidos, lo cual es especialmente preocupante en economías emergentes y países en vía de desarrollo como lo es Colombia (UAESP, 2021). Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) (2023), en su informe nacional más reciente de disposición final de residuos sólidos en el año 2021, se indicó que en Colombia se generaron 11,9 millones de toneladas anuales de residuos sólidos urbanos y rurales, lo que presentó un aumento del 4,26% respecto al año anterior y supuso un promedio de 33.938,58 Ton/día. Esto equivale a aproximadamente 231 kilogramos anuales por persona en Colombia, siendo las 8 ciudades de mayor población las generadoras del 42,54% de los residuos. Bogotá, la ciudad más poblada de Colombia, es el principal contribuyente a esta situación, generando cerca de 2,2 Toneladas de residuos sólidos, equivalente a 281 Kilogramos anuales por persona, lo que es superior al promedio nacional.

Según el informe ejecutivo más reciente del Departamento Nacional de Planeación (DNP) de diciembre de 2022, en Colombia existe un problema aún mayor en lo que respecta a la gestión de los residuos, el cual corresponde a la gestión de los residuos de la construcción y la demolición conocidos como RCD, el cual maneja volúmenes superiores a los residuos sólidos y para el cual no se encuentran estimaciones certeras y actualizadas (DNP, 2022), se indica en este informe así como en el MADS que “en el año 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Medellín, Neiva, Valledupar y San Andrés 22.270.338 toneladas de RCD” (MADS, 2017, p. 1) lo cual amplía el margen de incertidumbre, pero nos permite dimensionar un problema de que puede duplicar en volumen a la gestión de los residuos sólidos en Colombia y para el cual como se evidencia hace falta mayor precisión y datos actualizados.

¿Qué tan viable es implementar el uso de RCD en proyectos de construcción vertical en Bogotá bajo el enfoque de economía circular?

Identificación de las Problemáticas Asociadas con los RCD en Bogotá

Dentro del ámbito de los RCD en Bogotá, se perfilan dos problemáticas de alta relevancia. En primer lugar, se observa la disposición inapropiada de los RCD en vertederos ilegales, lo que conlleva a serios problemas ambientales, de salubridad y urbanísticos. Estos vertederos clandestinos no solo constituyen un riesgo para la salud pública y el entorno, sino que también representan una amenaza para la integridad de los ecosistemas locales. En segundo lugar, se encuentra el desafío de optimizar la tasa de aprovechamiento de los RCD en los vertederos autorizados. Esto es crucial para fomentar la economía circular, minimizar la extracción de materias primas, y reducir la generación de residuos. Lograr un mayor rendimiento en la valorización de los RCD en estos sitios autorizados no solo beneficiaría al medio ambiente, sino que también contribuiría al desarrollo sostenible y a la creación de oportunidades económicas en la ciudad. Ambos problemas requieren una atención inmediata y Estrategias eficientes para asegurar una gestión óptima de los RCD en Bogotá.

Un elemento clave en el desarrollo del objetivo de realizar el manejo integral de los RCD en Bogotá se fundamentaba en un marco regulatorio previo. La Resolución 00932 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente modificó el artículo 5 de la Resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012, estableciendo el deber de los grandes generadores y tenedores de residuos de construcción y demolición de inscribirse y reportar mensualmente a través de la plataforma web de la SDA. Dicha obligación aplicaba a obras que generaran volúmenes de RCD mayores a 1.000 m³ o cuya área construida superara los 5.000 m² (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015, Resolución 00932). No obstante, la implementación de estas disposiciones enfrentó desafíos, evidenciándose que entre enero y mayo del 2020 solo se inscribieron 326 obras y se realizaron cerca de 96 requerimientos para el cumplimiento de la normatividad por parte de la SDA (Castiblanco, 2020).

Actualmente, este marco regulatorio ha sido actualizado. Las Resoluciones 00932 de 2015 y 1115 de 2012, junto con el Decreto 586 de 2015, fueron derogadas por el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá. Esta norma define un modelo renovado y directrices actualizadas para el manejo integral de los RCD en Bogotá, buscando armonizarse con la normativa nacional establecida en la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021, art. 19) y fortaleciendo los mecanismos de control en toda la cadena de gestión. Bajo este nuevo marco, los esfuerzos de registro han continuado; entre abril de 2018 y abril de 2023, se inscribieron un total de 4.152 generadores, de los cuales 1.113 (27%) corresponden a grandes generadores y 3.039 (73%) a pequeños generadores, con 2.543 de estos últimos asociados a obras con un área menor a 2000 m² (Castiblanco, 2023).

Disposición Ilegal de RCD en Bogotá

Respecto a la problemática de la disposición ilegal de RCD, las cifras y estimaciones más recientes datan del año 2014, cuando la UAESP, en el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PMIRS), estimó que se produjeron 12 millones de toneladas de RCD. De estas, según la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 8.326.626 toneladas se dispusieron en sitios legales (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015, Resolución 00932) y 3.673.474 toneladas fueron vertidas en botaderos ilegales (Ciudades llenas de escombros, s.f.).

Disposición Legal de los RCD en Bogotá y Comparación Respecto a los Residuos Sólidos Convencionales

En el ámbito de disposición de los RCD se encuentra información suficiente y precisa, la cual es suministrada a través del OAB de la SDA, con base en esta información se elaboró la tabla 2, que muestra una tendencia interesante en la disposición de los RCD en Bogotá de los últimos 12 años (SDA & OAB, s.f.). En 2014, como se evidenció anteriormente se dispusieron adecuadamente 8.303.963 toneladas de RCD, esta cifra difiere en 22.263 Toneladas respecto a la estimación anterior (Ciudades

llenas de escombros, 2015). Sin embargo, nos muestra un grado de concordancia en las cifras.

Adicionalmente se evidencia para la lectura del año 2024 una disminución importante en la disposición, lo que puede indicar que las cifras se encuentran en desarrollo o hubo una contracción en la demolición de cerca del 45% por debajo de la media de los últimos 11 años, adicionalmente podemos identificar que en Bogotá la relación de los volúmenes de residuos sólidos que fue según el OAB para el año 2023 de 2.667.955 toneladas versus el RCD que para el mismo periodo fue de 11.504.152, lo que representa una relación de 4,31 veces mayor tabla 3.

Tabla 2

Disposición de RCD en el Distrito Capital, 2013-2024.

Año	Número de Escombros o Residuos de Construcción y Demolición Controlados y Dispuestos Adecuadamente - TRCDCDA (Tonelada)
2013	8.472.055
2014	8.303.963
2015	8.326.626
2016	7.493.910
2017	11.375.080
2018	11.097.105
2019	12.529.365
2020	6.736.100
2021	8.423.119
2022	13.607.534
2023	11.504.152
2024	5.442.270

Nota: Los datos corresponden al Distrito Capital. TRCDCDA se refiere al Total de RCD Controlados. Fuente: Datos actualizados de la presente investigación, basados en información del OAB de la SDA. Elaboración Propia.

Tabla 3

Comparativo de RCD y Residuos Sólidos Generados (RSG) en Bogotá, 2023.

Bogotá 2023	“Escombros o RCD Controlados, Dispuestos Adecuadamente”	Disposición Final de Residuos Sólidos Generados	Relación RCD / RSG
Toneladas/año	11.504.152	2.667.955	4,31

Nota: Los datos corresponden al Distrito Capital para el año 2023. La relación RCD/RSG se calculó dividiendo el volumen de RCD controlados y dispuestos adecuadamente por el volumen de disposición final de residuos sólidos generados. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del OAB de la SDA para RCD y cifras de disposición final de residuos sólidos en Bogotá para 2023. Elaboración Propia.

Incorporación de los RCD en la Construcción Vertical en Bogotá

En el contexto colombiano, según las estimaciones de Tecnalía, (2017) se observa una situación alarmante con respecto a la utilización de los componentes obtenidos de los RCD, los cuales en su mayoría consisten en fracciones minerales, abarcando más del 75% de su composición total. Esta realidad pone de manifiesto una problemática significativa en cuanto al aprovechamiento de estos recursos a nivel nacional, ya que se sitúa en niveles extremadamente bajos, aproximadamente alrededor del 2%. Otras estimaciones más recientes estiman que solo se está aprovechando el 4% de los RCD a nivel nacional (MADS, 2022), en ambos casos la cifra de aprovechamiento es muy baja y con amplio margen de mejora.

En entrevista realizada el 12 de enero de 2023 con Alejandro Valencia, gerente general de Agregados Greco, una de las plantas de recuperación más grande de Colombia, indicó que tomando en consideración que la mayor cantidad de RCD corresponde a agregados pétreos, en la actualidad el material se está incorporando en la economía circular en un 98% en la construcción de vías, las cuales usan como insumo de relleno, gravas, arenas, bases y subbases granulares las cuales se recuperan en la planta (A. Valencia, comunicación personal, 12 de enero de 2023). También destacó la baja incorporación del material de RCD en los sistemas constructivos tradicionales donde se destaca la

construcción vertical predominante en Bogotá, debido a la falta de conocimiento e información sobre cómo incorporar los RCD por parte de los constructores y fabricantes.

En la guía de materiales para la construcción sostenible (MADS, 2022), se indica que los sistemas constructivos más frecuentes (Industrializado, Mampostería Estructural y Mampostería Confinada) El uso de agregados triturados ronda del orden del 26,0% al 42,7%, de arena de río en el orden del 25,3% al 35,1% y de Roca Tuerta del orden del 3,7% al 15,5%. Lo que puede significar un margen de incorporación del RCD en los sistemas constructivos más frecuentes del orden del 81,5% para el Industrializado, 65,6% para Mampostería Estructural y 72,0% para Mampostería Confinada.

Meta de Aprovechamiento 2023, 2026 y 2030 en la Ciudad de Bogotá (Resolución 1257 de 2021 y Decreto 507 de 2023)

La gestión de los RCD en Bogotá se encuentra sujeta a un marco normativo progresivo y ambicioso, relacionado en la tabla 4, liderado por la Resolución 1257 de 2021 del MADS. Esta resolución estableció metas incrementales y de obligatorio cumplimiento para todos los grandes generadores de RCD, escalonando desde un 25% de aprovechamiento en 2023, a un 50% en 2026 y hasta un 75% en 2030 (MADS, 2021, Resolución 1257, art. 9). La implementación de estas metas se rige ahora bajo el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, que establece el nuevo modelo y lineamientos para la gestión integral de RCD en la ciudad, armonizando la normativa distrital con la nacional y fortaleciendo los mecanismos de control (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Decreto 507).

Tabla 4*Metas de Aprovechamiento de RCD.*

Fecha de Cumplimiento	Meta Resolución 1257 de 2021 (Categoría Especial)	Meta Resolución 1257 de 2021 (Categoría 1,2,3)	Meta Resolución 1257 de 2021 (Categoría 4,5,6)	Meta Decreto 507 de 2023 (General)
1° de enero de 2023	25%	15%	5%	25%
1° de enero de 2024	-	-	-	30%
1° de enero de 2025	-	-	-	40%
1° de enero de 2026	50%	30%	20%	50%
1° de enero de 2027	-	-	-	55%
1° de enero de 2028	-	-	-	60%
1° de enero de 2029	-	-	-	70%
1° de enero de 2030	75%	60%	40%	75%

Nota. La tabla presenta una comparación de las metas de aprovechamiento de RCD establecidas por dos normativas clave. La Resolución 1257 de 2021 define metas por categorías de municipios para años específicos, mientras que el Decreto 507 de 2023 establece metas generales de porcentaje anual. Es importante destacar que Bogotá, D.C. pertenece a la Categoría Especial según la Resolución 1257 de 2021. Los guiones (-) indican que no hay una meta específica definida para esa categoría y año en la Resolución 1257 de 2021. Fuente: Elaboración propia a partir de la Resolución 1257 de 2021 y el Decreto 507 de 2023.

La ambición de estas metas, detalladas en la Tabla 4, subraya el compromiso distrital y nacional con la economía circular en la construcción. Sin embargo, el principal desafío radica en la efectividad de su implementación y en la identificación precisa del grado de cumplimiento que Bogotá logra alcanzar. Es crucial analizar si la trayectoria actual de aprovechamiento de RCD se alinea con los objetivos establecidos, y qué factores, tanto favorables como restrictivos, inciden en la capacidad real de la ciudad para transformar y reincorporar estos residuos a la cadena productiva.

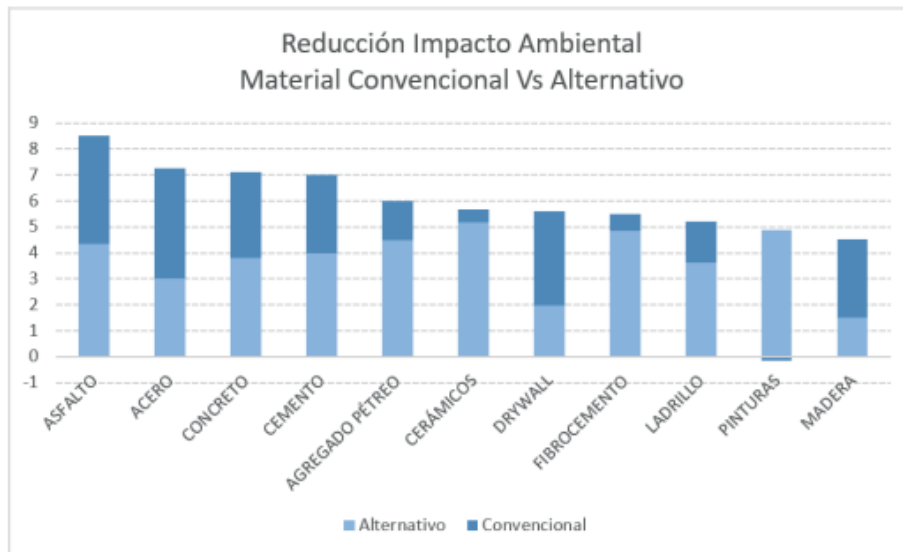
Relevancia de la Investigación

Esta investigación reviste una gran relevancia al abordar el desafío de aplicar eficazmente los RCD en el sector de la construcción enfocado en edificaciones verticales en Bogotá. Dado que los RCD representan un volumen 4.31 veces mayor que los residuos sólidos, su incorporación en el proceso de construcción es crucial. Esta incorporación no solo contribuirá al cumplimiento de la Resolución que establece metas de aprovechamiento de RCD, sino que también mejorará significativamente la gestión de los sitios de disposición final. En última instancia, esta investigación respalda la promoción de la

economía circular, un enfoque esencial para reducir el impacto ambiental en Colombia y particularmente en Bogotá, como lo evidencia la figura 1. del MADS (MADS, 2022).

Figura 1

Reducción de impactos ambientales al comparar materiales de construcción convencionales y alternativos.



Nota: La figura compara el nivel de impacto ambiental generado por materiales de construcción producidos de manera convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) versus aquellos producidos con insumos alternativos o procesos sostenibles (representado por la porción inferior de la barra en azul claro). La altura total de la barra representa el impacto ambiental de la opción convencional, mientras que la parte inferior (Alternativo) muestra el impacto del material con enfoque sostenible. La diferencia entre ambos indica la reducción potencial del impacto ambiental. Tomado de "Guía de materiales para la CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE", por MADS, 2015. (<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf>)

Al profundizar en el entendimiento y la implementación de estrategias orientadas al aprovechamiento eficiente de RCD en edificaciones verticales, se contribuirá al objetivo final de minimizar el impacto ambiental en Colombia y, en particular, en Bogotá. La incorporación de estos residuos en la industria de la construcción contribuye no solo a una gestión más eficiente de los sitios de disposición final, sino también una reducción significativa de la extracción de materias primas, lo que tiene un impacto directo en la preservación de los ecosistemas locales y en la sostenibilidad ambiental.

Esto es fundamental no solo para cumplir con las regulaciones gubernamentales sino también para promover una conciencia ambiental más amplia entre los actores de la construcción.

En última instancia, esta investigación no solo es relevante desde una perspectiva normativa, sino que también proporciona un marco sólido para la creación de estrategias y políticas que promuevan un mayor aprovechamiento de los RCD. Aporta al desarrollo sostenible de Bogotá y tiene el potencial de convertirse en una referencia para otras regiones del país que enfrentan retos comparables en materia de gestión de residuos y adopción de modelos de economía circular. La investigación plantea cuestiones críticas sobre cómo optimizar el ciclo de vida de los RCD y promover su incorporación efectiva en la construcción vertical, lo que puede tener un impacto duradero en la forma en que se aborda la gestión de residuos y el desarrollo urbano sostenible en la ciudad.

Antecedentes

Antecedentes de la Gestión de RCD

La gestión de los RCD es un desafío ambiental que se ha intensificado con el auge de la urbanización y el desarrollo infraestructural a nivel global. El manejo adecuado de estos residuos tiene implicaciones tanto a nivel de sustentabilidad ambiental como económica (Aslam et al., 2020). En el transcurso de las últimas décadas, se ha registrado una creciente preocupación internacional por la gestión eficiente de los RCD. Esta preocupación ha resultado en el desarrollo de diversas estrategias y técnicas para reducir, reutilizar y reciclar los RCD, lo que ha ayudado a mitigar sus impactos ambientales.

Los RCD constituyen una parte significativa de los desechos generados a nivel mundial. El Programa de ambiente de las Naciones Unidas en sus siglas en inglés (UNEP) estimó con datos de diversos años que la cantidad de RCD generado podría llegar a 955 millones de toneladas por año únicamente considerando los países medidos (Estados Unidos, China, Japón, India, Dubai) (UNEP, 2015). Este volumen creciente de RCD representa un desafío considerable para su gestión y disposición adecuada.

Los RCD también pueden ser una fuente valiosa de materiales de construcción reciclables. El reciclaje de los RCD puede reducir la dependencia de los recursos naturales y disminuir la presión sobre los vertederos. Sin embargo, el reciclaje y reutilización de los RCD requieren de procesos de gestión y tecnologías adecuadas, así como de políticas y regulaciones efectivas. El manejo efectivo de los RCD, por lo tanto, es una tarea compleja que requiere la cooperación y coordinación de varios actores, incluyendo gobiernos, la industria de la construcción, y los investigadores (Li et al., 2020). A medida que avanzamos hacia un futuro más sostenible, la gestión eficaz de los RCD se vuelve cada vez más crítica, y se necesita más investigación y desarrollo en este campo.

Contexto Histórico y Evolución de la Gestión de RCD a Nivel Global

La gestión de los RCD ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas, fruto de la creciente conciencia medioambiental global. Históricamente, los RCD eran abandonados y con el surgimiento de las ciudades empezaron a ser desechados en vertederos sin ningún tratamiento previo (Sanchez et al., 2023).

El incremento significativo en la problemática de los RCD se produjo una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, dos factores desempeñaron un papel fundamental en este aumento. En primer lugar, la destrucción provocada por los bombardeos generó grandes cantidades de RCD en las principales ciudades europeas. En segundo lugar, la creación de maquinaria con motores de potencia sin precedentes llevó al desarrollo posterior de maquinaria pesada moderna, lo que incrementó aún más la generación de RCD previo (Sanchez et al., 2023).

Fue a partir de los años 90 y a principios de los 2000 cuando se empezó a generar un interés creciente en la minimización de los RCD y la reutilización y reciclaje de los mismos. Según Wu et al. (2019) Las primeras investigaciones referentes en la gestión de RCD abarcan un amplio espectro, desde investigar las prácticas de gestión de residuos en destacadas economías, como Canadá, Alemania, Estados Unidos, Reino Unido, China, Australia y Malasia, hasta analizar minuciosamente el flujo de materiales y las redes involucradas en todo el ciclo, desde la generación de residuos hasta su disposición final. Además, se ha emprendido la evaluación del rendimiento de la gestión de RCD.

Desde 2010 hasta la actualidad, esta tendencia ha cobrado mayor fuerza, impulsada por la implementación de políticas y normativas más rigurosas sobre la gestión de RCD en numerosos países, y el surgimiento de técnicas y tecnologías innovadoras para su procesamiento y reciclaje. Es así como podemos encontrar en los países de la Unión Europea se ha convertido en una práctica común (Sáez & Osmani, 2019).

No obstante, a pesar de los avances logrados, todavía existen desafíos significativos en la gestión de RCD a nivel global (Ragossnig, 2020). Algunos de estos desafíos incluyen la falta de infraestructuras de reciclaje adecuadas, la necesidad de mejorar la trazabilidad y la calidad de los RCD reciclados, y la necesidad de sensibilizar más a los actores de la industria de la construcción sobre los beneficios del uso sostenible de los RCD. Hoy en día, la gestión de los RCD se está convirtiendo en una parte integral de las estrategias de desarrollo sostenible a nivel global. La economía circular se presenta como una vía prometedora para abordar el problema de los RCD, fomentando su reutilización y reciclaje y reduciendo la demanda de recursos naturales.

Diversas Aproximaciones Internacionales Para la Gestión Eficiente de los RCD

Los RCD se han abordado de diversas formas en el ámbito internacional. En países como Eslovenia y los Países Bajos, las políticas de residuo cero se ha implementado con el objetivo de reutilizar y reciclar la mayor cantidad posible de RCD y reducir al mínimo su disposición en vertederos. Por ejemplo, de acuerdo con (Villagrán et al., 2022) para el año 2020 en Eslovenia, Países bajos, Italia y Reino Unido más del 95% de los RCD son reciclados o reutilizados, en gran parte gracias a sus políticas. En contraste, en países como Malta, Islandia y Serbia, se ha hecho un uso intensivo del uso como relleno lo que constituye otra forma viable para tratar los RCD de forma eficiente y efectiva.

En países como Japón y el Corea del Sur, la normativa se ha centrado en promover la segregación de los RCD en origen y su tratamiento diferenciado, lo que facilita el reciclaje en tasa muy altas, según Cho et al. (2022) en Corea del Sur la tasa de aprovechamiento de RCD es del 98% en el año 2015 la cual podemos comparar con Estados Unidos que cuenta con un tasa de aprovechamiento del 75% para el mismo año, esto se debe principalmente a que en Estados Unidos la gestión de RCD ha sido descentralizada, dependiendo en gran medida de las políticas y regulaciones estatales y locales .

Marco Normativo y Regulaciones Relacionadas con la Gestión de RCD en Otros Países

El marco normativo y las regulaciones internacionales para la gestión de los RCD han evolucionado a lo largo del tiempo, un antecedente importante es la Convención de Basilea de 1989, que implementaba controles a los movimientos trasfronterizos de residuos peligrosos, marcando así el primer marco internacional de gestión de residuos (Useche, 1995).

Reflejando la creciente conciencia sobre los desafíos ambientales y la necesidad de promover una economía circular. La Unión Europea (UE), por ejemplo, ha desarrollado normativas integrales que enfatizan la prevención, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización de RCD, antes de considerar la eliminación (Comisión Europea, 2018).

Además, ciertos países han implementado regulaciones que impulsan la segregación de los diferentes residuos desde la fuente, reduciendo los RCD que acaba en los vertederos. En este sentido podemos encontrar el protocolo de manejo de RCD de la Unión Europea (Comisión Europea, 2016). Así como la guía de los lineamientos para la auditoria antes de la demolición y renovación de obras, EU manejo de RCD (Comisión Europea, 2018).

En Asia, países como Japón, un país con limitaciones de espacio y recursos, la gestión de RCD es crucial, dado que estos residuos constituyeron el 60% del total desechado ilegalmente en 2002 (Zhao et al., 2023). La Ley de Reciclaje de Construcción, establecida para mejorar la supervisión y fomentar la reutilización de estos materiales, ha visto un endurecimiento de sus regulaciones en años recientes. En 2020, el país logró reciclar o reutilizar el 88.2% de los 78.21 millones de toneladas de residuos de C&D producidos, reflejando un enfoque robusto hacia la economía circular. Este esfuerzo es parte de la estrategia de crecimiento verde del país, que incluye la industria de reciclaje de recursos como una de sus áreas clave (Zhao et al., 2023).

Además, en América, los Estados Unidos han delegado la gestión de RCD a las autoridades estatales y locales, lo que ha dado lugar a una variedad de enfoques y regulaciones por este motivo la

gestión de RCD en los Estados Unidos varía ampliamente, con algunos estados liderando en prácticas de reutilización y reciclaje. (Cho et al.,2022)

Estas diversas normativas y regulaciones reflejan los esfuerzos globales para minimizar el impacto ambiental de los RCD y subrayan la importancia de establecer estrategias de gestión eficientes a nivel local e internacional.

Antecedentes de la Adopción de la Economía Circular Frente a los RCD a Nivel Global

La economía circular en la gestión de RCD se está volviendo cada vez más prevalente a nivel mundial. Este enfoque, que se basa en los principios de reducir, reutilizar y reciclar, ha demostrado ser eficaz para minimizar el desperdicio de recursos y reducir el impacto medioambiental de la industria de la construcción. En varios países se están implementando políticas y regulaciones para fomentar la economía circular en la gestión de los RCD, lo que ha generado una mayor conciencia y aceptación de estas prácticas por parte de los actores de la industria (Kabirifar et al., 2020). La creciente urbanización ha aumentado la generación de RCD a nivel mundial, lo que plantea desafíos significativos para la industria de la construcción y el medio ambiente

Ejemplos de éxito en la incorporación de RCD bajo la óptica de la economía circular

En el ámbito internacional, los esfuerzos de los Países Bajos destacan por su ambición hacia una economía de construcción circular. En enero de 2017, como parte del acuerdo "Grondstoffenakkoord", múltiples organizaciones se comprometieron con el programa nacional de economía circular. Bajo este marco, se lanzó la Agenda de Transición para la Economía de Construcción Circular, con el objetivo de transformar completamente el entorno construido —que incluye viviendas, construcciones utilitarias y el sector de ingeniería civil— en un sistema circular para 2050. Este enfoque abarca el desarrollo, uso y reutilización de edificios e infraestructuras minimizando la depleción de recursos, la contaminación ambiental y la degradación del ecosistema. La implementación de esta agenda demuestra un

compromiso profundo con prácticas sostenibles en la construcción y apunta a una reducción significativa de la huella ambiental de la industria (Circular Construction Economy, 2018).

En la región de Kharkiv, Ucrania, se ha lanzado un destacado proyecto de construcción circular que está transformando los escombros de demolición en recursos para la reconstrucción de viviendas dañadas por la guerra. Esta iniciativa, liderada por la ONG Zero Waste Kharkiv y apoyada por el proyecto suizo-ucraniano "Supporting the Recovery of Ukraine", busca no solo gestionar adecuadamente los desechos, sino también utilizarlos para restaurar lo que fue destruido. A través de este proyecto, materiales como ladrillos y madera que han sobrevivido a la destrucción están siendo cuidadosamente recuperados y reutilizados, demostrando así el potencial de las prácticas de economía circular incluso en tiempos de conflicto (Smahina, 2023).

En un innovador proyecto llevado a cabo en New Lynn, Nueva Zelanda, se logró desviar más del 90% de los RCD de los vertederos. La colaboración entre el Consejo de Auckland, el Centro de Investigación de Soluciones Ambientales de Unitec (ESRC), y Benton Ltd, demostró el potencial de reciclar plásticos y otros materiales efectivamente. Este caso resalta la importancia de la educación y la colaboración en la industria de la construcción para lograr una gestión sostenible de residuos (Berry & Kestle, 2022).

Finalmente, en la Ciudad de México se ha registrado un avance significativo en la gestión de residuos de construcción y demolición, con un aumento del 400% en el reciclaje de estos materiales en los últimos años, alcanzando un total de 600,000 toneladas anuales (Martinez, 2024). Este logro no solo consolida a la ciudad como líder nacional en este ámbito, sino que también la posiciona como un referente en América Latina en materia de sostenibilidad ambiental.

Impacto de la Economía Circular en la Industria de la Construcción

El impacto de la economía circular en la industria de la construcción es notablemente significativo. La economía circular, en lugar de seguir un modelo de producción lineal de tomar, hacer, desechar, busca cerrar el ciclo de vida de los productos a través del reciclaje y la reutilización, generando valor a partir de los residuos (Wijkman & Skånberg, 2015). En el contexto de la construcción, esto implica transformar los RCD, que tradicionalmente han sido vistos como desechos, en recursos valiosos.

Por ejemplo, según Ghaffar et al. (2020) la economía circular promueve el uso de los RCD durante la fabricación de nuevos materiales de construcción, disminuyendo el uso de materias primas vírgenes y reduciendo la cantidad de residuos. Y conforme a Ghisellini et al. (2018), este enfoque puede llevar a una disminución en los costos de producción y en el impacto ambiental de la construcción.

Además, la economía circular puede tener un impacto significativo en la creación de empleo en el sector de la construcción. La transición hacia una economía circular en Europa y Estados Unidos podría generar un aumento neto de 2 a 3,5 millones de empleos nuevos en el sector de la construcción (Renner et al., 2008, como se citó en Boone et al., 2023, p. 9), este aumento podría ser impulsado por la demanda de habilidades relacionadas con la reutilización y el reciclaje de materiales.

Más allá de los beneficios económicos y ambientales, la economía circular también puede contribuir a la resiliencia de la industria de la construcción. Al reducir la dependencia de materias primas importadas y promover la utilización de recursos locales, la economía circular puede ayudar a la industria de la construcción a resistir las fluctuaciones en los precios de las materias primas y las interrupciones en las cadenas de suministro.

Finalmente, la economía circular también puede jugar un papel crucial en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. La gestión eficiente de los RCD puede contribuir a la consecución de varios ODS, como la producción y consumo responsables (ODS 12) y las ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11).

Antecedentes Nacionales de la Gestión de los RCD y la Economía Circular en Colombia

Estrategias, Programas y Acciones Implementadas en Colombia Para Gestionar Adecuadamente los

RCD

En el país, las estrategias y programas implementados respecto a los RCD han evolucionado en respuesta a la necesidad urgente de mejorar la sostenibilidad del sector de la construcción. Uno de los hitos importantes en esta dirección ha sido la Resolución 472 de 2017, promulgada por el MADS. Esta resolución estableció un marco regulatorio para la gestión integral de los RCD, incluyendo su disposición final, promoviendo así prácticas de construcción más sostenibles (MADS, 2017, Resolución 472)

El sector privado también ha jugado un rol importante en el desarrollo de la gestión eficiente de los RCD. La Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) en 2021, publicó la Guía de Gestión Sostenible y Circular en Obras, que ofrece un conjunto de directrices y recomendaciones para una gestión integral y eficiente de los RCD. Este documento destaca la importancia de la reutilización, reciclaje y otros métodos de valorización de los RCD en la industria de la construcción (CAMACOL & CCCS, 2021).

Además, en 2015, la SDA publicó la Guía para la Elaboración del Plan de Gestión de RCD en la Obra, que se diseñó para ayudar a las empresas de construcción a desarrollar y aplicar planes de gestión de RCD efectivos (Alcaldía Mayor de Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente, 2015). Este documento sirve como una herramienta importante para facilitar el cumplimiento de las normas gubernamentales relevantes frente a la gestión adecuada de los RCD.

Finalmente, es importante mencionar las diversas iniciativas locales que se han implementado en diferentes regiones de Colombia. Un ejemplo notable es la Guía para el Manejo de RCD en la Ciudad de Barranquilla, que ofrece una visión detallada de cómo gestionar eficientemente los RCD en el contexto local específico de esta ciudad (Páez & Pacheco, 2019). Tales iniciativas, aunque variadas en su

alcance y enfoque, todas buscan el objetivo común de promover la gestión sostenible y circular de los RCD en el país.

Proyectos e Iniciativas Relevantes en Colombia que Promueven la Economía Circular de los RCD

En Colombia, la gestión de RCD ha comenzado a adoptar prácticas de economía circular a través de diversos proyectos e iniciativas. Estas acciones buscan no solo reducir el impacto ambiental de los residuos, sino también reutilizar y reciclar materiales para darles una segunda vida útil en la industria de la construcción. A continuación, se destacan algunas de las iniciativas más relevantes en el país que están promoviendo estas prácticas innovadoras.

Una de las prácticas más comunes en la gestión adecuada de los RCD es el mercado de segunda mano de materiales del sector de la construcción. En Colombia, especialmente en Bogotá, existe una red bien establecida de pequeños depósitos, centros de acopio de reciclaje y bodegas de las principales empresas de demolición que comercializan materiales como ladrillos, ventanas, aceros, puertas y baños. Estos mercados no solo ayudan a reducir los residuos que se disponen en los vertederos, adicionalmente también proporcionan materiales de calidad a precios más bajos para nuevas construcciones, fomentando una economía más sostenible y accesible.

Figura 2

Punto de venta de materiales de segunda mano en Bogotá.



Nota. La imagen muestra un establecimiento dedicado a la compra y venta de materiales de construcción reutilizados y chatarra, representando una iniciativa clave en la economía circular para la reincorporación de RCD en el mercado. Tomado de "Compra y venta de materiales de segunda", por Demoliciones El Tornado, s.f. (<https://demolicioneseltornado.com/compra-y-venta-de-materiales-de-segunda-2/>).

Otra iniciativa destacada es la de la empresa IGNEO, ubicada en Barranquilla, que se dedica a la creación de productos para mobiliario urbano y arquitectónico utilizando concreto de agregados reciclados. IGNEO no solo evita la explotación de recursos naturales al reemplazar la piedra y arena en sus mezclas de concreto por agregados reciclados, sino que también produce mobiliario con alta resistencia a la intemperie y protección UV, lo que asegura una larga durabilidad. Los productos de IGNEO, con sus diseños originales y diversas opciones de acabados, contribuyen a la identidad y personalidad de los espacios urbanos, demostrando que la sostenibilidad y la estética pueden ir de la mano.

Figura 3

Mobiliario urbano y arquitectónico elaborado con concreto de agregados reciclados.



Nota. La imagen presenta la "Mesa Tikal", parte del mobiliario urbano y arquitectónico de IGNEO Colombia. Este producto se elabora con concreto que incorpora agregados reciclados, lo cual evita la explotación de recursos naturales y promueve la sostenibilidad en el sector de la construcción. Tomado de "Mesa Tikal", por Igneo Colombia, s.f. (<https://igneocolombia.com/portafolio/mesa-tikal/>).

Finalmente, las plantas recuperadoras de agregados juegan un papel crucial en la incorporación de RCD en la construcción, especialmente en la rehabilitación de carreteras. Un ejemplo destacado es Granulados Reciclados de Colombia Greco, que es la planta de aprovechamiento sostenible de RCD más grande y moderna de Latinoamérica. Greco reincorpora materiales considerados desechos en la cadena productiva, ofreciendo productos como base granular, sub base granular, material de relleno, gravas y arenas, que cumplen con especificaciones técnicas para su uso en la construcción. Esta práctica no solo mitiga el impacto ambiental, sino que también genera valor compartido y eficiencia en el uso de recursos, posicionando a Colombia como un líder en la gestión sostenible de RCD.

Figura 4

Planta de aprovechamiento de RCD de Granulados Reciclados de Colombia.



Nota. La imagen muestra la planta de Granulados Reciclados de Colombia Greco, destacando su ingeniería alemana de última generación para producir materiales reciclados a partir de RCD. Esta empresa es un actor clave en la reincorporación de RCD en la cadena productiva, ofreciendo productos como base granular, sub-base granular, material de relleno, gravas y arenas. Tomado de una publicación de Granulados Reciclados de Colombia Greco, 2021. (<https://x.com/RecicladosGRECO/status/1350825148144881664>).

Estudios e Investigaciones Previas Sobre la Implementación de RCD en la Construcción en Colombia

El estudio relacionado con la implementación de RCD en la construcción en el país abarca una variedad de investigaciones que destacan la importancia de aprovechar estos recursos de manera sostenible. En primer lugar, el artículo de Bolaños, Sánchez y Rosero (2018) enfoca su atención en Santiago de Cali, donde la falta de una disposición final adecuada para los RCD ha resultado en escombreras ilegales, generando problemas ambientales significativo.

Una de las líneas de investigación se centra en el potencial uso de los RCD destinándolos con e fin de disponerlos como agregados en materiales de construcción. Por ejemplo, el trabajo de Bolaños et al. (2018) evalúa la viabilidad técnica de transformar los RCD en agregado fino reciclado (ARF) para la producción de ladrillos, obteniendo resultados alentadores que cumplen con los requisitos técnicos necesarios para su aplicación en la construcción (Bolaños et al., 2018). Esta investigación resalta la

posibilidad de aprovechar más del 90% de los RCD para desarrollar materiales de construcción adecuados, lo que contribuiría significativamente a la sostenibilidad del sector.

Por otro lado, el artículo de Salazar et al. (2023) investiga el desarrollo de bloques de concreto livianos utilizando RCD y cenizas de termoeléctrica en Cúcuta, Colombia. Este estudio resalta la importancia de la reutilización de RCD en la fabricación de materiales de construcción, no solo para reducir la acumulación de residuos en vertederos, sino también para disminuir la extracción de nuevos materiales naturales (Salazar et al., 2023). Los resultados de este estudio demuestran que la reutilización de RCD y cenizas de termoeléctrica en la fabricación de bloques de concreto livianos es una aplicación eficaz para la gestión de RCD, promoviendo prácticas más sostenibles en la industria.

Además, el artículo de Pérez et al. (2021) revisa la literatura sobre la influencia de los RCD en la elaboración de concreto, destacando su potencial como sustituto de agregados naturales para reducir la explotación de materias primas y mitigar la contaminación (Pérez et al., 2021). Si bien los concretos elaborados con agregados reciclados de RCD presentan ciertas limitaciones, como la reducción de su trabajabilidad y una mayor demanda de cemento, diversos estudios indican que su aplicación puede resultar favorable desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental.

Finalmente, el estudio de Peña Muñoz et al. (2021) se enfoca en la problemática de la gestión de RCD en el Valle de Aburrá, proponiendo el uso de RCD de concreto en sub-bases granulares en pavimentos como una alternativa sostenible (Peña et al., 2021). Los resultados obtenidos demuestran que los RCD de concreto cumplen con los requisitos técnicos para este tipo de aplicaciones, ofreciendo beneficios ambientales y económicos al reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos y disminuir la demanda de materiales nuevos.

Estos estudios otorgan una visión integral acerca de la implementación de RCD en la construcción en Colombia, destacando su potencial para promover prácticas más sostenibles y contribuir a la mitigación de la contaminación ambiental en la industria de la construcción.

Marco Legal

Dentro del conjunto de 29 documentos exhaustivamente analizados los cuales se detallan en la tabla 5, se ha realizado un desglose que arroja luz sobre la diversidad de regulaciones y políticas relacionadas con el medio ambiente, los residuos sólidos y la gestión de RCD en Colombia. Estos documentos comprenden 8 leyes nacionales, 5 leyes específicas de Bogotá, 5 decretos, 3 resoluciones, 1 acuerdo, 1 fallo judicial, 1 documento CONPES y 2 normas técnicas. Además, se identificaron 2 memorandos que podrían contener directrices operativas o instrucciones internas relacionadas con estos temas. Este análisis subraya la complejidad y la importancia de abordar de manera integral y coordinada estas regulaciones para lograr un impacto ambiental positivo y sostenible en el país.

Entre los documentos identificados se encuentran las leyes nacionales, que constituyen la base de la normativa ambiental colombiana, al establecer marcos legales y políticas generales para la protección del entorno y la gestión de residuos. Estas leyes sientan los fundamentos del sistema regulatorio, sobre los cuales se estructuran las demás disposiciones complementarias. Asimismo, se destacan las leyes locales específicas de Bogotá, que abordan el manejo de residuos desde una perspectiva urbana, adaptadas a las particularidades de una metrópolis como la capital del país.

A nivel más detallado, se identificaron decretos que complementan y desarrollan las disposiciones establecidas por las leyes nacionales y distritales, proporcionando lineamientos técnicos y operativos para la implementación de políticas públicas. Las resoluciones, por su parte, establecen directrices específicas sobre la gestión de residuos sólidos y temas ambientales, en el plano práctico y administrativo. Este entramado regulatorio se amplía con un acuerdo distrital, que define políticas y acciones específicas en torno al medio ambiente y los residuos. También se incluye un fallo judicial con implicaciones relevantes para la interpretación y aplicación normativa en el ámbito ambiental.

Tabla 5

Marco legal y normativo para la gestión de RCD en Colombia y Bogotá, 1974-2023.

Entidad	Título	Fecha
Gobierno Nacional	Ley 2811 de 1974	18/12/1974
Gobierno Nacional	Constitución Política de Colombia	20/07/1991
Gobierno Nacional	Ley 99 de 1993	22/12/1993
Ministerio de Ambiente	Resolución Número 541 de 1994	14/12/1994
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Decreto 357 de 1997	21/05/1997
Gobierno Nacional	Decreto 1713 de 2002	6/08/2002
Gobierno Nacional	Decreto Número 838 de 2005	3/03/2005
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Decreto 312 de 2006	15/08/2006
Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Acuerdo 257 de 2006	30/11/2006
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Decreto 620 de 2007	28/12/2007
Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Resolución Número 2397 de 2011	25/04/2011
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Plan de Desarrollo Económico y Social y de Obras Públicas para Bogotá Distrito Capital 2012 - 2016 BOGOTÁ HUMANA	12/06/2012
Concejo de Bogotá D.C.	Acuerdo 489 de 2012	12/06/2012
Subdirección de Control Ambiental al Sector Público	Memorando No. 2012IE107218 del 04 de septiembre de 2012	4/09/2012
Subdirección de Control Ambiental al Sector Público	Memorando No. 2012IE113646 del 19 de septiembre de 2012	19/09/2012
Instituto de Desarrollo Urbano IDU	Norma Técnica 533 -18 Especificaciones IDU - ET - 2005	18/05/2006
Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Resolución Número 01115 de 2012	26/09/2012
Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Resolución Número 00932 de 2015	9/07/2015
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Decreto Número 586 de 2015	29/12/2015
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 0472 de 2017	28/02/2017
Departamento Nacional de Planeación	CONPES 3919	23/03/2018
Consejo de Estado	Fallo 00173 de 2019 Consejo de Estado	29/08/2019
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Resolución Número 010910 de 2019	19/12/2019
Instituto de Desarrollo Urbano IDU	Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C.	19/12/2019
ICONTEC	NTC 6421 Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico	14/07/2021
ICONTEC	NTC 6422 Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados	14/07/2021
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Resolución 1257 de 2021	23/11/2021
Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.	Decreto Número 507 de 2023	1/11/2023

Nota. La tabla compila el marco legal y normativo relevante para la gestión ambiental y, específicamente, la gestión de RCD en Colombia y el Distrito Capital. Los documentos listados abarcan leyes, decretos, resoluciones, acuerdos, planes, memorandos, fallos y normas técnicas emitidos por diversas entidades nacionales y distritales. Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión documental de normativa legal vigente.

Además, se identificó un documento CONPES (Departamento Nacional de Planeación, 2018), el cual orienta la formulación de estrategias nacionales en sostenibilidad, incluyendo la gestión de residuos en el sector construcción.

En el ámbito técnico, se incluyen dos normas emitidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC): la Norma Técnica Colombiana NTC 6421 y la NTC 6422 (ICONTEC, 2021a, NTC 6421; ICONTEC, 2021b, NTC 6422), que definen parámetros de calidad y ensayo para agregados reciclados en el concreto hidráulico, facilitando su uso seguro y eficiente en obras civiles. Finalmente, se hallaron dos memorandos internos, que contienen directrices operativas específicas relacionadas con la gestión de residuos y que complementan la normatividad vigente.

Este análisis subraya la diversidad y complejidad del marco legal colombiano en materia ambiental. La variedad de instrumentos jurídicos disponibles refleja la necesidad de una comprensión integral de las normas para una implementación efectiva. Su adecuada aplicación es esencial para lograr un manejo sostenible de los recursos naturales y una verdadera protección ambiental en el país.

Legislación Nacional Sobre el Uso de RCD

La legislación nacional que rige el uso y manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia está compuesta por un conjunto de normas y políticas orientadas a garantizar una gestión ambientalmente responsable y sostenible. Estas disposiciones buscan proteger la salud pública, mitigar los impactos negativos sobre el ambiente y fomentar prácticas responsables en el sector de la construcción y la demolición, que es uno de los principales generadores de este tipo de residuos. (ver Tabla 6).

Uno de los pilares normativos más antiguos es la Ley 2811 de 1974, conocida como el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, que regula el uso y protección de los recursos naturales. Aunque su enfoque principal es el recurso hídrico, también

contiene principios aplicables a la gestión ambiental integral de residuos como los RCD (Congreso de la República de Colombia, 1974, Ley 2811).

Este marco fue complementado por la Constitución Política de 1991, que reconoce el derecho fundamental de todas las personas a gozar de un ambiente sano y establece la responsabilidad del Estado y los particulares en su preservación (Constitución Política de Colombia, 1991, Art. 79).

Un hito adicional es la Ley 99 de 1993, mediante la cual se creó el Ministerio de Ambiente y se consolidó el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Esta ley establece la organización del sector ambiental y promueve el desarrollo sostenible, la conservación del entorno natural y la participación ciudadana en la gestión ambiental (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 99).

Esta legislación constituye el marco jurídico central que respalda y articula las acciones en torno a la gestión de RCD en el país, sirviendo de base para normas posteriores que han detallado procedimientos, metas y responsabilidades específicas.

Tabla 6

Legislación nacional para la gestión ambiental y de residuos en Colombia, 1974-2005.

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Gobierno Nacional</p> <p>Clasificación: Decreto Ley de la Nación</p> <p>Título: Ley 2811 de 1974</p> <p>Fecha: 18 de diciembre de 1974</p>	<p>Incorpora: conocida como "Ley General de Aguas", establece el marco normativo para la gestión integral del agua en el país. Incluye el Código Nacional de Recursos Naturales, con medidas de planificación, autoridad ambiental, derechos de uso, protección y conservación del agua. Promueve la participación ciudadana y la educación ambiental, con el objetivo de garantizar su disponibilidad y uso sostenible para las presentes y futuras generaciones, y establece incentivos para el uso eficiente del agua y tecnologías limpias.</p>
<p>Entidad: Gobierno Nacional</p> <p>Clasificación: Constitución Política</p> <p>Título: Constitución Política de Colombia</p> <p>Fecha: 20 de julio de 1991</p>	<p>Incorpora: los artículos 79 y 80, junto con el numeral 8 del artículo 95, garantiza el derecho a un ambiente sano, establece la obligación de planificar y gestionar los recursos naturales de manera sostenible, y promueve la conservación del patrimonio ecológico y cultural del país. Reconoce la responsabilidad de las autoridades y ciudadanos en la protección y preservación de los recursos naturales, con el objetivo de asegurar su conservación y uso sostenible para las presentes y futuras generaciones.</p> <p>Artículo 35 del Título III, de los residuos, basuras, desechos y desperdicios.: "Se prohíbe descargar, sin autorización, los residuos, basuras y desperdicios</p>

Norma	Incorpora / Modifica
	y, en general, de desechos que deterioren los suelos o causen daño o molestia a individuos o núcleos humanos."
<p>Entidad: Gobierno Nacional</p> <p>Clasificación: Ley de la Nación</p> <p>Título: Ley 99 de 1993</p> <p>Fecha: 22 de diciembre de 1993</p>	<p>Incorpora: Regula la gestión de los recursos naturales y el medio ambiente, promoviendo el desarrollo sostenible, la conservación y protección ambiental, la participación ciudadana y la planificación integral. Crea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como las Secretarías de Medio Ambiente en las entidades territoriales, como parte del Sistema Nacional Ambiental. Establece instrumentos de gestión ambiental y sanciones por incumplimiento de las normas, con el objetivo de garantizar una gestión ambiental adecuada en el país.</p>
<p>Entidad: Ministerio de Ambiente</p> <p>Clasificación: Resolución</p> <p>Título: Resolución Número 541 de 1994</p> <p>Fecha: 14 de diciembre de 1994</p>	<p>Incorpora: Establece normas para el manejo integral de escombros y materiales de construcción, incluyendo su carga, descarga, transporte, almacenamiento y disposición final. Vehículos deben tener contenedores apropiados para evitar pérdidas. No está autorizado alterar el diseño original de los contenedores o platones con el fin de incrementar su capacidad de carga.</p>
<p>Entidad: Gobierno Nacional</p> <p>Clasificación: Decreto</p> <p>Título: Decreto 1713 de 2002</p> <p>Fecha: 06 de agosto de 2002</p>	<p>Incorpora: Dentro del enfoque de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el aprovechamiento se define como el proceso mediante el cual los materiales recuperados de los residuos son reincorporados de forma eficiente al ciclo productivo y económico. Esto se realiza a través de prácticas como la reutilización, el reciclaje, la valorización energética mediante incineración, el compostaje, entre otras alternativas que aporten beneficios en términos sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.</p>
<p>Entidad: Gobierno Nacional</p> <p>Clasificación: Decreto</p> <p>Título: Decreto Número 838 de 2005</p> <p>Fecha: 03 de marzo de 2005</p>	<p>Incorpora: Regula el manejo adecuado de los residuos peligrosos, abarcando su generación, almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición y control, con el objetivo de prevenir impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.</p> <p>Modifica: Modifica el Decreto 1713 de 2002 en lo relacionado a la disposición final de residuos sólidos:</p> <p>“Los escombros que no sean objeto de un programa de recuperación y aprovechamiento deberán ser dispuestos adecuadamente en escombreras cuya ubicación haya sido previamente definida por el municipio o distrito, teniendo en cuenta lo dispuesto en la Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la norma que la sustituya, modifique o adicione y demás disposiciones ambientales vigentes”.</p>

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</p> <p>Clasificación: Resolución</p> <p>Título: Resolución 0472 de 2017</p> <p>Fecha: 28 de febrero de 2017</p>	<p>Incorpora: Se establecen metas obligatorias de aprovechamiento de RCD para los grandes generadores, especificando porcentajes mínimos —en peso— del total de materiales utilizados en la obra que deben ser valorizados. Asimismo, se impone a dichos generadores la responsabilidad de reportar trimestralmente ante la autoridad ambiental competente el cumplimiento de lo dispuesto en la resolución, mediante la entrega de la información contenida en los anexos que forman parte integral del documento. Estas medidas tienen como objetivo promover el uso eficiente y sostenible de los materiales de construcción y demolición, al tiempo que refuerzan los mecanismos de seguimiento y control sobre su adecuada gestión.</p> <p>Modifica: Uno de los cambios más relevantes es la inclusión de obligaciones específicas para los pequeños generadores de RCD, quienes ahora deben entregar sus residuos a gestores de RCD para su recaudación, transporte, almacenamiento y disposición adecuada. Además, se establecen requisitos más rigurosos para los gestores: puntos limpios, aprovechamiento y disposición final de los RCD, como la obligación de formular e implementar medidas mínimas de manejo ambiental. Asimismo, la resolución amplía las prohibiciones relacionadas con el manejo inadecuado de RCD, como el almacenamiento en áreas protegidas y la mezcla de estos residuos con otros tipos de desechos sólidos.</p>
<p>Entidad: Departamento Nacional de Planeación</p> <p>Clasificación: CONPES</p> <p>Título: CONPES 3919</p> <p>Fecha: 23 de marzo de 2018</p>	<p>Plantea la necesidad de abordar la sostenibilidad en la industria de la construcción en el país como respuesta a los desafíos ambientales y sociales. El documento propone un enfoque integral que incluye criterios claros de sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida de construcciones, desde su diseño hasta su demolición, y establece objetivos específicos y un plan de acción para implementar herramientas de política pública que promuevan la incursión de prácticas sostenibles en todos los usos y tipos de edificaciones. Además, se busca fomentar la coordinación interinstitucional, mejorar la información sectorial, establecer incentivos financieros y seguir de cerca el mercado de edificaciones para garantizar la implementación efectiva de la normativa sostenible.</p>
<p>Entidad: Consejo de Estado</p> <p>Clasificación: Fallo</p> <p>Título: Fallo 00173 de 2019 Consejo de Estado</p> <p>Fecha: 29 de agosto de 2019</p>	<p>Establece precedente: responsabiliza a los municipios por garantizar la disposición final adecuada de RCD. En el caso del Municipio de Calarcá, a pesar de contar con un sitio de disposición final de RCD, se operaba inadecuadamente, lo que vulneró el derecho al medio ambiente. La sentencia revocó la orden inicial de habilitar sitios y en su lugar ordena al municipio asegurar que el sitio cumpla con los planes de Manejo Ambiental y de Contingencia. También se destaca que los municipios de Pijao y Montenegro vulneraron el medio ambiente por el manejo inadecuado de RCD. La modificación del fallo crea un precedente claro al establecer plazos y procedimientos para que los municipios seleccionen, obtengan viabilidad y construyan sitios adecuados para la disposición final de RCD, protegiendo así los derechos e intereses colectivos en relación con el medio ambiente.</p>

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</p> <p>Clasificación: Resolución</p> <p>Título: Resolución 1257 de 2021</p> <p>Fecha: 23 de noviembre 2021</p>	<p>Incorpora: introduce varias incorporaciones nuevas para fortalecer la gestión adecuada de los RCD en el país. Entre las novedades se encuentran definiciones más claras de términos como "almacenamiento", "gran generador", "receptor" e "industria colaborativa". Asimismo, se establece la obligación de los involucrados de RCD de llevar a cabo un Programa de Manejo Ambiental específico para estos residuos. Además, se detallan las responsabilidades de los receptores de RCD, incluyendo la entrega de certificados de auto declaración y la presentación de informes trimestrales sobre la gestión de los residuos.</p> <p>Modifica: La "Resolución 1257 de 2021" también realiza modificaciones sustanciales a la "Resolución 0472 de 2017", que regulaba la gestión de RCD en Colombia. Entre las modificaciones más destacadas se encuentra la redefinición de las metas de aprovechamiento de RCD, estableciendo plazos y porcentajes específicos de aprovechamiento para diferentes categorías de municipios. Asimismo, se incrementan las responsabilidades tanto de los generadores y gestores de residuos de construcción y demolición (RCD) como de las autoridades ambientales, con el fin de reforzar los mecanismos de control y monitoreo sobre su manejo. Igualmente, se actualizan los formatos y procedimientos establecidos para el reporte y seguimiento de la gestión de estos residuos</p>

Nota. La tabla detalla la legislación nacional fundamental en Colombia relativa a la gestión ambiental y el manejo de residuos sólidos y peligrosos, incluyendo los RCD. Se especifica la entidad emisora, el nombre de la norma, la fecha de expedición y su alcance principal en términos de incorporación o modificación de políticas y regulaciones. Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión documental de normativa legal vigente.

A nivel más específico, la Resolución 541 de 1994 del entonces Ministerio del Medio Ambiente establece regulaciones detalladas sobre la carga, descarga, transporte, almacenamiento y disposición de RCD. Estas disposiciones buscan prevenir la contaminación y mitigar los impactos ambientales derivados del manejo inadecuado de estos residuos (Ministerio del Medio Ambiente, 1994, Resolución 541).

El Decreto 1713 de 2002, por su parte, promueve la gestión adecuada de los residuos sólidos ordinarios, incluyendo los RCD como parte de su enfoque integral. Este decreto fomenta el reúso, reciclaje, compostaje y otras modalidades como la valorización energética, enmarcadas dentro de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Presidencia de la República de Colombia, 2002, Decreto 1713).

En cuanto a residuos peligrosos, el Decreto 838 de 2005 regula su generación, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final, con el objetivo de evitar impactos adversos en la salud humana y el medio ambiente. Aunque no se centra en RCD, es relevante en obras donde se generen residuos mixtos o con componentes peligrosos (Presidencia de la República de Colombia, 2005, Decreto 838).

En los últimos años, dos resoluciones clave han fortalecido el marco regulatorio. La Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los lineamientos generales para la gestión integral de RCD a nivel nacional, exigiendo a los generadores la elaboración e implementación de Planes de Gestión de RCD (MADS, 2017, Resolución 472).

A su vez, la Resolución 1257 de 2021 fijó metas progresivas de aprovechamiento, obligatorias para grandes generadores: 25% en 2023, 50% en 2026 y 75% en 2030, de acuerdo con la categoría del municipio (MADS, 2021, Resolución 1257).

Además, el Fallo 00173 de 2019 del Consejo de Estado sentó un precedente judicial importante, al determinar que los municipios son responsables de garantizar la disposición final adecuada de los RCD, protegiendo así los derechos e intereses colectivos relacionados con el ambiente sano (Consejo de Estado, 2019, Rad. 25000-23-41-000-2012-00249-01).

En resumen, la legislación colombiana sobre RCD refleja un compromiso creciente con la sostenibilidad ambiental. Estas normas son esenciales para promover el cumplimiento de metas ambientales, proteger la salud pública y fomentar prácticas constructivas responsables dentro del marco de la economía circular.

Regulaciones Locales y Normas Específicas en Bogotá

Bogotá, como principal centro urbano del país, ha desarrollado un marco normativo propio para la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), el cual se presenta en la Tabla 7. Estas regulaciones, expedidas por la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., buscan garantizar el adecuado manejo de estos residuos y mitigar sus impactos ambientales y sobre la salud pública.

Desde la década de 1990, se han emitido decretos y resoluciones con enfoque específico en el manejo de RCD. Su evolución evidencia un compromiso institucional creciente hacia la sostenibilidad urbana y la mejora en las prácticas constructivas.

Uno de los antecedentes más relevantes es el Decreto 357 de 1997, por medio del cual se reglamenta la recolección, transporte y disposición final de escombros en Santa Fe de Bogotá, D.C. Esta norma prohíbe la descarga de residuos en espacio público y exige su traslado a escombreras o estaciones de transferencia autorizadas (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 1997, Decreto 357).

Posteriormente, con la expedición del Decreto 312 de 2006, se adopta el Plan Maestro Integral de Residuos Sólidos para Bogotá, D.C. Esta normativa incluye disposiciones específicas para los RCD, prohibiendo su vertimiento en espacio público, exigiendo cobertura en los vehículos de transporte y estableciendo que la disposición final se realice únicamente en sitios autorizados (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2006, Decreto 312).

Estas normas han sido fundamentales para consolidar una política distrital coherente con los principios de sostenibilidad, control urbano y gestión ambiental responsable.

Tabla 7

Marco legal y normativo distrital de los RCD en Bogotá, 1997-2023.

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Clasificación: Decreto Título: Decreto 357 de 1997 Fecha: 21 de mayo de 1997</p>	<p>Incorpora: Regula el manejo, transporte y disposición final de RCD en la capital. Prohíbe arrojar escombros en áreas de espacio público, establece especificaciones para el transporte en vehículos y establece que la disposición final debe realizarse en escombreras distritales o estaciones de transferencia autorizadas.</p>
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Clasificación: Decreto Título: Decreto 312 de 2006 Fecha: 15 de agosto de 2006</p>	<p>Incorpora: Adopta el “Plan Maestro Integral de Residuos Sólidos” que establece regulaciones para la disposición de RCD, prohibiendo arrojarlos en áreas públicas, obligando a cubrir los vehículos de transporte y estableciendo la disposición final en escombreras autorizadas. Busca garantizar una gestión adecuada de los escombros para minimizar impactos ambientales y proteger la salud pública en la ciudad.</p>

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Decreto</p> <p>Título: Decreto 620 de 2007</p> <p>Fecha: 28 de diciembre de 2007</p>	<p>Incorpora: Regula la gestión de residuos sólidos en la capital, incluyendo la adopción de normas urbanísticas y de construcción. Establece lineamientos para la clasificación, separación, transporte, tratamiento y disposición de residuos, con el objetivo de minimizar la generación, promover la reutilización, reciclaje y valorización, y proteger salud pública y el medio ambiente. Además, establece disposiciones específicas para residuos peligrosos, RCD, residuos orgánicos, residuos hospitalarios y otros tipos de residuos especiales, y mecanismos de control y sanciones para los incumplimientos</p>
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Plan de Desarrollo</p> <p>Título: Plan de Desarrollo Económico y Social y de Obras Públicas para Bogotá Distrito Capital 2012 - 2016</p> <p>Fecha: 12 de junio de 2012</p>	<p>Incorpora: Incluye normas para la gestión sostenible de los RCD en Bogotá. Incluye normas urbanísticas y técnicas, promoción de la economía circular, programas de educación y sensibilización, y alianzas. Busca la reducción, reutilización, reciclaje y valorización de estos residuos, así como la promoción de prácticas de construcción sostenible. Contribuye a la protección tanto del medio ambiente y como de la promoción de desarrollo sustentable en Bogotá.</p>
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Decreto</p> <p>Título: Decreto Número 586 de 2015</p> <p>Fecha: 29 de diciembre de 2015</p>	<p>Incorpora: Crea la Mesa Distrital de RCD, compuesta por diversas instituciones, con el fin de implementar, dar seguimiento y evaluar el plan de acción del modelo de gestión de RCD en Bogotá. Además, la mesa podrá invitar a miembros de la industria de la construcción, la sociedad civil y otros actores relevantes para participar con voz en sus reuniones.</p> <p>Modifica: El Decreto 586 de 2015 modifica y deroga disposiciones anteriores que regulaban la gestión de RCD en la ciudad, unificando y actualizando las normas para una mejor regulación. También establece nuevas obligaciones para los generadores y poseedores de RCD, como la elaboración y registro del Plan de Gestión de RCD en obra para proyectos de gran volumen.</p>
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Resolución</p> <p>Título: Resolución Número 010910 de 2019</p> <p>Fecha: 19 de diciembre de 2019</p>	<p>Incorpora: Este documento incorpora una estructura actualizada que cambia los nombres de las secciones a especificaciones, estableciendo lineamientos precisos para la ejecución de obras públicas. Además, se introducen nuevas especificaciones, se actualizan normas de ensayo para materiales, y se generan capítulos específicos para actividades como la conservación de pavimentos asfálticos, de concreto hidráulico, subrasante, ciclorrhutas y obras diversas para estructuras de puentes vehiculares y peatonales. También se ajusta el contenido de las especificaciones relacionadas con los controles necesarios para las "Condiciones de entrega para el recibo de los trabajos", asegurando la calidad en la ejecución y el cumplimiento normativo.</p>
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Resolución</p> <p>Título: Resolución Número 010910 de 2019</p> <p>Fecha: 19 de diciembre de 2019</p>	<p>Modifica: transforma y actualiza sustancialmente las especificaciones técnicas generales en comparación con las normas anteriores. Introduce cambios en la estructura y nombres de las secciones, implementa nuevas normas de ensayo actualizadas para los materiales y detalla aspectos específicos en capítulos individuales, como la conservación de pavimentos y la construcción de ciclorrhutas. También ajusta las especificaciones de los controles requeridos para garantizar la calidad en las obras. En esencia, esta resolución modifica y mejora de manera significativa las normativas técnicas previas.</p>

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.</p> <p>Clasificación: Decreto</p> <p>Título: Decreto 507 de 2023</p> <p>Fecha: 01 de noviembre de 2023</p>	<p>Incorpora: Se incorpora nuevas definiciones e edificaciones en la gestión del RCD, el requisito de certificación de incorporación de materiales de construcción valorizados, constancia de gestión de residuos, constancia de gestión provisional, documento de transacción de residuos (NTR). adicionalmente incluye las líneas programáticas para el desarrollo del modelo eficiente y sostenible para la gestión de RCD.</p> <p>Modifica: El manejo de los RCD se deberá realizar en tiempo real a través del aplicativo WEB, se deberá realizar reporte mensual en el aplicativo, todo el personal operativo de obra deberá contar con la certificación del SENA "Separar escombros según procedimiento técnico y normativa ambiental".</p>

Nota. La tabla detalla el marco legal y normativo distrital fundamental en Bogotá D.C. relativo a la gestión de RCD, residuos sólidos, y regulaciones urbanísticas relacionadas. Se especifica la entidad emisora, el nombre de la norma, la fecha de expedición y su alcance principal en términos de lo que incorpora o modifica. Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión documental de normativa legal vigente.

En 2007, se expide el Decreto 620 de 2007, mediante el cual se regulan aspectos fundamentales de la gestión de residuos sólidos en Bogotá. Este decreto integra normas urbanísticas y de construcción, y establece directrices para la clasificación, separación, transporte, tratamiento y disposición de residuos, promoviendo la reducción en la generación de desechos, así como su reutilización, reciclaje y valorización. Además, contempla disposiciones específicas sobre residuos peligrosos, RCD, residuos hospitalarios y otros residuos especiales, e introduce mecanismos de control y sanción en caso de incumplimiento (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2007, Decreto 620).

En 2012, se aprueba el Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas para Bogotá, D.C. 2012–2016, el cual incluye medidas orientadas a fomentar la gestión sostenible de los RCD. Este plan contempla normas urbanísticas y técnicas, estrategias de economía circular, programas educativos, campañas de concienciación, y alianzas con el sector privado y organizaciones de la sociedad civil, con el fin de reducir, reutilizar, reciclar y valorizar estos residuos, promoviendo prácticas constructivas más responsables (Concejo de Bogotá, 2012, Acuerdo 489).

En 2015, mediante el Decreto 586 de 2015, se crea la Mesa Distrital de RCD, integrada por diversas entidades del distrito. Su propósito es implementar, monitorear y evaluar el plan de acción para la gestión de RCD en Bogotá. Asimismo, se otorga la facultad de invitar a representantes de la industria

de la construcción, la sociedad civil y otros actores relevantes. Esta norma también introduce la obligación de presentar planes de gestión de RCD para obras de gran envergadura, y deroga disposiciones anteriores, consolidando una regulación más eficiente (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2015, Decreto 586).

Finalmente, en 2023, la Alcaldía expide el Decreto 507 de 2023, publicado el 28 de noviembre, “por medio del cual se adopta el Sistema Distrital para la Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición – RCD en Bogotá, D.C., y se dictan otras disposiciones” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Decreto 507). Esta norma deroga regulaciones anteriores como el Decreto 586 de 2015 y las Resoluciones 1115 de 2012, 715 de 2013 y 932 de 2015. Su objetivo es alinear la normativa distrital con los estándares nacionales establecidos en la Resolución 1257 de 2021 “por la cual se establecen disposiciones relacionadas con la gestión integral de los residuos de construcción y demolición – RCD y se toman otras determinaciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021, Resolución 1257), y fortalecer la implementación del modelo de economía circular.

El Decreto 507 establece metas de circularidad para los generadores, fomenta alianzas con operadores privados, y refuerza los mecanismos de control a lo largo de toda la cadena de gestión de RCD, incluyendo a pequeños generadores y transportadores. Además, articula la gestión de RCD con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), facilitando la localización e implementación de puntos limpios en la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2023, Decreto 507).

Otras Normativas y Regulaciones en la Construcción Relacionadas a los RCD

El marco normativo en la construcción relacionada a los RCD no se limita únicamente a normativas ambientales, sino que también abarca normativas técnicas y de construcción que promueven el uso responsable de materiales reciclados en Bogotá, Colombia, las cuales se relacionan en la tabla 8.

Una de las normativas relevantes es la Norma Técnica IDU 533-18, emitida por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la cual establece las directrices para el uso de material de pavimento bituminoso reciclado (MBR) en la construcción de bases, subbases y bacheos de pavimentos. El MBR es una mezcla de cemento hidráulico, agua y materiales reciclados de capas asfálticas de pavimentos existentes o excedentes de mezcla asfáltica no utilizada. Esta especificación técnica, contenida en el documento “Especificaciones IDU - ET - 2005” (Instituto de Desarrollo Urbano, 2006, Norma Técnica 533-18), promueve la reutilización de materiales reciclados en proyectos viales y de pavimentación, reduciendo la generación de RCD y fomentando la sostenibilidad en la construcción.

Tabla 8

Normativa técnica específica para la incorporación de materiales reciclados y RCD en la construcción en Colombia y Bogotá, 2006-2021.

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: Instituto de Desarrollo Urbano IDU</p> <p>Clasificación: Norma Técnica</p> <p>Título: 533 -18 Especificaciones IDU - ET - 2005</p> <p>Fecha: 18 de mayo de 2006</p> <p>Ámbito: Bogotá D.C.</p>	<p>Incorpora: Establece las directrices para el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión y conformación, compactación y acabado de un material granular mejorado con cemento hidráulico, agua y materiales reciclados de capas asfálticas de pavimentos existentes o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada (conocido como material de pavimento bituminoso reciclado MBR). Este material se utiliza en la construcción de bases, subbases y bacheos de pavimentos, siguiendo las indicaciones de los documentos del proyecto en términos de cotas, alineamientos, pendientes y dimensiones. La mezcla puede producirse en planta o en el sitio de la obra, según lo especificado en los documentos del proyecto.</p>
<p>Entidad: Instituto de Desarrollo Urbano IDU</p> <p>Clasificación: Norma Técnica</p> <p>Título: Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público, para Bogotá D.C.</p> <p>Fecha: 19 de diciembre de 2019</p> <p>Ámbito: Bogotá D.C.</p>	<p>Incorpora: directrices detalladas para la correcta aplicación e interpretación de especificaciones técnicas en proyectos espacio público e infraestructura en la ciudad. Estas especificaciones abordan aspectos fundamentales como la calidad y utilización de agregados reciclados obtenidos de RCD en bases y subbases granulares para vías vehiculares, peatonales y ciclovías, promoviendo la utilización de prácticas más sostenibles y responsables en la construcción y conservación de la ciudad.</p>

Norma	Incorpora / Modifica
<p>Entidad: ICONTEC</p> <p>Clasificación: Norma Técnica</p> <p>Título: NTC 6421 Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico</p> <p>Fecha: 14 de julio de 2021</p> <p>Ámbito: Nacional</p> <p>TAGs: Protección del ambiente. RCD, Reutilización RCD.</p>	<p>Incorpora: introduce pautas y requisitos para el uso de agregados gruesos reciclados en el concreto hidráulico, tanto en aplicaciones estructurales como no estructurales. Esta norma aporta directrices claras para su incorporación en proyectos de construcción, promoviendo la sostenibilidad en la industria.</p> <p>Modifica: modifica las categorías y requisitos específicos para los agregados gruesos reciclados en el concreto hidráulico. Esta norma también delimita su alcance, excluyendo los agregados finos reciclados, y brinda una visión más precisa y detallada sobre la incorporación de materiales reciclados en la construcción de concreto hidráulico.</p>
<p>Entidad: ICONTEC</p> <p>Clasificación: Norma Técnica</p> <p>Título: NTC 6422 Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados</p> <p>Fecha: 14 de julio de 2021</p> <p>Ámbito: Nacional</p>	<p>Incorpora: un método para examinar los agregados gruesos reciclados con el propósito de identificar y estimar las proporciones relativas de sus componentes. Este método de ensayo es utilizado para la verificación de las especificaciones de calidad de los agregados reciclados en términos de sus componentes. La norma describe cómo realizar el ensayo y establece los procedimientos a seguir para su aplicación. Además, proporciona información sobre la seguridad y responsabilidades asociadas con su uso.</p>

Nota. La tabla detalla la normativa técnica relevante para la incorporación de materiales reciclados, incluyendo RCD y material bituminoso reciclado (MBR), en proyectos de construcción y obras de infraestructura vial y espacio público en Colombia y Bogotá. Se especifica la entidad emisora, el nombre de la norma, la fecha de expedición y su alcance principal en términos de lo que incorpora o modifica. Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión documental de normativa técnica vigente.

Otra norma relevante es la Norma Técnica IDU de 2019, la cual proporciona directrices técnicas para la interpretación y aplicación de especificaciones en proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá. Esta norma incluye criterios específicos para la incorporación de agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición (RCD) en capas de base y subbase utilizadas en vías, andenes y ciclorrutas. Su propósito es fomentar prácticas sostenibles en el desarrollo de infraestructura urbana en la ciudad (Instituto de Desarrollo Urbano, 2019).

Asimismo, la Norma Técnica Colombiana NTC 6421, emitida por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2021a), establece requisitos para el uso de agregados gruesos reciclados en la producción de concreto hidráulico, tanto para usos estructurales como no estructurales. Esta norma apoya la sostenibilidad del sector al viabilizar el uso de materiales reciclados, disminuyendo la extracción de recursos naturales.

Por último, la Norma Técnica Colombiana NTC 6422, también expedida por ICONTEC (ICONTEC, 2021b), define el método de ensayo para examinar agregados gruesos reciclados, con el fin de identificar y estimar la proporción relativa de sus componentes. Este procedimiento permite verificar la calidad de dichos agregados y asegurar su idoneidad para cumplir con las especificaciones técnicas requeridas, contribuyendo así a una gestión más responsable y sostenible de los materiales en el sector de la construcción.

Marco Teórico

El marco teórico de esta investigación se adentra en varios conceptos fundamentales relacionados con la gestión de RCD y la promoción de la economía circular en la industria de la construcción. El eje central de esta exploración es la economía circular, un enfoque que busca cerrar los ciclos de materiales y recursos para minimizar el impacto ambiental y reducir la generación de residuos de la construcción. En este contexto, se analiza el concepto de RCD, el ciclo de vida de los materiales de construcción y su clasificación, destacando la importancia de una gestión sostenible en el proceso constructivo y la evaluación de su impacto ambiental. Además, se abordan las buenas prácticas en la industria de la construcción respecto con el uso de RCD y se examinan los materiales de obra utilizados en la construcción vertical. Este marco teórico se apoya en regulaciones gubernamentales que buscan mejorar la gestión de RCD y fomentar la economía circular en Colombia.

Economía Circular.

La economía circular representa un cambio fundamental en la forma en que consideramos y gestionamos los recursos. Como menciona Ellen MacArthur Foundation, "Es un sistema en el que los materiales nunca se convierten en desechos y la naturaleza se regenera" (MacArthur Foundation, E., 2020, p. 1). En una economía circular, los productos y materiales se mantienen en circulación mediante procesos como el mantenimiento, la reutilización, la remodelación, la remanufactura, el reciclaje y el compostaje. Este enfoque aborda el cambio climático y otros desafíos globales, como la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación, al desvincular la actividad económica del consumo de recursos finitos.

La economía circular se basa en la simbiosis industrial, donde los subproductos de una industria se convierten en recursos valiosos para otras, reduciendo residuos. Con el aumento de la prominencia de la economía circular, la ecoeficiencia ha tomado un rol central. Definida por el Business Council for Sustainable Development, la ecoeficiencia busca entregar bienes y servicios competitivos que mejoren

la calidad de vida, mientras se reducen los impactos ecológicos y la intensidad de recursos a lo largo de su ciclo de vida (European Environment Agency, 1999). La Comisión Europea y la OCDE destacan la necesidad de un nuevo sistema para el desarrollo económico que mejore la eficiencia de los recursos naturales, invierta la relación negativa entre condiciones ambientales y calidad de vida, y promueva la sostenibilidad integrando normas ambientales con las de comercio e inversión.

La implementación de la economía circular a nivel mundial ha llevado a la creación de políticas y regulaciones específicas. Un ejemplo es la estrategia europea de economía circular, que busca cerrar el ciclo de vida de los productos, desde la producción y consumo hasta la gestión de residuos y la generación de materias primas secundarias (Comisión Europea, 2020). Esta estrategia está respaldada por una serie de directivas, regulaciones y programas de financiamiento. A medida que avanzamos hacia una economía circular, es fundamental que se integren las dimensiones técnicas, políticas y empresariales para enfrentar los desafíos globales, desde la gestión adecuada de los residuos hasta la reducción de emisiones de carbono. La economía circular ha logrado un enfoque esencial para la gestión responsable de los recursos y la sostenibilidad a nivel mundial.

Colombia también está adoptando un enfoque significativo hacia la economía circular. En 2019, el MADS lanzó su Estrategia Nacional de Economía Circular, con el objetivo de transformar el modelo económico del país hacia uno más sostenible y eficiente en el uso de recursos. La estrategia colombiana se enfoca en cinco áreas clave, que son: el fortalecimiento de la gestión de residuos, la promoción de la producción más limpia y el ecodiseño, la generación de mercados verdes, la innovación y el impulso de la educación y la sensibilización en torno a la economía circular (Gobierno de la República de Colombia, Presidencia de la República, MADS, & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2019)

Concepto de RCD

Los RCD se generan en proyectos de construcción, renovación y demolición de edificaciones e infraestructuras, realizados por empresas de construcción, contratistas, arquitectos e ingenieros. Estos residuos encierran una amplia tipología de materiales como madera, cemento, ladrillos, vidrio, plástico y metal, y pueden provenir de diversas fuentes como edificios, carreteras, puentes y aeropuertos. Los RCD se originan en diferentes etapas del proyecto, desde la excavación hasta la demolición, y varían en cantidad y composición según el tipo de obra. La gestión responsable de estos residuos es crucial para minimizar su impacto ambiental y optimizar el uso de recursos naturales, diferenciándolos según su calidad y potencial de aprovechamiento (Sanchez et al., 2023).

La importancia de definir los RCD radica en su gestión eficiente y sostenible, ya que su volumen y composición pueden afectar significativamente el medio ambiente y la salud pública si no se manejan adecuadamente. La gestión responsable de los RCD implica la minimización en su generación, la reutilización de materiales cuando sea posible y el reciclaje de componentes para reducir las cantidades de RCD que terminan en los vertederos.

Clasificación de los RCD

La clasificación de los RCD es esencial para su correcta gestión y procesamiento. Los RCD se pueden categorizar en dos grupos principales: RCD no aprovechables y RCD aprovechables (Sanchez et al., 2023). A su vez, los RCD no peligrosos se subdividen en diferentes categorías según su composición, lo que facilita su separación y manejo. En la tabla 9, se presenta una clasificación común de los RCD.

Tabla 9

Normativa técnica específica para la incorporación de materiales reciclados y RCD en la construcción en Colombia y Bogotá, 2006-2021.

Categoría	Ejemplos de Materiales
Hormigón y Mampostería	Bloques de hormigón, ladrillos, azulejos, cerámica.
Madera	Tablones, vigas, muebles de madera.
Metales	Perfiles de acero, tuberías metálicas, chapas.
Plásticos	Tuberías de PVC, aislantes, materiales de embalaje.
Vidrio	Vidrio plano, vidrio de ventanas.
Suelo y Rocas	Tierra, arena, piedra, grava.

Nota: La tabla presenta una clasificación común de los RCD según su tipología de material, incluyendo ejemplos representativos para cada categoría. Fuente: Adaptado de Sanchez et al., 2023.

Además de esta clasificación, los RCD pueden contener materiales mixtos que deben ser separados y procesados de manera adecuada para su posterior reutilización o reciclaje:

- **Hormigón y Mampostería:** Esta categoría incluye materiales como bloques de hormigón, ladrillos, azulejos y cerámica, que son comunes en construcciones. Estos materiales pueden ser reciclados o reutilizados en aplicaciones similares.
- **Madera:** Los residuos de madera provienen de tablones, vigas y otros elementos de madera utilizados en la construcción. La madera es un material que se puede reciclar o reutilizar para fabricar muebles, tableros u otros productos de madera.
- **Metales:** Los RCD que contienen metales, como perfiles de acero, tuberías metálicas y chapas, son valiosos para el reciclaje. El reciclaje de metales ayuda a preservar los recursos naturales y a disminuir la demanda de materias primas vírgenes.
- **Plásticos:** Los residuos de plástico pueden estar presentes en forma de tuberías de PVC, aislantes o materiales de embalaje. La reutilización de plásticos contribuye a disminuir la acumulación de estos residuos en los vertederos y a mitigar sus efectos negativos sobre el medio ambiente.

- Vidrio: El vidrio plano y de ventanas es un componente común en las construcciones. Su reciclaje puede contribuir a la producción de vidrio reciclado utilizado en la creación de nuevos productos de vidrio.
- Suelo y Rocas: Los materiales como tierra, arena, piedra y grava, aunque no sean necesariamente residuos, son generados en algunas obras y pueden requerir una gestión adecuada para evitar la degradación de ecosistemas naturales.

Además de esta clasificación, los RCD pueden ser mixtos y contener varios tipos de materiales. La clasificación de los residuos en el lugar donde se generan resulta fundamental para optimizar su gestión posterior, ya que los materiales separados y libres de contaminantes son más aptos para su reciclaje o reutilización.

Ciclo de Vida de los Materiales de Construcción

El enfoque del ciclo de vida de los materiales de construcción implica una evaluación detallada de las etapas clave desde la extracción de materias primas hasta la disposición final de los materiales (König et al., 2010). Esta perspectiva resulta clave para analizar tanto el impacto ambiental como el costo económico de los materiales empleados en la construcción. A lo largo de su ciclo de vida, es posible identificar diversas fases críticas que influyen en dichos aspectos:

1. Extracción de Materias Primas: Esta etapa involucra la obtención de recursos naturales necesarios para la fabricación de materiales, como minerales, madera, metales y energía. La extracción de materias primas puede generar un impacto significativo en el medio ambiente, incluyendo la degradación de paisajes, la disminución de biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero.
2. Fabricación de Materiales: En esta fase, los materiales de construcción son producidos en instalaciones industriales. La fabricación puede incluir procesos como la cocción de

ladrillos, la fundición de metales o la producción de concreto. Se evalúa el consumo de energía, así como de emisiones de contaminantes y el uso de recursos naturales durante el proceso de fabricación.

3. Transporte de Materiales: Los materiales fabricados se transportan desde las instalaciones de producción hasta el lugar de construcción. El transporte puede generar emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir a la huella de carbono del proyecto. Es fundamental seleccionar rutas de transporte eficientes para minimizar estos impactos.
4. Construcción: Durante esta etapa, los materiales se utilizan para erigir edificios u obras de infraestructura. El proceso de construcción puede generar residuos y consumir recursos adicionales. La elección de métodos constructivos sostenibles y la gestión eficiente de residuos son aspectos clave en esta fase.
5. Uso y Mantenimiento: Durante la vida útil del edificio u obra, es necesario considerar los impactos asociados con el consumo de energía, el mantenimiento y los posibles daños estructurales. Estrategias como la eficiencia energética y el mantenimiento preventivo pueden reducir estos impactos.
6. Fin de Vida Útil y Disposición: Al final de su vida útil, los materiales y componentes se convierten en RCD. La forma en que se gestionen estos residuos es crucial. El reciclaje, la reutilización y la disposición adecuada son prácticas que pueden minimizar el impacto ambiental.

Para una mejor comprensión, se presenta a continuación la tabla 10 que resume las etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción, los principales impactos ambientales asociados y las estrategias para la mitigación de dichos impactos:

Tabla 10

Ciclo de vida de los materiales de uso en la industria de la construcción: Principales impactos ambientales y estrategias de mitigación.

Etapas del Ciclo de Vida	Principales Impactos Ambientales	Estrategias de Mitigación
Extracción de Materias Primas	<ul style="list-style-type: none"> - Degradación de paisajes - Emisión de gases de efecto invernadero 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de materias primas recicladas o renovables - Mejora de técnicas de extracción sostenible
Fabricación de Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía - Emisiones de contaminantes - Uso de recursos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia energética en la producción - Tecnologías más limpias y sostenibles
Transporte de Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Emisiones de gases de efecto invernadero 	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de rutas de transporte eficientes - Uso de vehículos más limpios
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de residuos - Consumo de recursos adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> - Planificación y gestión de residuos - Métodos constructivos sostenibles
Uso y Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía - Necesidades de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia energética en el uso - Mantenimiento preventivo
Fin de Vida Útil y Disposición	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de RCD - Impacto en vertederos 	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclaje y reutilización de RCD - Disposición adecuada

Nota: La tabla resume las diferentes etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción, detallando los principales impactos ambientales asociados a cada fase y las estrategias clave para mitigar dichos impactos. Fuente: Elaboración propia a partir de König, et al. 2010, y la información del presente estudio.

Este análisis del ciclo de vida proporciona una visión integral de cómo los materiales de construcción impactan el medio ambiente en todas las etapas del proceso. La adopción de estrategias sostenibles y la consideración de estas etapas son esenciales para promover la construcción sostenible y la gestión responsable de los materiales utilizados en la industria de la construcción

Sostenibilidad en el Proceso Constructivo

En la construcción sostenible, es esencial evaluar el impacto ambiental desde las primeras fases de planeación y diseño del proyecto. Para gestionar eficientemente este impacto en los materiales de construcción, es necesario establecer criterios de selección que consideren tanto la producción de los materiales como su ciclo de vida completo. Esto abarca aspectos Según Icontec (2007) “características y

comportamientos de resistencia, durabilidad, inercia o conductividad térmica, acústica y óptica, así como requerimientos de mantenimiento”. (como se cita en, MADS, 2022, p 38).

Los criterios de selección de materiales se pueden agrupar en tres objetivos clave para la sostenibilidad ambiental en la construcción:

1. **Racionalizar el Uso de Recursos Naturales (Insumos):** Esto implica el uso de materiales regionales y la aplicación de propiedades físicas de los materiales para mejorar las condiciones de temperatura, iluminación, acústica y reducir el consumo energético. Además, se promueve la modulación de elementos para reducir los cortes de material y minimizar el desperdicio. La selección de materiales debe considerar aquellos tradicionales y culturalmente arraigados que sean producidos de manera sostenible.
2. **Sustituir Materiales y Procesos de Alto Impacto:** Se busca reemplazar progresivamente aquellos materiales que generan impactos ambientales significativos durante la construcción. Se prioriza la utilización de elementos y materiales provenientes del reciclaje o recuperación, que cumplan con los requisitos de calidad necesarios y la normativa vigente.
3. **Manejo del Impacto Ambiental:** En esta dimensión, se busca minimizar el impacto generado por los procesos y materiales de construcción. Esto se logra utilizando materiales con menor impacto ambiental, gestionando adecuadamente los residuos, asegurando procesos ordenados y sostenibles, reduciendo la disposición final de residuos y disponiendo de manera adecuada los residuos no aprovechables (MADS, 2022).

La elección de materiales debe contemplar no solo su estética, desempeño y disponibilidad en el entorno local, sino también los impactos ambientales asociados a todo su ciclo de vida, abarcando desde la producción y el uso hasta su disposición final

Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) desempeña un papel fundamental en la gestión de proyectos de construcción sostenibles. Según Bribián et al., (2011), La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es esencial para la gestión de proyectos de construcción sostenibles. Este proceso exhaustivo analiza diversas variables para identificar y comparar los impactos ambientales generado por los materiales utilizados en la industria de la construcción, tanto convencionales como ecológicos. Un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) revela que el impacto de los materiales de construcción puede reducirse significativamente al fomentar el uso de técnicas avanzadas y la eco innovación en las plantas de producción. Esto incluye la sustitución de recursos naturales finitos por residuos de otros procesos productivos, preferiblemente disponibles localmente. La EIA permite evaluar la reducción porcentual de impactos ambientales en todas las etapas del ciclo, desde la extracción y producción hasta el transporte, uso y disposición final. Promover el uso de Declaraciones Ambientales de Producto y la competencia entre fabricantes para desarrollar productos más ecoeficientes es crucial para minimizar el consumo energético y los impactos ambientales asociados a la construcción.

Acero.

El acero tradicional se obtiene mediante la fundición del mineral de hierro, previamente extraído de minas a cielo abierto, en hornos especializados, genera un impacto ambiental significativo. Según un estudio realizado en Europa por Pardo y Moya (2013), este proceso involucra altas temperaturas y el uso de carbón como combustible. Esto resulta en emisiones sustanciales de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero. Además, la producción de acero convencional

implica la extracción de grandes cantidades de minerales y la generación de residuos, lo que afecta gravemente al medio ambiente en cada etapa del ciclo de vida del acero.

Cemento.

El cemento, ampliamente utilizado en la construcción, tiene un impacto ambiental significativo en términos de emisiones de CO₂. Según la publicación de Andrew (2019), la producción de cemento es responsable de aproximadamente el 8% de todas las emisiones globales de CO₂. Esto se debe a la alta energía necesaria para calentar el clinker (roca caliza calcinada) a temperaturas superiores a 1.600 °C. La fabricación de cemento Portland, la variedad más común, es particularmente intensiva en carbono y tiene graves consecuencias ambientales en cada etapa de su ciclo de vida. El uso de cementos alternativos de bajo carbono es una estrategia clave para reducir este impacto.

Materiales Pétreos.

Los materiales pétreos usados en la industria de la construcción, como parte esencial de las etapas de mejoramiento de la capacidad portante del suelo y la cimentación, generan un impacto ambiental significativo. Según Rebello et al. (2019) la extracción de estos materiales a menudo se realiza con métodos agresivos, lo que produce un alto flujo de material particulado y puede causar daños a los ecosistemas locales. Además, el transporte de grandes volúmenes de material pétreo a los sitios de construcción aumenta aún más su impacto ambiental. Los esfuerzos para mejorar las prácticas de extracción y transporte son fundamentales para reducir estos impactos.

Concreto.

El concreto, un material ampliamente empleado en la construcción, tiene un impacto ambiental relacionado principalmente con la producción de cemento. La producción de cemento Portland, un componente crucial del concreto, es una de las principales fuentes de emisiones de CO₂ a nivel mundial

como mencionado anteriormente. A pesar de las ventajas del reciclaje de concreto, la disminución de su huella de carbono es limitada dado a las emisiones asociadas con la producción de cemento. La investigación en tecnologías de producción de cemento más sostenibles y la implementación de prácticas de reciclaje de concreto son estrategias clave para mitigar estos impactos.

Ladrillo.

El proceso de fabricación de ladrillo implica la extracción de arcillas y su cocción a altas temperaturas. Aunque los ladrillos tienen una vida útil prolongada, al final de su vida útil, a menudo se disponen en escombreras sin considerar su potencial de reciclaje como agregado fino para morteros de construcción o materia prima con uso en la fabricación de cementos verdes o también llamados de bajo carbono. La promoción del reciclaje de ladrillos y su reutilización en nuevas construcciones es una estrategia importante para reducir su impacto ambiental.

Cerámicos.

La producción de cerámicos, como los revestimientos y azulejos, requiere la extracción de arcillas y minerales. Según un análisis de Benveniste et al. (2011), estos materiales tienen una larga vida útil en la construcción, pero al final de esta, tienden a desecharse en rellenos sanitarios o escombreras, desaprovechando su potencial de reciclaje. La concienciación sobre la reutilización de cerámicos en proyectos de construcción y la investigación en tecnologías de reciclaje son fundamentales para reducir el impacto ambiental de estos materiales.

Drywall.

Aunque el drywall ofrece ventajas en términos de velocidad de construcción y costos, su vida útil es generalmente más corta en comparación con sistemas de mampostería tradicionales, lo que contribuye a su impacto ambiental. La promoción de prácticas de construcción sostenible, incluyendo el

uso de materiales de drywall más duraderos y el reciclaje de paneles en desuso, puede mitigar estos impactos.

Pintura.

Las pinturas, cuya composición varía según su uso, presentan un impacto ambiental en función de los materiales empleados. Según un estudio de Papasavva et al. (2002), los pigmentos y disolventes utilizados, que provienen en su mayoría de fuentes mineras y vegetales, pueden tener efectos negativos en la calidad del aire y el agua en las etapas de fabricación y disposición. La investigación continua sobre formulaciones de pintura más ecológicas y prácticas de gestión de residuos son esenciales para minimizar estos impactos.

Asfalto.

El asfalto, que se produce a partir del bitumen derivado del petróleo, se utiliza comúnmente para pavimentar carreteras. Según un estudio exhaustivo conducido por Wang et al. (2018), el impacto ambiental del asfalto radica en su dependencia de recursos fósiles y en la generación de residuos al final de su vida útil. Sin embargo, el asfalto reciclado ofrece una oportunidad de reducir estos impactos al reutilizarlo en la construcción de nuevas carreteras. La promoción de tecnologías de asfalto reciclado y prácticas sostenibles de pavimentación son clave para mitigar estos impactos.

La gestión adecuada de la EIA y la adopción de prácticas de construcción sostenible son esenciales para disminuir el impacto ambiental de los materiales de construcción y avanzar hacia un entorno construido más sostenible. Los esfuerzos continuos en investigación y desarrollo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, junto con la promoción de la reutilización y el reciclaje de materiales, son pasos cruciales en esta dirección.

Prácticas Internacionales en Gestión de RCD

Diversas naciones, entre ellas Italia, Francia, Bélgica, Países Bajos, Estados Unidos y Brasil, han avanzado significativamente en la implementación de estrategias sostenibles dentro del sector de la construcción, especialmente en lo que respecta a la reutilización y valorización de los RCD para la elaboración de nuevos insumos y materiales (DNP, 2022). En este contexto, la tabla 11 presenta un resumen de las experiencias exitosas que estos países han adoptado, destacando las acciones efectivas llevadas a cabo durante las etapas de planificación y ejecución de obras, enmarcadas dentro de esquemas de gestión integral de RCD y orientadas a incentivar una economía circular en la industria de la construcción.

Tabla 11

Buenas prácticas en el manejo de RCD en proyectos constructivos.

Fase de diseño de proyectos constructivos	Fase de ejecución en proyectos constructivos
Proporcionar un espacio en el lugar de trabajo para la correcta recolección de los RCD generados, lo que permite garantizar las características de los RCD hasta el momento de su uso, evitando su contaminación por residuos peligrosos	Planificación del número de contenedores y tamaño requerido en cada actividad. Se recomienda el uso de herramientas (bases de datos) que permitan estimar la cantidad de residuos que se generarán durante la construcción.
Detectar aquellas unidades de construcción que puedan soportar materiales reutilizables desde la propia obra.	Registrar las cantidades y características de los residuos que salen de la obra para obtener datos de generación propia de RCD, según su propia forma de trabajar
Utilizar sistemas prefabricados que evitan la generación de residuos mediante el corte y transformación de elementos en obra	Realizar controles periódicos sobre el uso de contenedores de declaraciones de peso RCD para evitar que diferentes categorías de RCD se coloquen en el contenedor equivocado
Uso de materiales con un alto contenido de material reciclado	Realización de la segregación in situ de cada categoría de residuos. La segregación de residuos da lugar a residuos de mayor pureza, con mayor posibilidad de su valorización
Diseño del edificio basado en el montaje en seco de materiales para facilitar la deconstrucción y segregación al final de su vida útil (diseño para deconstrucción).	Uso de trituradoras o compactadoras in situ para RCD. Seguir las instrucciones del fabricante en la recogida de material. Las malas prácticas en el manejo de materiales en las obras están provocando una pérdida de aproximadamente el 15% de las materias primas, aumentando la cantidad de residuos de construcción a gestionar

Nota: La tabla resume las buenas prácticas para prevenir y gestionar los RCD en proyectos constructivos, diferenciando las acciones a implementar en la fase de diseño y en la fase de ejecución. Tomado de "Analysis of Best Practices to Prevent and Manage the Waste Generated in Building Rehabilitation Works", 2019.

Prácticas a Nivel Nacional Exitosas en la Gestión de RCD

Sin duda, a nivel nacional se ha avanzado en el impulso de la economía sostenible, donde se requiere una articulación entre los diferentes actores del sistema productivo para aprovechar el potencial de la economía circular. A continuación, se presentan algunos casos de éxito en el aprovechamiento de RCD:

Empresas se dedican a la producción de materiales para la industria de la construcción, que resultan ser amigables con el ambiente. Estas empresas cuentan con centros de aprovechamiento, transformación y generación de productos que aplican procesos de investigación y desarrollo. Esto les permite crear materiales de construcción con alto valor agregado a partir de la valorización y reciclaje de RCD aprovechables, cumpliendo con las normas técnicas vigentes.

Entre los elementos y materiales alternativos de construcción producidos en Colombia se encuentran diferentes tipos de agregados, base y sub bases estabilizadas, elementos prefabricados en concreto, ladrillos y bloques, adoquines y losetas, elementos de maderas plásticas o sintéticas, parques infantiles, puentes, casetas, pérgolas, tapas y rejillas para sumideros, pisos exteriores, materiales para acabados arquitectónicos y más (MADS, 2022).

En Bogotá, la reutilización de RCD ha adquirido un papel relevante dentro del desarrollo de proyectos constructivos, convirtiéndose en un requisito fundamental para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente. De acuerdo con las disposiciones locales, es obligatorio que las obras incorporen, desde la fase de estudios y diseños, las condiciones técnicas que permitan emplear materiales reciclados provenientes de plantas de tratamiento y aprovechamiento de RCD debidamente autorizadas, o bien reutilizar los residuos generados durante las fases constructiva y de desmonte, asegurando un porcentaje mínimo de uso que no sea inferior al estipulado por la regulación (MADS, 2022).

Esta reutilización puede llevarse a cabo mediante dos enfoques principales. El primero consiste en el uso de insumos que contienen materiales reciclados, siempre y cuando el proveedor suministre un certificado que acredite el porcentaje de contenido reciclado incorporado. El segundo método implica la reutilización directa de materiales dentro del mismo proyecto, para lo cual se exige un registro detallado que incluya el tipo de material empleado, la descripción técnica del procedimiento de reutilización, el volumen total reaprovechado, la duración del proceso, entre otros aspectos técnicos y operativos (MADS, 2022).

Materiales de Obra en la Construcción Vertical

La selección de los materiales en proyectos de construcción vertical es una etapa crítica que influye de manera significativa en la calidad, sostenibilidad y durabilidad de las estructuras. En este contexto, los materiales de construcción según Briceño (2021) se definen como "elementos o cuerpos que integran las obras civiles de construcción, cualquiera que sea su naturaleza, composición y forma, siempre y cuando cumplan con los requisitos mínimos para su propósito" (como se cita en MADS, 2022). Dicha categorización incluye una amplia variedad de materiales con distintos orígenes y características que son fundamentales para la industria de la construcción.

Según su origen, estos materiales pueden dividirse en diversas categorías. Por ejemplo, se encuentran los materiales orgánicos, que engloban productos vegetales como la madera, el corcho, el bambú y otros (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2013). Asimismo, los materiales pétreos, obtenidos tanto de fuentes naturales, como rocas, como de origen artificial, como los cerámicos y vidrios, desempeñan un papel esencial en la construcción, siendo utilizados en bloques, losetas y fragmentos de diversos tamaños. Los materiales aglutinantes, como la cal, el yeso y el cemento, son cruciales en la unión de otros materiales, permitiendo la formación de masas plásticas que se moldean

para obtener productos finales. Estos aglutinantes pueden ser aéreos, hidráulicos e hidrocarbonatados y son de vital importancia en la industria de la construcción.

Además, se utilizan materiales metálicos, como el hierro, el acero, el cobre, el bronce y el aluminio, para la fabricación de estructuras, tuberías y elementos de fijación. Los materiales sintéticos, derivados principalmente del petróleo, como los plásticos y polímeros, ofrecen estabilidad e inalterabilidad, lo que los convierte en componentes clave en la construcción de elementos como aglomerantes, impermeabilizantes, aislantes, pinturas y selladores de diversas categorías (Keobra, 2020). Por último, los materiales compuestos, que resultan de la combinación de dos o más materiales, se emplean en productos como el hormigón, concreto pretensado, piedra artificial y asfalto, brindando propiedades mejoradas en términos de resistencia y durabilidad (Keobra, 2020). Las cantidades estimadas para cada material en la construcción vertical son las estimadas bajo el sistema - Industrializado – en la tabla 12.

Tabla 12

Porcentaje de materiales de construcción según sistema constructivo (Kg/m²).

Materiales más usados en la construcción por sistemas constructivos más frecuentes			
Materiales	Sistemas constructivos tradicionales		
	Industrializado	Mampostería Estructural	Mampostería Confinada
Agregados triturados	42,70%	29,30%	26,00%
Arena de río	35,10%	25,30%	30,50%
Cemento gris	12,40%	10,10%	12,70%
Roca tuerta	3,70%	11,00%	15,50%
Cerámica cocida	3,20%	21,90%	14,90%
Acero	2,10%	1,50%	0,40%
Madera	0,40%	0,26%	0,00%
Tejas en fibrocemento	0,25%	0,43%	0,00%
PVC	0,19%	0,15%	0,10%
Cobre	0,03%	0,01%	0,00%
Cemento blanco	0,03%	0,03%	0,00%

Nota: La tabla detalla la distribución porcentual en peso (Kg/m²) de los materiales más utilizados en diferentes sistemas constructivos tradicionales: Industrializado, Mampostería Estructural y Mampostería Confinada. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

La elección de materiales en la construcción vertical varía en función de los sistemas constructivos empleados. Entre los materiales más utilizados en sistemas constructivos tradicionales, que incluyen sistemas industrializados, mampostería estructural y mampostería confinada, se destacan los agregados triturados, la arena de río, el cemento gris, la cerámica cocida, el acero y la madera (MADS, 2022). Estos materiales se seleccionan en diferentes proporciones según el sistema constructivo con el fin de cumplir con requisitos específicos de resistencia, durabilidad y eficiencia energética. La elección precisa de estos materiales es clave con el fin de garantizar la calidad, seguridad y sostenibilidad de los edificios y estructuras.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las distintas aplicaciones de los residuos de RCD en Bogotá, con el fin de determinar aquellas que permitan el cumplimiento de las normas ambientales establecidas y fomenten una gestión sostenible de los RCD en la industria de la construcción vertical.

Objetivos Específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica y análisis documental sobre las normativas y regulaciones ambientales que rigen el uso de los RCD.
2. Identificar el nivel de cumplimiento de la normativa y regulación vigente sobre el aprovechamiento de los RCD en Bogotá.
3. Identificar las diferentes aplicaciones de los RCD en la construcción vertical a partir del análisis de proyectos previos y casos de estudio.
4. Analizar las distintas aplicaciones de los RCD en la construcción vertical en los aspectos relacionados a reducción del impacto ambiental y disponibilidad de proveedores.

Metodología

Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico adoptado para esta investigación fue de naturaleza exploratoria, combinado con un análisis cualitativo de la información recopilada. Según Hernández & Mendoza (2020), el tipo de investigación exploratoria proporciona una descripción general y desarrolla una comprensión primaria del fenómeno en cuestión. Al adoptar un enfoque abierto y no estructurado, el investigador pudo explorar y descubrir nuevos hallazgos o perspectivas. En este contexto, se exploraron las diversas aplicaciones de los RCD que podrían ser implementadas en la construcción en Bogotá, en línea con los objetivos específicos planteados.

Instrumentos de Recolección de Datos

La recopilación de datos se llevó a cabo a partir de una variedad de fuentes documentales, con el fin de obtener una visión completa y precisa de la situación. En primer lugar, se accedió a bases de datos científicas que albergan investigaciones y estudios relacionados con el uso de RCD en la construcción. De acuerdo con Freire (2020), el acceso a estas bases proporciona información actualizada y respaldada por investigaciones previas, lo que es esencial para una investigación de calidad. Además, se realizó una revisión exhaustiva de documentos gubernamentales y legislación relacionada con el manejo de los RCD y el cumplimiento de la normatividad ambiental en Bogotá

Adicionalmente, se llevó a cabo una reunión exploratoria no estructurada con el gerente de la planta de agregados GRECO, con el propósito de obtener información cualitativa sobre las prácticas de aprovechamiento de RCD, los procesos industriales implementados en la planta y las barreras enfrentadas para ampliar su aplicación en la construcción vertical. Dado su carácter exploratorio, esta conversación no siguió un formato rígido ni fue grabada, sino que se registraron observaciones clave por

escrito, que sirvieron como insumo complementario para el análisis cualitativo del ecosistema de actores involucrados.

En paralelo, se recopilaron datos de las páginas comerciales de proveedores de materiales de construcción que incorporan RCD en sus productos. Esta información se complementó con fichas técnicas de los materiales ofrecidos por estos proveedores. La recopilación de fichas técnicas fue esencial para un análisis detallado de las características de los materiales y su idoneidad para aplicaciones específicas en la construcción vertical.

Procedimientos de Análisis de Datos

El análisis de datos se elaboró de manera sistemática y rigurosa, siguiendo un enfoque que integró diversas etapas para asegurar la comprensión exhaustiva del fenómeno estudiado. Inicialmente, se procedió con el análisis del cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, examinando los datos históricos de aprovechamiento de RCD en Bogotá y contrastándolos con las metas establecidas en la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual establece metas obligatorias de aprovechamiento para los grandes generadores (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021, Resolución 1257, Art. 9). Esta fase permitió identificar las tendencias de cumplimiento, así como los matices relacionados con las fluctuaciones en el volumen de RCD generado y su impacto en las tasas de aprovechamiento.

Posteriormente, se llevó a cabo una evaluación detallada de las aplicaciones de los RCD en la construcción vertical, desagregada por tipo de material (acero, cemento, materiales pétreos, concreto, ladrillo, cerámicos, drywall, pintura y asfalto). Para cada material, se analizó su viabilidad técnica y ambiental, incluyendo la identificación de métodos de incorporación de RCD, la cuantificación de la reducción del impacto ambiental al comparar alternativas con materiales convencionales, y el cálculo de

los porcentajes ponderados de incorporación de RCD y de reducción de impacto ambiental para el sistema constructivo industrializado.

En paralelo, se identificaron y categorizaron los proveedores de materiales de construcción en Bogotá, distinguiendo claramente entre aquellos que incorporan RCD en sus productos y los que ofrecen otras soluciones sostenibles no basadas en RCD. Esta labor permitió mapear la oferta actual del mercado.

Finalmente, los resultados de este análisis multifacético fueron sintetizados y presentados en forma de un Mapa de Ecosistema de Proveedores, una herramienta visual intuitiva diseñada para que los profesionales de la construcción y constructores en Bogotá puedan consultar de manera sencilla las alternativas sostenibles disponibles y promover la economía circular en el sector.

Resultados

Cumplimiento de Normativas Ambientales

A continuación, se analizará la legislación nacional y local vigente relacionada con la gestión de RCD en Bogotá, así como el grado de cumplimiento de las metas y límites establecidos en estas normativas.

Análisis de Normativas Vigentes

Resolución 1257 de 2021 MADS

La Resolución 1257 de 2021 es un documento significativo que busca fortalecer la gestión de los RCD en Colombia. A través de sus disposiciones, esta normativa establece un marco legal más sólido para el manejo de los RCD, lo que es crucial para reducir los impactos ambientales y promover la sostenibilidad en la industria de la construcción.

Una de las modificaciones clave introducidas en esta resolución es la definición de objetivos de aprovechamiento de los RCD para los grandes tenedores y generadores. Esta medida fomenta la responsabilidad ambiental de las empresas y los proyectos de construcción al requerir que un porcentaje en peso de los RCD generados se aproveche. Al vincular las metas al tamaño del municipio, se adaptan a la realidad local y se promueve la gestión integral de los RCD en todo el país.

Otra disposición importante se relaciona con las obligaciones de los receptores de RCD. Los receptores, que utilizan estos materiales como materias primas en procesos de simbiosis industrial, deben proporcionar información detallada y permisos de los proyectos en los que se utilizarán los RCD. Esto garantiza la trazabilidad y la transparencia en el proceso de reutilización de estos residuos.

Además, la resolución introduce cambios en los anexos y establece que los formatos se completen a través del Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC). Esto simplifica la presentación de informes y hace que el proceso sea más eficiente y estandarizado.

Finalmente, la resolución también pone de manifiesto la importancia de la educación y la sensibilización alrededor de la gestión de RCD. Los departamentos, municipios y distritos tienen la responsabilidad de promover campañas de concienciación y pueden ofrecer incentivos para el uso de materiales reciclados en proyectos de infraestructura pública. Esto es esencial para promover una cultura de sostenibilidad en la construcción.

Decreto 507 de 2023 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

El análisis del documento revela una regulación minuciosa y completa destinada a la gestión de los RCD en Bogotá, Colombia. El Decreto 507 de 2023, expedido por la Alcaldía Mayor de Bogotá el 28 de noviembre de 2023, adopta un nuevo sistema y líneas claras para la gestión integral de RCD en Bogotá D.C., armonizando la normativa distrital con los estándares nacionales, particularmente con la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Decreto 507; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021, Resolución 1257). El Decreto 507 de 2023 busca fortalecer el concepto de economía circular en el manejo de los RCD, estableciendo metas de circularidad y fortaleciendo los mecanismos de control en toda la cadena de gestión.

En particular, este decreto establece deberes específicos para los diversos agentes involucrados en el ciclo de vida de los RCD. Estos compromisos incluyen la necesidad de registrarse ante la SDA, la obligación de entregar los RCD en ubicaciones autorizadas, la creación y uso de un Plan de Gestión de RCD, y el cumplimiento estricto de las normativas ambientales pertinentes. El decreto diferencia entre generadores pequeños y grandes, y especifica requisitos particulares para cada categoría.

Además de las obligaciones de los generadores, el documento aborda las responsabilidades de otros actores, como los transportadores, los gestores de RCD y los recuperadores específicos. Hace hincapié en la importancia de la correcta separación de los RCD y prohíbe tajantemente su mezcla con otros tipos de residuos. La normativa también establece un marco para la operación de infraestructuras

clave, como los Centros de Tratamiento y Aprovechamiento (CTA) y Centros de Restauración de Espacios Degradados (CRED), y busca articular la gestión de RCD con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), facilitando la viabilidad de los puntos limpios para el aprovechamiento de estos residuos.

Principales Obligaciones para Generadores y Demás Actores

El Decreto 507 de 2023 representa una actualización y consolidación de las responsabilidades que recaen sobre quienes producen y quienes tienen en su poder los RCD en la capital. Estas directrices son cruciales para asegurar un manejo adecuado y sostenible de los RCD. Entre las principales obligaciones que se extienden a lo largo de toda la cadena de valor, destaca el registro ante la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Al inscribirse, los generadores y poseedores quedan sujetos a los mecanismos de supervisión, control y seguimiento establecidos por la autoridad ambiental distrital, lo que facilita la trazabilidad de sus actividades y la aplicación de medidas correctivas en caso de incumplimiento. Es esencial que los actores del sector actúen proactivamente para asegurar la conformidad con lo estipulado en el Decreto 507 de 2023 y evitar sanciones (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Decreto 507).

Una segunda responsabilidad vital es la disposición de los RCD únicamente en sitios debidamente autorizados, una medida indispensable para prevenir el vertido ilegal de desechos. Esto es de suma importancia para la conservación ambiental y la salud pública, ya que la entrega de RCD en lugares adecuados contribuye a la reducción de impactos negativos. Además, se exige que esta entrega se realice a través de transportistas registrados en la SDA o mediante empresas de servicios públicos de aseo, garantizando así un manejo seguro y en línea con las regulaciones ambientales. Para los generadores, especialmente aquellos involucrados en proyectos de construcción, la elaboración e implementación de un Plan de Gestión de RCD en obra es una obligación crítica que debe seguir los lineamientos establecidos por la SDA. Al cumplir con este plan, se aseguran de que se realicen acciones

específicas en el lugar de origen para una gestión responsable, incluyendo la segregación y clasificación adecuada de los residuos, lo que facilita su posterior reciclaje y aprovechamiento.

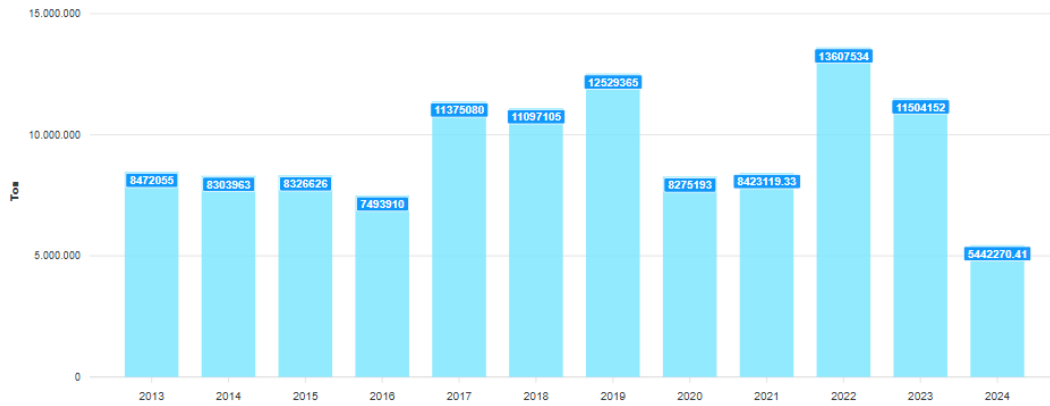
Respecto al transporte, los pequeños generadores están autorizados a movilizar sus propios residuos de construcción y demolición, siempre que utilicen vehículos que cumplan con los requisitos técnicos establecidos por la normativa distrital y por los sitios autorizados para su disposición final. Esta condición es esencial para garantizar un transporte seguro y conforme a las regulaciones ambientales, por lo que los generadores deben verificar la idoneidad de los vehículos y su cumplimiento con los estándares de seguridad vigentes. Finalmente, el Decreto 507 de 2023 tiene como objetivo reforzar los mecanismos de control sobre todos los involucrados en la cadena de gestión de residuos de construcción y demolición, haciendo especial énfasis en los pequeños generadores y transportadores, y promoviendo un esquema de responsabilidad compartida. Esto implica la observancia rigurosa de los lineamientos técnicos y ambientales que rigen el aprovechamiento y correcto tratamiento de los RCD en Bogotá, asegurando prácticas que sean tanto ambientalmente responsables como sostenibles (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Decreto 507).

Grado de Cumplimiento de la Normativa Nacional y Local en Bogotá

En el ámbito del aprovechamiento de los RCD se encuentra información suficiente y precisa, la cual es suministrada a través del OAB de la SDA. Con base en esta información, y según lo ilustrado en la Tabla 13, se observa una tendencia en la gestión de los RCD en el Distrito Capital en los últimos 10 años. Por ejemplo, en 2014, se dispusieron adecuadamente 8.303.963 toneladas de RCD, de las cuales se aprovechó el 15%. Para el año 2021, se destacó un incremento significativo, con un total de 8.423.119 toneladas manejadas y un alto nivel de aprovechamiento del 25%, lo que indicaba un enfoque cada vez más sostenible, aunque en 2022 hubo un ligero retroceso con 23% de aprovechamiento (SDA & OAB, s.f.).

Figura 5

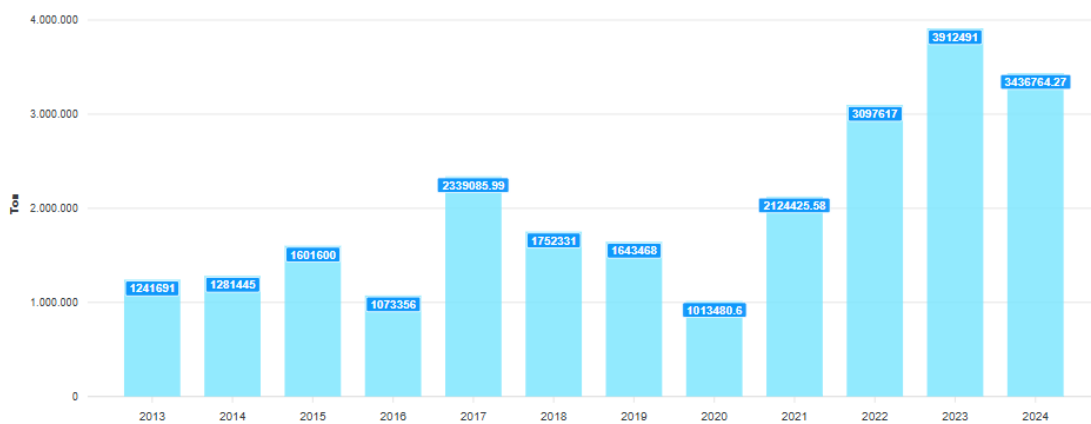
Número de Escombros o Residuos de Construcción y Demolición Controlados y Dispuestos Adecuadamente.



Nota. Cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) que son gestionados y dispuestos de manera adecuada por entidades tanto públicas como privadas. Tomado de Observatorio Ambiental por Alcaldía Mayor de Bogotá, s.f. (<https://oab.ambientebogota.gov.co/numero-de-escombros-o-residuos-de-construccion-y-demolicion-controlados-dispuestos-adecuadamente/>).

Figura 6

Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital.



Nota. Representa los resultados del control, la evaluación y el seguimiento a las obras de infraestructura dentro del perímetro urbano del Distrito Capital, con el propósito de verificar que en los frentes de obra, tanto públicos como privados, se esté llevando a cabo un manejo y aprovechamiento adecuado de los RCD en la ciudad de Bogotá. Tomado de Observatorio Ambiental por Alcaldía Mayor de Bogotá, s.f (<https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-de-construccion-y-demolicion-aprovechados-en-el-districto-capital/>).

Tabla 13

Análisis del aprovechamiento de RCD y el grado de cumplimiento de la normatividad.

Año	Número de Escombros o Residuos de Construcción y Demolición Controlados y Dispuestos Adecuadamente - TRCDCDA (Tonelada)	Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA (Tonelada)	Aprovechamiento (%)	Meta (%)
2013	8.472.055	1.241.691	15%	
2014	8.303.963	1.281.445	15%	
2015	8.326.626	1.601.600	19%	
2016	7.493.910	1.073.356	14%	
2017	11.375.080	2.339.086	21%	
2018	11.097.105	1.752.331	16%	
2019	12.529.365	1.643.468	13%	
2020	6.736.100	1.013.481	15%	
2021	8.423.119	2.124.426	25%	
2022	13.607.534	3.097.617	23%	
2023	11.504.152	3.912.491	34%	25%
2024	5.442.270	3.436.764	63%	30%

Nota. Los datos corresponden al Distrito Capital. TRCDCDA se refiere al Total de RCD Controlados y Dispuestos Adecuadamente. RCDA se refiere a los RCD aprovechados del OAB al año 2025. Las metas de aprovechamiento se refieren a la Resolución 1257 de 2021 para la Categoría Especial a la que pertenece Bogotá, y al Decreto 507 de 2023. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del OAB de la SDA.

Los datos más recientes revelan un significativo avance en los porcentajes de aprovechamiento para 2023 (34%) y 2024 (63%), superando las metas establecidas para esos años. Es importante considerar que este logro se correlaciona con una disminución en el volumen total de RCD generados en dichos años, el cual para el 2024 fue un 45% por debajo de la media de los últimos 11 años. Este panorama sugiere que, si los volúmenes de RCD regresaran a sus niveles históricos, la capacidad de aprovechamiento actual podría requerir un ajuste estratégico para mantener la trayectoria de cumplimiento con las metas del 50% para 2026 y del 75% para 2030. Por lo tanto, la situación actual invita a un análisis continuo para desarrollar e implementar estrategias que aseguren una incorporación robusta y sostenible de los RCD, independientemente de las fluctuaciones en su generación, y que permitan consolidar el progreso observado.

Aplicaciones de los RCD con Uso en la Construcción Vertical

En este apartado, se procederá a identificar las diversas aplicaciones y materiales derivados del aprovechamiento de los RCD. Para llevar a cabo esta identificación, se aplicará un filtro inicial que categorizará los materiales o aplicaciones en función de su capacidad para reducir el impacto ambiental. Posteriormente, se realizará una clasificación de las aplicaciones y materiales que son viables en el contexto de la construcción vertical. Finalmente, se llevará a cabo un análisis de la viabilidad de estas aplicaciones o materiales, considerando tanto la reducción del impacto ambiental como la viabilidad técnica.

Una vez identificadas las diferentes aplicaciones y materiales de RCD, se procederá a clasificar aquellos que son adecuados para la construcción vertical en Bogotá. Esta clasificación se basará en la viabilidad de incorporar estos materiales en proyectos de construcción vertical, teniendo en cuenta los requisitos técnicos y normativos específicos de este tipo de construcción. El análisis detallado de la viabilidad se centrará en dos aspectos fundamentales: la reducción del impacto ambiental y la viabilidad técnica, lo que permitirá una comprensión más completa de las oportunidades que ofrecen los RCD en la construcción vertical, promoviendo prácticas sostenibles en el sector de la construcción en Bogotá.

Identificación de Aplicaciones de los RCD en la Construcción Según su Capacidad Para Reducir el Impacto Ambiental.

Acero.

La identificación de aplicaciones del acero proveniente de los RCD en la construcción revela una considerable capacidad para reducir el impacto ambiental. En la fabricación convencional del acero, se utilizan insumos como el carbón y la roca de hierro, representando un 5% y un 95% del peso total, respectivamente. Estos insumos generan significativos impactos ambientales debido a la extracción y procesamiento de materias primas. Sin embargo, el uso de chatarra como insumo alternativo, que

constituye el 100% del material necesario, presenta una solución más sostenible. Al reciclar acero a partir de chatarra, se disminuyen las emisiones de CO₂ y otros contaminantes, y se reduce el consumo de energía y recursos naturales, contribuyendo así a un ciclo de vida del material más ecológico.

El uso de chatarra en la producción de acero no solo ofrece ventajas ambientales, sino que también puede ser económicamente beneficioso. Según el MADS (2015), la sustitución de insumos convencionales por chatarra en la industria del acero puede llevar a una reducción significativa de los residuos generados y una mayor eficiencia en el uso de recursos (como se cita en MADS, 2022). La tabla 14 del documento menciona que el cambio del 5% de carbón y el 95% de roca de hierro por un 100% de chatarra, demuestra que es posible alcanzar una producción de acero más sostenible y amigable con el medio ambiente. Esta estrategia no solo ayuda a mitigar los impactos negativos asociados con la minería y la quema de carbón, sino que también fomenta una economía circular donde los materiales de desecho se reintegran en nuevos ciclos productivos, maximizando su valor y minimizando el desperdicio.

Tabla 14

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Acero (Porcentaje en Peso, (%p/p)).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Carbón	5%	Chatarra	100%
Roca de hierro	95%		

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de acero, comparando los métodos convencionales (que emplean carbón y roca de hierro) con una alternativa sostenible basada en el uso de chatarra. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Cemento.

La exploración de aplicaciones de los RCD en la fabricación de cemento demuestra su capacidad para mitigar impactos ambientales. Aunque el cemento utilizado en concreto no puede ser reciclado directamente, el concreto proveniente de desechos o demolición puede ser reintegrado en la producción de nuevo cemento en cantidades controladas (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). El

concreto reciclado puede emplearse como insumo alternativo en la fabricación de clínker o como aditivo, al ser triturado junto con yeso y otros componentes durante el proceso de molienda. En el proceso convencional de producción de cemento, los insumos incluyen un 80% de agregados pétreos y un 10% de yeso. Sustituir estos materiales con opciones alternativas como cal residual de la fabricación de acetileno y RCD no solo reduce la extracción de materias primas nuevas, sino que también ayuda a reducir las emisiones de CO₂.

Tabla 15

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Cemento (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Agregados pétreos	80%	Cal residual de producción de acetileno, residuos de construcción y demolición	75%
Yeso	10%	Materiales puzolánicos: escorias y cenizas (residuos térmicos), ceniza de cascarilla de arroz, residuos de construcción y demolición	25%

Nota. Nota. La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de cemento, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen residuos de construcción y demolición, cal residual, y materiales puzolánicos como escorias y cenizas térmicas. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

La tabla 15 muestra la posibilidad de reemplazar hasta un 75% de los insumos convencionales con cal residual de la fabricación de acetileno y RCD, y un 25% con materiales puzolánicos como escorias y cenizas térmicas, ceniza con origen en la cascarilla de arroz y otros RCD. Estas alternativas permiten reducir significativamente el uso de agregados pétreos y yeso, que tradicionalmente conforman el 80% y el 10% de los insumos, respectivamente. Al adoptar estas prácticas, la industria del cemento puede mejorar su sostenibilidad ambiental, minimizando los impactos generados a lo largo del ciclo de vida de los productos y fomentando una economía circular donde los materiales de desecho se utilizan de manera eficiente. Este enfoque no solo beneficia el medio ambiente, sino que también optimiza el uso de recursos en la industria de la construcción.

Materiales Pétreos.

la producción de materiales pétreos revela una significativa capacidad para mitigar impactos ambientales. Tradicionalmente, la producción de agregados pétreos se basa en un 100% de insumos convencionales como la extracción de roca y grava. Sin embargo, según la información presentada en la tabla 16, estos insumos pueden ser completamente sustituidos por RCD. Este cambio no solo reduce la necesidad de extracción de recursos naturales, sino que también disminuye los impactos ambientales asociados con el ciclo de vida de estos materiales, tales como la degradación del suelo y las emisiones de CO₂ generadas durante la extracción y procesamiento.

Al emplear RCD como insumos alternativos en la producción de agregados pétreos, se promueve una gestión más sostenible de los recursos y se fomenta una economía circular. La sustitución al 100% de los agregados convencionales por RCD implica que los desechos pueden ser reutilizados de manera efectiva, minimizando así la generación de más residuos y reduciendo la solicitud de nuevos materiales. Este enfoque contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental del sector de la construcción, promoviendo prácticas más ecológicas y sostenibles que benefician tanto al medio ambiente como a la economía.

Tabla 16

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Agregado Pétreo (%p/p).

Insumos convencionales	Insumos alternativos	
Agregados pétreos	100%	RCD 100%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de agregado pétreo, comparando los métodos convencionales con una alternativa sostenible basada en el uso de RCD. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Concreto.

la producción de concreto revela un notable potencial para reducir el impacto ambiental. De acuerdo con la tabla 17, los materiales convencionales utilizados en la fabricación de concreto, que

incluyen un 80% de agregados pétreos y un 20% de cemento, pueden ser reemplazados por alternativas más sostenibles. Estas alternativas comprenden un 80% de RCD y un 20% de cemento alternativo. Además, las devoluciones de concreto fresco, que son los excesos de concreto devuelto a la planta de premezclado, pueden reciclarse eficazmente. En muchos lugares del mundo desarrollado, ya existen instalaciones de recuperación capaces de gestionar más de 125 millones de toneladas generadas anualmente (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Aunque el reciclaje de concreto tiene un efecto limitado en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, ya que la mayoría de estas emisiones provienen de la fabricación del cemento, la adopción de concreto reciclado sigue siendo crucial (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). Los programas de construcción sostenible reconocen y fomentan la recuperación de RCD y la utilización de materiales reciclados, incluyendo el concreto reciclado. Sin embargo, la disponibilidad de cemento alternativo, proveniente de devoluciones de concreto fresco, es limitada y no puede cubrir toda la demanda. Aun así, al utilizar RCD en lugar de agregados pétreos, y cementos alternativos en lugar de cemento convencional cuando sea posible, se promueve una economía circular y se mejora la sostenibilidad ambiental en la construcción. Estas prácticas optimizan el uso de recursos y contribuyen a reducir la huella ambiental de los proyectos de construcción.

Tabla 17

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Concreto (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Agregados pétreos	80%	Residuos de construcción y demolición	80%
Cemento	20%	Cemento alternativo	20%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de concreto, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen RCD y cemento alternativo. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Ladrillo.

La fabricación de ladrillos muestra una notable capacidad para disminuir los impactos ambientales que se generan en el ciclo de vida del material. La tabla 18 proporciona un esquema donde los insumos convencionales como arcillas y arena pueden ser reemplazados por alternativas más sostenibles. En este contexto, las arcillas obtenidas de excavaciones de obra, generalmente consideradas desechos, pueden ser reutilizadas. Estas arcillas se someten a un proceso de separación y homogenización, para luego mezclarse con aditivos específicos, resultando en una pasta que, una vez secada al sol, se convierte en ladrillo apto para mampostería. Este método es beneficioso ya que elimina la necesidad de cocción, reduciendo así el consumo energético y las emisiones, al tiempo que reutiliza materiales residuales y disminuye la necesidad de vertederos, promoviendo un impacto ambiental más positivo (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Tabla 18

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Ladrillo (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Agua	10%	Agua	10%
Arcillas	85%	Arcilla de excavación de obra	80%
Arena	5%	Cal residual de producción de acetileno	5%
		RCD	5%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de ladrillos, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen arcilla de excavación de obra, cal residual de producción de acetileno, y RCD. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

La composición de insumos alternativos para la elaboración de ladrillos incluye aproximadamente un 10 % de agua, un 80 % de arcilla proveniente de excavaciones en obra, un 5 % de cal residual generada en la producción de acetileno y un 5 % de RCD. Esto difiere de la mezcla convencional que usa un 10% de agua, un 85% de arcillas y un 5% de arena. Al adoptar estos insumos alternativos, se optimiza el uso de los materiales disponibles y se minimizan los impactos negativos

asociados a la extracción y procesamiento de recursos vírgenes. Además, la integración de arcillas de excavación y otros residuos en la producción de ladrillos contribuye a disminuir la acumulación de desechos en los sitios de construcción, favoreciendo una economía circular y promoviendo prácticas más sostenibles y responsables dentro de la industria de la construcción.

Cerámicos.

La fabricación de materiales cerámicos no admite la sustitución de sus insumos convencionales, según lo señalado en estudios especializados (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). No obstante, estos materiales pueden reciclarse mediante procesos de trituración y molienda, permitiendo su reutilización en diversos productos de construcción, lo que contribuye a la disminución de residuos y al aprovechamiento eficiente de recursos en la industria.

Drywall.

El drywall permite una sustitución parcial de sus insumos tradicionales por materiales reciclados. En su proceso de fabricación, el cartón y el yeso pueden ser reemplazados por sus versiones recicladas en proporciones del 12% y 88%, respectivamente (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). A pesar de estas ventajas, reciclar drywall implica importantes retos técnicos y operativos. Es necesario contar con equipos especializados para triturar y separar los componentes, minimizando la dispersión de polvo en el proceso.

Tabla 19

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Drywall (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Cartón	12%	Cartón reciclado	12%
Yeso	88%	Yeso reciclado	88%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de drywall, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen cartón reciclado y yeso reciclado. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Pintura.

En el campo de las pinturas, la inclusión de insumos alternativos no implica necesariamente una reducción del impacto ambiental, a diferencia de lo que suele observarse en otros materiales de construcción. Algunos compuestos alternativos, como los basados en cal y residuos lácteos, han llegado incluso a incrementar los niveles de afectación ambiental. Esto pone en evidencia que prácticas tradicionales —como el uso de mucílagos vegetales o caseína obtenida de subproductos lácteos— aún carecen de una evaluación técnica integral que permita confirmar su sostenibilidad frente a las alternativas industriales. Según lo registrado en la Tabla 20, las proporciones de ciertos componentes, como las cargas minerales (18%), el thinner (25%) y el varsol (33%), se mantienen iguales en ambas formulaciones. Sin embargo, el adhesivo es sustituido: en lugar de emplear un 24% de acetato de polivinilo (PVA), se recurre a un 12% de residuo lácteo y un 12% de cal residual procedente de la producción de acetileno (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Esta modificación en la formulación representa un intento de introducir subproductos industriales y orgánicos para reducir la dependencia de insumos petroquímicos. No obstante, este cambio no garantiza mejoras claras en términos de sostenibilidad, ya que los impactos ambientales de estos materiales alternativos no han sido definidos con el mismo nivel de análisis que los componentes tradicionales. De momento, no se cuenta con soluciones industrializadas ampliamente disponibles que

aseguren una disminución sustancial del impacto ambiental en el ámbito de las pinturas. En este contexto, la norma técnica colombiana NTC 6018 de 2015 se convierte en un referente normativo fundamental, al orientar al sector hacia una producción más responsable, incentivando el uso adecuado y eficiente de los recursos, así como la aplicación de procesos que reduzcan los efectos adversos sobre el entorno (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Tabla 20

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Pinturas (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Cargas minerales	18%	Cargas minerales	18%
Adhesivo a base de acetato de polivinilo – PVA	24%	Residuo lácteo	12%
		Cal residual de producción de acetileno	12%
Solvente thinner	25%	Solvente thinner	25%
Solvente varsol	33%	Solvente varsol	33%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de pinturas, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen residuo lácteo y cal residual de producción de acetileno como sustitutos del adhesivo. Los porcentajes de cargas minerales, solvente thinner y solvente varsol se mantienen en ambas formulaciones. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Asfalto.

La sustitución de insumos tradicionales en la producción de asfalto, especialmente aquellos derivados de yacimientos petroleros, por materiales alternativos ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir significativamente el impacto ambiental. De acuerdo con los datos comparativos presentados en la Tabla 21, se evidencia una disminución del 49 % en los impactos generados, con mejoras particularmente notables en las etapas de extracción de materias primas, fabricación del material y su disposición final (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). En esta formulación alternativa, el uso de agregados pétreos convencionales (80 %) se reduce al 20 %, siendo reemplazados en parte por RCD (20 %) y por caucho reciclado proveniente de llantas (31 %), mientras que la proporción de emulsión asfáltica se incrementa del 20 % al 49 %, permitiendo una mayor integración de los nuevos componentes.

Existen múltiples métodos de reciclaje aplicables en la elaboración de mezclas asfálticas más sostenibles. Uno de ellos consiste en reutilizar la carpeta asfáltica retirada durante labores de mantenimiento vial, la cual se tritura y se redosifica con emulsión asfáltica en caliente o en frío, lo cual va depender de la tipología de la emulsión empleada. También se han explorado tecnologías para recuperar emulsión de los lodos generados en pozos petroleros. Por otro lado, el uso de materiales reciclados, como los RCD, ofrece una fuente adicional de agregados pétreos que pueden ser seleccionados y clasificados en plantas de reciclaje especializadas. Asimismo, el caucho proveniente del triturado de llantas usadas se incorpora a la mezcla asfáltica mediante procesos en seco o húmedo, contribuyendo a un aprovechamiento eficiente de estos residuos (Benítez, 2013; MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). Adicionalmente, las mezclas asfálticas tibias emergen como una innovación tecnológica que permite reducir las temperaturas de producción en aproximadamente un 20 %, disminuyendo así las emisiones contaminantes sin afectar las propiedades mecánicas del producto final (Rondón et al., 2017).

Tabla 21

Insumos convencionales vs insumos alternativos en la fabricación de Asfalto (%p/p).

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Agregados pétreos	80%	Residuos de construcción y demolición	20%
		Llanta	31%
Emulsión asfáltica	20%	Emulsión asfáltica	49%

Nota: La tabla presenta la composición porcentual en peso de los insumos utilizados para la producción de asfalto, comparando los métodos convencionales con alternativas que incluyen RCD y caucho de llanta, modificando también la proporción de emulsión asfáltica. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Identificación de la Reducción del Impacto Ambiental de las Aplicaciones Disponibles de los RCD

Acero.

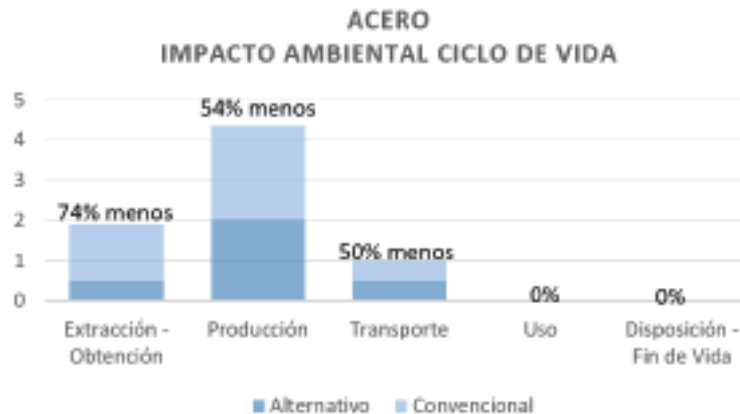
La evaluación del acero revela una disminución significativa de los impactos ambientales cuando se integran insumos reciclados en lugar de materias primas vírgenes. En concreto, se observa una

reducción del 59 % en los impactos totales, concentrada principalmente en las etapas de extracción (74 % menos), producción (54 %) y transporte (50 %) (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). Esta mejora ambiental es consecuencia directa de la reutilización de acero reciclado, que evita la sobreexplotación intensiva de recursos vírgenes y reduce de manera sustancial las emisiones asociadas a procesos industriales de alta demanda energética. Dado que el acero conserva sus propiedades fisicoquímicas tras su uso, puede fundirse y reincorporarse fácilmente en nuevas cadenas productivas, lo que refuerza su valor dentro de la economía circular. Colombia, en particular, recicla más de un millón de toneladas de acero al año, lo que posiciona a este material como una opción estratégica para la sostenibilidad en la industria de la construcción (Sociedad Colombiana de Arquitectos, 2023).

El potencial del acero reciclado no solo se refleja en su bajo impacto ambiental, sino también en su rendimiento económico y funcional. Las plantas siderúrgicas, tanto en Colombia como a nivel global, ya integran la “chatarra” de acero como parte habitual en sus procesos, lo cual permite obtener productos con igual o incluso mejor calidad que los fabricados con insumos primarios (De Castro, 2024.). Las tasas de recuperación del acero alcanzan valores del 95 % en el sector automotriz, 80 % en la construcción y 70 % en el embalaje (Arquitecturaenacero.org, s.f. como se cita en MADS, 2022)., consolidándolo como el material más reciclado del mundo. Además, por cada tonelada de acero reutilizado se evita la extracción de 1,5 toneladas de mineral de hierro, y sus subproductos se reinsertan en distintos sectores, como la construcción de calles, la fabricación de barnices o incluso componentes tecnológicos. Esta versatilidad y eficiencia posicionan al acero reciclado como un pilar en la transición hacia modelos de producción más sostenibles.

Figura 7

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Acero.



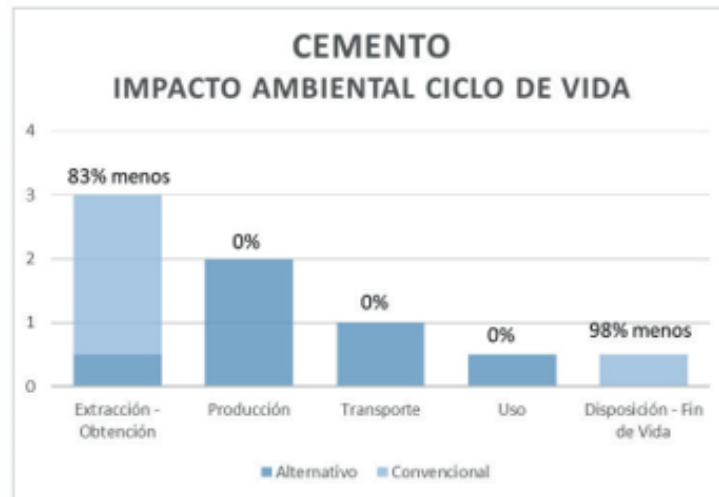
Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del acero en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción inferior en azul claro). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

Cemento.

El cemento, cuando concluye su vida útil como parte de estructuras y construcciones, suele terminar en escombreras como residuo pétreo. Sin embargo, estos residuos poseen un alto potencial para ser reincorporados al ciclo productivo como agregados reciclados en nuevas mezclas cementicias. De acuerdo con un análisis desarrollado por el MADS en 2015, se identificó que al sustituir insumos convencionales por insumos alternativos en la producción de cemento, se logra una disminución del 43 % en el total de impactos ambientales evaluados, concentrándose especialmente en las etapas de extracción de materias primas (83 % menos) y disposición final (98 % menos) (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). Esta reducción evidencia el importante rol que juega el reciclaje de RCD en la transición hacia una producción de materiales más sostenibles.

Figura 8

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Cemento.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del cemento en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción inferior en azul claro). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental y han sido estimados a partir de la representación gráfica. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

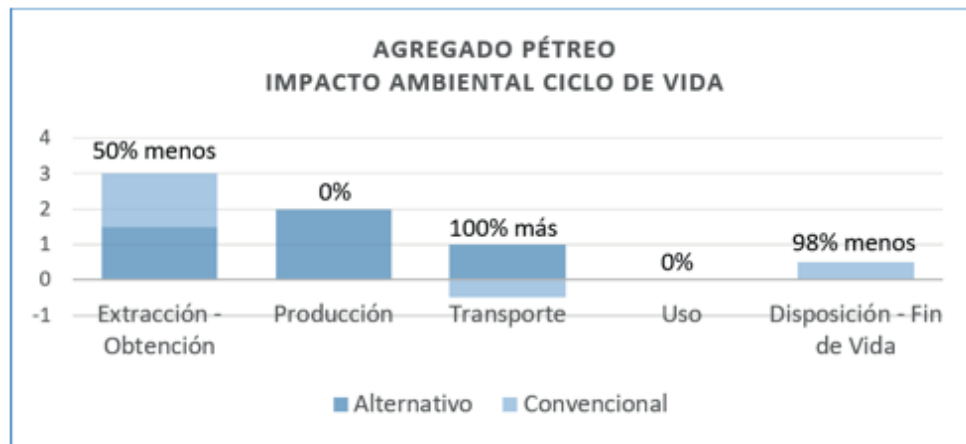
Materiales Pétreos.

En el caso de los agregados pétreos, que constituyen uno de los materiales más empleados en obras civiles, el volumen de uso tiene un peso significativo en su impacto ambiental. Aunque para efectos del análisis se asumieron distancias iguales en la etapa que corresponde al transporte, el número de viajes necesarios para movilizar estos agregados aumenta considerablemente por la cantidad requerida en obra, lo que se refleja en un incremento del impacto ambiental en esta fase.

Adicionalmente, al final de su vida útil, suelen ser descartados en escombreras o rellenos sanitarios, generando contaminación del suelo y pérdida de recursos aprovechables (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Figura 9

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del agregado pétreo.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales de los agregados pétreos en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional con el impacto de la producción alternativa. La porción oscura de la barra representa el impacto asociado al método convencional, y la porción clara, al método alternativo. Los porcentajes indican la reducción o el aumento del impacto logrado. El valor "100% más" en la etapa de Transporte significa que el impacto de la alternativa es un 100% mayor que el convencional. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental y han sido estimados a partir de la representación gráfica. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

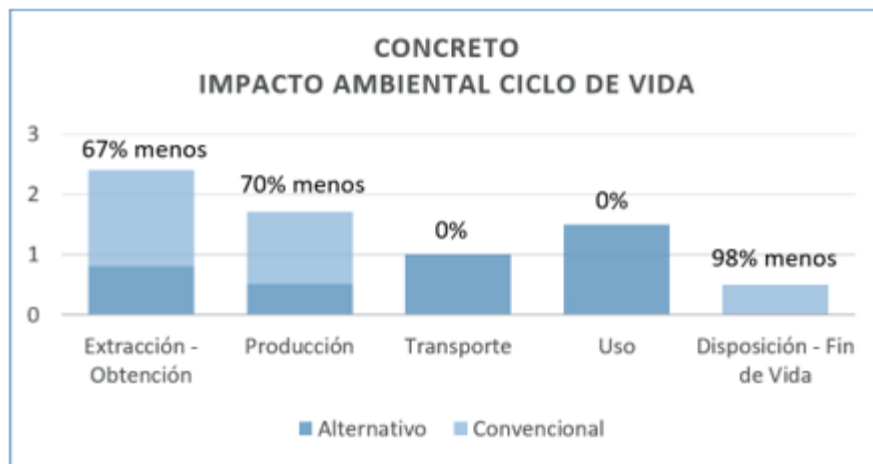
No obstante, al integrar materiales alternativos como los RCD —provenientes de concreto, ladrillos y otros componentes estructurales— en la elaboración de agregados pétreos reciclados, se logra una reducción global del impacto ambiental de hasta un 25 %. Esta disminución se evidencia especialmente en la fase de extracción (50 % menos) y disposición final (98 % menos), según el ACV. Para ello, los RCD deben someterse a procesos de trituración, cribado y selección, permitiendo su reintegración como materia prima en nuevas aplicaciones. Ejemplos exitosos incluyen el uso de estos agregados reciclados en la producción de bloques para contención y paisajismo, así como en la producción de estucos, adhesivos y morteros secos. En ciudades como Bogotá, su uso en infraestructura vial ya está reglamentado en normativas específicas, lo que fortalece su viabilidad técnica y ambiental

Concreto.

El ACV del concreto evidencia que, si bien el reciclaje total es un objetivo ambicioso, los mejores resultados ambientales se logran mediante aplicaciones prácticas y sostenibles, como el uso del concreto recuperado en sub-bases para obras viales. Este enfoque, aunque de menor exigencia técnica, permite una valorización eficiente del material con menor impacto ecológico. La producción convencional de concreto implica un elevado consumo de recursos naturales y energía, especialmente en las fases de extracción y de disposición final. Al integrar insumos alternativos provenientes de RCD, como el concreto triturado, se logra una reducción del 47 % en los impactos ambientales totales, siendo particularmente significativa en las fases de extracción (67 % menos), producción (70 % menos) y disposición final (98 % menos) (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022).

Figura 10

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del concreto.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción inferior en azul claro). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

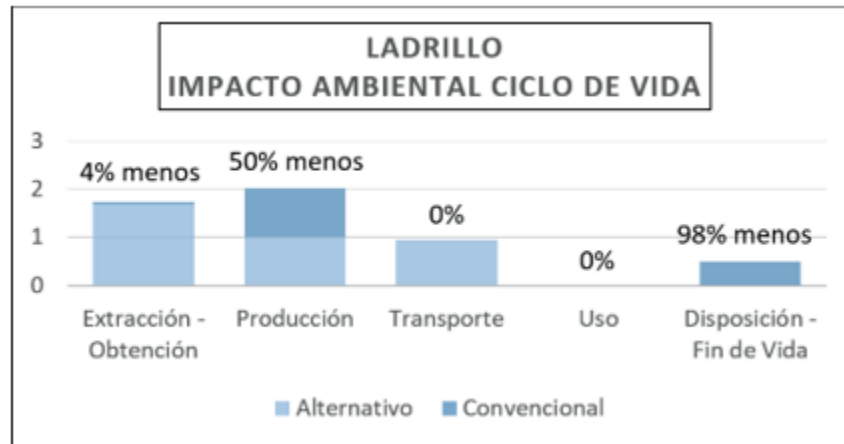
A escala global, el concreto es el material más utilizado en la industria de la construcción, con una producción anual estimada en 4.200 millones de toneladas, lo que implica un considerable volumen de residuos. (Global Cement and Concrete Association, 2024) Europa, Estados Unidos y China son los principales generadores de desechos de construcción (Sönmez & Kalfa, 2023), y países como India están aumentando su participación a medida que crecen sus industrias. En este contexto, el reciclaje del concreto se convierte en una estrategia clave para reducir la presión que se ejerce sobre los recursos naturales y minimizar los residuos enviados a disposición final. Si bien el reciclaje del concreto no incide significativamente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero —dado que estas se originan principalmente durante la producción de cemento—, sí contribuye a reducir el uso de materias primas vírgenes y los costos logísticos asociados. Además, su incorporación en esquemas de construcción sostenible es cada vez más reconocida y promovida por marcos normativos internacionales.

Ladrillo.

Una vez finalizado su uso en edificaciones —generalmente tras unos 50 años, más por procesos de renovación urbana que por deterioro del material, que puede perdurar por siglos—, el ladrillo suele descartarse sin aprovechar su potencial de reciclaje. Sin embargo, este residuo puede transformarse en agregado fino para morteros o emplearse en la producción de cementos de bajo carbono. Un enfoque innovador es la estabilización geopolimérica, que permite utilizar arcillas residuales de obra como materia prima. Estas se procesan y mezclan con aditivos hasta formar una masa que, tras secado al sol, puede emplearse directamente en mampostería. Al eliminar la cocción, este método reduce significativamente el impacto ambiental, al tiempo que da uso a materiales tradicionalmente considerados desechos.

Figura 11

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del ladrillo.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del ladrillo en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción inferior en azul claro). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental y han sido estimados a partir de la representación gráfica. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

El empleo de insumos alternativos en la producción de ladrillos puede reducir de forma notable el impacto ambiental. Por ejemplo, se observa una disminución del 50 % en la etapa de producción, una de las más críticas en términos de consumo energético y emisiones. Aún más significativo es el 98 % de reducción en la fase de disposición final, lo que evidencia el gran potencial de reusó de los materiales en lugar de su desecho. Aunque las fases de transporte y uso no muestran variaciones, el balance general revela una mejora sustancial cuando se opta por alternativas sostenibles en el ciclo de vida del ladrillo.

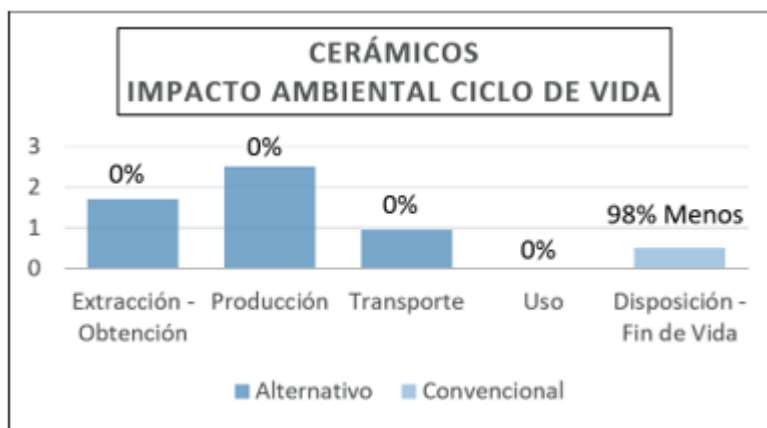
Cerámicos.

Al igual que sucede con el ladrillo, los cerámicos presentan un ciclo de vida que culmina generalmente con su disposición en escombreras, a pesar de que también cuentan con un alto potencial de reutilización. Estos materiales pueden ser reciclados y utilizados como agregados para morteros o como componente en cementos de bajo carbono (MADS, 2015 como se cita en MADS, 2022). Aunque

los insumos empleados en la fabricación de cerámicos no pueden ser completamente reemplazados por alternativas más sostenibles, sí es posible disminuir significativamente su impacto ambiental mediante estrategias de reciclaje. Como se observa en la figura 11, esta práctica permite reducir el impacto en la etapa de disposición final en un 98%, mientras que en otras etapas como la producción, transporte y uso, no se evidencia variación. Este dato resalta la importancia de incorporar procesos de aprovechamiento al final del ciclo de vida del material para mejorar su desempeño ambiental global.

Figura 12

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa de los cerámicos.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales de los cerámicos en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción superior de la barra en azul oscuro) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción inferior en azul claro). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

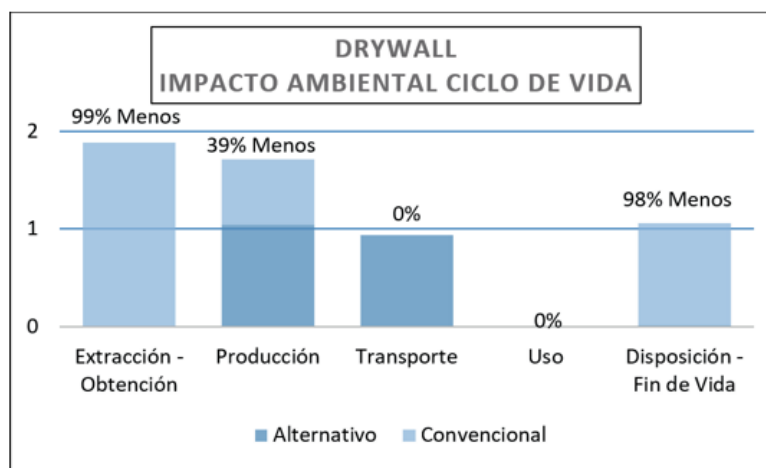
Drywall.

Según una evaluación del MADS (2015), la producción de drywall alternativo presenta una significativa reducción del impacto ambiental generado a lo largo de las etapas de su ciclo de vida en comparación con el drywall convencional. Los datos indican que la etapa de extracción y obtención del material alternativo disminuye el impacto en un 99%, mientras que la producción lo hace en un 39%. El

transporte y el uso no muestran diferencias en el impacto, manteniéndose en un 0%. Sin embargo, al final de su vida útil, la disposición del drywall alternativo reduce el impacto ambiental en un 98%, lo que subraya el potencial de las aplicaciones de RCD para mitigar la huella ambiental en la industria de la construcción.

Figura 13

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Drywall.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del drywall en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional con el impacto de la producción alternativa. La porción oscura de la barra representa el impacto asociado al método convencional, y la porción clara, al método alternativo. Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

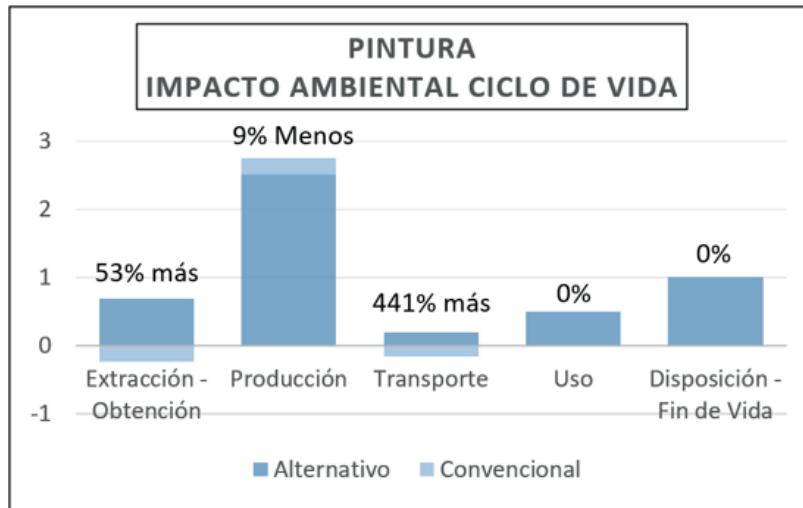
Pintura.

Aunque es común que la sustitución de insumos convencionales por alternativos en diversos materiales de construcción resulte en una disminución del impacto ambiental, este no es el caso para ciertas pinturas. Específicamente, las pinturas elaboradas a partir de cal y residuos lácteos muestran un aumento del 3% en sus impactos ambientales totales. Esto contrasta con la tendencia general observada

en otros materiales donde las alternativas sostenibles logran una reducción significativa de la huella ecológica.

Figura 14

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa de las pinturas.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales de las pinturas en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional con el impacto de la producción alternativa. La porción oscura de la barra representa el impacto asociado al método convencional, y la porción clara, al método alternativo. Los porcentajes indican la reducción ("Menos") o el aumento ("Más") del impacto logrado en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental y han sido estimados a partir de la representación gráfica. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

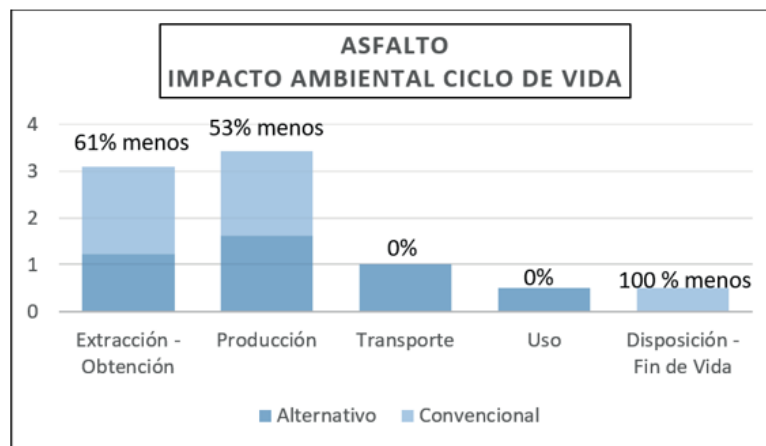
El ACV de las pinturas, se observa que la extracción y obtención de los materiales alternativos genera un 53% más de impacto ambiental en comparación con los insumos convencionales. Además, el transporte de estas pinturas alternativas incrementa el impacto en un considerable 441%. Aunque la fase de producción reduce el impacto en un 9%, y tanto el uso como la disposición final no presentan cambios (0%), el incremento en las etapas iniciales y de transporte contrarresta cualquier beneficio, resultando en un aumento global del impacto ambiental para esta formulación particular de pintura alternativa, según datos del MADS (2015).

Asfalto.

Para reducir el impacto ambiental, el asfalto puede ser producido de forma "artificial" mediante la mezcla en caliente de bitumen con agregados finos y gruesos, dando como resultado un concreto asfáltico apto para carreteras. Este material presenta un gran potencial de reciclaje, ya que es factible reutilizar el material triturado de carpetas asfálticas existentes mezclándolo con bitumen, o bien incorporar agregados provenientes de la trituración de RCD. Además, se puede optimizar el proceso modificando la temperatura de producción del bitumen, una sustancia orgánica altamente viscosa y de color negro compuesta principalmente por hidrocarburos, lo que contribuye a disminuir su huella ecológica (MADS, 2015).

Figura 15

Comparativo de la reducción del impacto ambiental de la producción convencional y la alternativa del Asfalto.



Nota: La figura presenta una valoración de los impactos ambientales del asfalto en sus diferentes etapas de su ciclo de vida, comparando el impacto de la producción convencional (representado por la porción clara de la barra) con el impacto de la producción alternativa (representado por la porción oscura de la barra). Los porcentajes indican la reducción de impacto lograda en cada etapa al utilizar el método alternativo. Los valores en el eje Y representan una medida de impacto ambiental y han sido estimados a partir de la representación gráfica. Es importante notar que, a diferencia de otras ilustraciones similares en este documento, los colores de la leyenda "Alternativo" y "Convencional" están invertidos. Fuente: Tomado de "Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia", por MADS, 2015.

La implementación de estas alternativas en la producción de asfalto conlleva una notable disminución de su impacto ambiental generado en las diferentes etapas de su ciclo de vida. Según los datos disponibles, la fase de extracción y obtención de materiales muestra una reducción del 61% en el impacto, mientras que la etapa de producción disminuye el impacto en un 53% cuando se emplean métodos alternativos. Es importante destacar que las fases de transporte y uso no presentan cambios en su impacto (0%), pero la disposición al final de la vida útil del asfalto alternativo logra una impresionante reducción del 100% en el impacto ambiental, eliminando por completo su contribución en esta etapa. Esto resalta el beneficio significativo de integrar los RCD y prácticas sostenibles en la fabricación y gestión del asfalto.

Clasificación de Materiales de Construcción con RCD Para su Aplicación en la Construcción Vertical

En el contexto de la economía circular y la creciente necesidad de mitigar los impactos ambientales de la industria de la construcción, la integración de RCD en nuevos materiales se ha convertido en una estrategia fundamental. Este apartado tiene como objetivo identificar y clasificar los materiales que, siendo comúnmente utilizados en la construcción vertical (asociada al sistema constructivo industrializado), tienen la capacidad de incorporar RCD en su composición.

La construcción vertical, caracterizada por su alta demanda de recursos naturales y la generación de volúmenes significativos de residuos, se beneficia enormemente de la valorización de los RCD. Al reintroducir estos materiales en el ciclo productivo, se logra una doble ventaja: se reduce la intensiva extracción de materias primas vírgenes y se minimiza la cantidad de desechos que terminan en rellenos sanitarios. La reciente Norma Técnica Colombiana NTC 6421 de 2021 establece los requisitos de calidad y orientaciones de uso para los agregados gruesos reciclados (AGR) en el concreto hidráulico estructural y no estructural (ICONTEC, 2021, NTC 6421). Esta norma es complementaria a la NTC 174 y permite la incorporación de ciertos RCD, excluyendo los agregados finos reciclados (AFR) debido a la ausencia de un consenso normativo internacional sobre su aplicación en concreto hidráulico.

La siguiente tabla 22 detalla los materiales más relevantes para la construcción vertical y analiza su viabilidad para integrar RCD, considerando tanto los beneficios ambientales como la factibilidad técnica y normativa, incluyendo las clasificaciones y usos permitidos por la NTC 6421:2021.

Tabla 22

Materiales de construcción para sistemas industrializados: Origen, aplicaciones y viabilidad para incorporar RCD.

Material de Construcción (Sistema Industrializado)	RCD Original Susceptible de Incorporación	Aplicación Derivada en Construcción Vertical	Componente del Edificio Afectado	Viabilidad Ambiental (Reducción de Impacto)	Viabilidad Técnica (Cumplimiento Normativo)	Notas Clave / Ejemplos Específicos
Agregados Triturados (42.70% del uso)	Pétreos (Concreto, Ladrillo, Cerámica, etc.)	Agregados para Concreto y Mortero	Estructuras, Mampostería, Acabados, Cimentación	Alta (25-47% de reducción de impactos)	Alta (Cumple NTC)	Reduce extracción de áridos y volumen de escombros. Bloques, adoquines.
Arena de Río (35.10% del uso)	Pétreos (Concreto, Ladrillo, Cerámica, etc.)	Arena Reciclada para Morteros	Mampostería, Pañetes, Estucos, Morteros	Alta (Reducción de extracción y transporte)	Alta (Requiere procesos de trituración y cribado)	Uso como arena fina para morteros de mampostería.
Cemento Gris (12.40% del uso)	Residuos Industriales (Escorias, Cenizas, Fosfoyesos)	Cemento Alternativo (como aditivo o materia prima)	Estructuras, Mampostería, Acabados, Prefabricados	Alta (43% de reducción de impactos)	Alta (Cumple NTC, requiere I+D en formulación)	Reduce emisiones de CO2 por menor uso de clinker. Cemento con ceniza de hueso de oliva.
Roca Tuerta (3.7% del uso)	Pétreos de Demolición (Roca, Concreto)	Agregados para Rellenos y Bases	Cimentación, Plataformas, Rellenos	Alta (Reduce extracción y disposición)	Alta (Requiere trituración y clasificación)	Aprovecha material de excavación y demolición.
Cerámica Cocida (3.20% del uso)	Cerámicos de Demolición (Ladrillos, Enchapes, Sanitarios)	Agregados Finos, Nuevos Cerámicos	Acabados (pisos, fachadas), Mampostería	Media (9% de reducción de impactos)	Alta (Requiere trituración y molienda; NTC 6024)	Uso como material de mampostería "calado" o tipo Split.
Acero (2.10% del uso)	Chatarra de Acero	Nuevo Acero (Re-fusión)	Estructuras, Refuerzos, Elementos Metálicos	Muy Alta (59% reducción de impactos, 50% CO2)	Muy Alta (Proceso industrial estandarizado; NTC 6034)	Material con mayor tasa de reciclaje a nivel mundial

Material de Construcción (Sistema Industrializado)	RCD Original Susceptible de Incorporación	Aplicación Derivada en Construcción Vertical	Componente del Edificio Afectado	Viabilidad Ambiental (Reducción de Impacto)	Viabilidad Técnica (Cumplimiento Normativo)	Notas Clave / Ejemplos Específicos
Madera (0.40% del uso)	Madera de Demolición, Subproductos Agrícolas (Guadua)	Paneles, Mobiliario, Acabados, Guadua laminada	Acabados, Elementos decorativos, Cerramientos	Media (Reduce deforestación y residuos orgánicos)	Alta (Requiere tratamiento, certificaciones; NTC 6100 para Guadua)	Guadua como alternativa sostenible en paneles y estructuras.
Tejas en Fibrocemento (0.25% del uso)	Empaques de Cemento (sacos verdes)	Fibrocemento (para nuevas tejas)	Cubiertas	Alta (Valoriza residuos plásticos)	Alta (Proceso industrial probado)	Ejemplos como la iniciativa de Cementos Argos S.A.
PVC (0.19% del uso)	Plástico Reciclado (PET, Polietileno, PVC)	Ladrillos Plásticos, Mobiliario Urbano	Muros divisorios, Mobiliario, Sistemas de Cerramiento	Alta (Reduce residuos plásticos)	Alta (Cumple sismorresistencia, durabilidad)	Alternativa para construcción temporal o definitiva.
Cobre (0.03% del uso)	Chatarra de Cobre	Cobre Reciclado (para nuevas tuberías, cables)	Instalaciones Eléctricas e Hidrosanitarias	Muy Alta (Reduce extracción mineral)	Muy Alta (Metal altamente reciclable con propiedades intactas)	Similar al acero, el cobre es un metal de alto valor con alta reciclabilidad.
Cemento Blanco (0.03% del uso)	Residuos Industriales (similar a Cemento Gris)	Cemento Alternativo (como aditivo o materia prima)	Acabados, Elementos decorativos	Media (Potencial de reducción de impacto)	Alta (Requiere I+D específica para cemento blanco)	Aplicable a cementos especiales con propiedades particulares.

Nota: La tabla presenta la clasificación de materiales utilizados en la construcción vertical (sistema industrializado), detallando el RCD original susceptible de incorporación, las aplicaciones derivadas, el componente del edificio afectado, y una evaluación cualitativa de la viabilidad ambiental y técnica. Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación realizada en el presente estudio y la Guía de materiales para la Construcción Sostenible del MADS, 2015.

Análisis de Viabilidad de las Aplicaciones disponibles de los RCD

Este análisis integral subraya el potencial transformador de la incorporación de RCD en la construcción vertical bajo un modelo industrializado. Al alcanzar una reducción teórica ponderada del 44.89% en la incorporación de RCD y una reducción ponderada del 18.47% en el impacto ambiental total, se demuestra que la transición hacia una economía circular no es solo una aspiración ambiental, sino una estrategia viable y de alto impacto para el sector. A pesar de los desafíos en la cuantificación de algunos materiales y las restricciones normativas para otros, la clara viabilidad técnica y los significativos beneficios ambientales de los principales componentes estructurales y de mampostería confirman que

la adopción de RCD es un pilar esencial para edificar un futuro más sostenible y resiliente en el ámbito de la construcción vertical.

Es importante destacar las consideraciones específicas sobre la incorporación de RCD en los agregados y el cemento, dado su peso significativo en la composición de los materiales de construcción vertical. Para los agregados, la "Tabla 11. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del agregado pétreo" indica un potencial de sustitución del 100% de los agregados pétreos convencionales por RCD. Sin embargo, para el cálculo de la incorporación estimada en el material final y de manera conservadora, se consideró un 80% de RCD. Este porcentaje busca reflejar un nivel de sustitución alto y realista, aplicable en un rango más amplio de aplicaciones dentro de la construcción vertical, reconociendo que, si bien es técnicamente posible alcanzar el 100% en ciertas condiciones (como se indica en el potencial de AGR), un 80% se asume para representar una incorporación robusta y consistentemente viable. En el caso del cemento, si bien la mezcla de insumos alternativos (compuesta por cal residual y residuos de construcción y demolición, junto con materiales puzolánicos como escorias y cenizas) es 100% derivada de RCD, el porcentaje de incorporación estimado para el producto final de cemento en este análisis es de hasta 25% (como puzolanas), lo cual refleja una proporción comúnmente utilizada de adiciones de RCD en la formulación final del cemento. Estas particularidades son cruciales para entender la viabilidad y el impacto real del aprovechamiento de RCD en estos materiales fundamentales.

Tabla 23

Análisis cuantitativo de viabilidad y reducción de impacto por incorporación de RCD en materiales de construcción vertical (Sistema Industrializado).

Material de Construcción	Viabilidad para Incorporar RCD	Porcentaje de Incorporación de RCD (Estimado)	Reducción en Impacto Ambiental (Directa del Material)	Participación en Construcción Vertical (Peso)	Reducción Ponderada de Incorporación de RCD	Reducción Ponderada de Impacto Ambiental	Notas Clave / Desafíos / Normativa Relevante
Agregados Triturados	Viable	Hasta 100% (AGR)	25%	42,70%	34,16%	10,68%	Regulado por NTC 6421:2021.
Arena de Río	Viable con restricciones para concreto hidráulico	No cuantificable para ponderación.	No especificado numéricamente.	35,10%	No cuantificable para ponderación	0,00%	Los Agregados Finos Reciclados (AFR) no están categorizados en NTC 6421:2021 para concreto hidráulico. Potencial en morteros.
Cemento Gris	Viable	Hasta 25% (como puzolanas)	43%	12,40%	3,10%	5,33%	Reduce emisiones de CO ₂ .
Roca Tuerta	Viable	Hasta 80% (como parte de agregados pétreos reciclados)	25% (para agregados pétreos)	3,70%	2,96%	0,93%	Reduce extracción y disposición.
Cerámica Cocida	Viable	Hasta 80% (como AGR T2 para concreto no estructural)	9% (para cerámicos usados como agregados)	3,20%	2,56%	0,29%	Reducción de impacto a través del reciclaje de RCD de cerámica.
Acero	Muy Viable	100% (chatarra)	59% (reducción total de impactos)	2,10%	2,10%	1,24%	Líder en reciclaje a nivel mundial. Regulado por NTC 6034.
Madera	Viable	Alto (variable)	No especificado numéricamente.	0,40%	No cuantificable para ponderación	0,00%	Promueve uso de recursos renovables (ej. Guadua).
Tejas en Fibrocemento	Viable	No especificado numéricamente.	No especificado numéricamente.	0,25%	No cuantificable para	0,00%	Iniciativas de reciclaje de empaques de cemento.

Material de Construcción	Viabilidad para Incorporar RCD	Porcentaje de Incorporación de RCD (Estimado)	Reducción en Impacto Ambiental (Directa del Material)	Participación en Construcción Vertical (Peso)	Reducción Ponderada de Incorporación de RCD	Reducción Ponderada de Impacto Ambiental	Notas Clave / Desafíos / Normativa Relevante
PVC	Viable	Alto (variable)	No especificado numéricamente.	0,19%	No cuantificable para ponderación	0,00%	Utilizado en ladrillos plásticos y mobiliario urbano.
Cobre	Muy Viable	Muy alto (variable)	No especificado numéricamente.	0,03%	No cuantificable para ponderación	0,00%	Metal con alto potencial de reciclaje.
Cemento Blanco	Viable	Hasta 25% (como puzolanas)	No especificado numéricamente.	0,03%	0,01%	0,00%	Potencial similar al cemento gris.
Totales Ponderados para el Sistema Industrializado					44,89%	18,47%	

Nota. La tabla presenta un análisis cuantitativo de la viabilidad de incorporar RCD en los principales materiales utilizados en sistemas de construcción vertical industrializada. Se detallan los porcentajes estimados de incorporación de RCD y de reducción de impacto ambiental directa, así como las reducciones ponderadas de ambos parámetros según la participación de cada material en el sistema constructivo analizado. Los totales ponderados reflejan la incorporación general de RCD y la reducción de impacto ambiental en el sistema. Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación realizada en el presente estudio.

Proveedores de Materiales de Construcción con Base en RCD de Uso en la Construcción Vertical en

Bogotá

Este apartado tiene como objetivo identificar y clasificar a los proveedores de materiales de construcción en Bogotá que incorporan RCD en sus procesos, enfocándose en aquellos productos relevantes para la construcción vertical. Reconocer a estos actores es crucial para fomentar la economía circular y facilitar la adopción de prácticas constructivas más sostenibles en Bogotá.

Identificaciones de Proveedores de Materiales de Construcción con Base en RCD en Bogotá

Esta sección presenta una clasificación de los proveedores que emplean residuos de construcción y demolición como materia prima en sus procesos productivos, organizados según el tipo de material utilizado.

Acero.

Esta sección detalla los proveedores que actualmente utilizan RCD como materia prima en sus procesos productivos, segmentados por tipo de material. A pesar de que las principales acerías en Colombia no tienen una presencia física directa en Bogotá o sus cercanías, sus cadenas de proveedores y distribución garantizan que sus productos sean comercializados y utilizados en la capital. Por lo tanto, los siguientes proveedores son considerados en este análisis por su relevancia en la distribución de acero en la región.

Gerdau Diaco: Se destaca por producir su acero completamente a partir de chatarra ferrosa, un tipo de RCD, contribuyendo activamente a la economía circular. La compañía transforma una gran cantidad de chatarra ferrosa para convertirla en productos de acero. La economía circular y la protección del medio ambiente son la base de su proceso productivo, con diversas estrategias para fortalecer su cadena de valor y sus asociaciones con cooperativas de reciclaje.

Grupo Siderúrgico Reyna (GSR): Esta empresa hace parte del conjunto de compañías que producen acero largo en el país y opera bajo esquemas de sostenibilidad, incluyendo programas de recolección y reciclaje de chatarra para su producción.

PazdelRío: Produce acero a partir de acería eléctrica, utilizando chatarra reciclada y reaprovechada como principal insumo. La empresa se enfoca en generar valor a partir de los residuos del proceso, convirtiéndolos en coproductos aprovechables. Alcanza una eficiencia de materiales muy alta y cuenta con puntos ecológicos internos para facilitar la reincorporación de materiales como cartón, plástico, pasta, papel, bandas y madera a las cadenas productivas.

Sidoc: Es un ejemplo de economía circular en el sector, reciclando una cantidad significativa de chatarra. Trabajan para abrir mercados de importación de chatarra debido al déficit en la generación nacional. La organización se enfoca en convertir la chatarra en insumo para proyectos importantes, lo que los posiciona como un claro ejemplo de economía circular.

Ternium: Recolecta chatarra de otros generadores para introducirla en su cadena de valor y producir acero nuevo con todas las propiedades. Alcanzan una eficiencia de materiales muy elevada en sus procesos.

Cemento.

No se evidencia proveedores comprobados.

Materiales Pétreos.

Los proveedores de materiales pétreos que utilizan RCD transforman residuos de concreto, ladrillo, y otros materiales de demolición en agregados aptos para diversas aplicaciones en la construcción.

Maquiamarillas: Especializados en la gestión de RCD, ofrecen materiales reciclados como rellenos, bases y sub-bases para obras civiles y paisajismo.

Granulados Reciclados de Colombia (Greco): Se enfocan en la producción de agregados reciclados, incluyendo bases granulares y rellenos, a partir de RCD. Enlace:

SECAMJR: Ofrecen un portafolio de materiales reciclados derivados de RCD, como bases, sub-bases y rellenos.

Reciclados Industriales: Se especializan en el reciclaje de residuos industriales y RCD, produciendo agregados y otros materiales reutilizables.

Dromos: Ofrecen trituración y agregados reciclados para proyectos de ingeniería civil.

Reciclados y Agregados: Se especializan en la transformación de RCD en materiales útiles para obras civiles, como agregados reciclados y base granular.

Asmincol: Proveen materiales como agregados pétreos, arena, triturados y bases, aunque no se especifica explícitamente el uso de RCD en sus productos principales en el momento de la consulta.

Cundicoal: Suministran materiales como bases, sub-bases, rajón, triturado, arena y tierra, sin mencionar específicamente el uso de RCD en sus descripciones de productos.

Concreto.

Los proveedores en esta categoría ofrecen concretos con criterios de sostenibilidad, incluyendo la posible incorporación de materiales derivados de RCD o adiciones que reducen su impacto ambiental.

Cemex Colombia (Línea Vertua): Su línea Vertua incluye concretos con bajas o nulas emisiones netas de CO₂ (Vertua Cero), logradas a través de la optimización de componentes y el uso de cementos con adiciones que pueden derivar de materiales reciclados.

Argos Colombia (Concretos Verdes): Dispone de una línea de concretos diseñada para disminuir el impacto ambiental, empleando adiciones o agregados que contribuyen a la sostenibilidad.

Ladrillo.

No se evidencian proveedores comprobados que hagan uso de RCD.

Cerámica.

No se evidencian proveedores comprobados que hagan uso de RCD.

Drywall.

No se evidencian proveedores comprobados que hagan uso de RCD.

Pintura.

No se evidencian proveedores comprobados que hagan uso de RCD

Asfalto.

Los proveedores de asfalto reciclado utilizan material fresado de pavimentos existentes o incorporan residuos como el caucho de llantas para nuevas mezclas asfálticas.

Grupo AINCO: Sus servicios de "reciclaje vial" implican la reutilización de materiales de pavimentos para nuevas construcciones.

Otras Ofertas y Productos Verdes, no Relacionados con RCD de Uso en la Construcción Vertical

Esta subsección presenta proveedores que ofrecen materiales de construcción con características sostenibles, pero cuya producción no se basa necesariamente en la incorporación de RCD.

Cemento

Cemex Colombia: Ofrece cemento Vertua Bajo Carbono, diseñado para reducir la huella de carbono de las construcciones.

Holcim Colombia: Su portafolio incluye cemento con características de sostenibilidad.

Argos Colombia: Dispone de cemento verde y cemento Emax Verde, enfocados en la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental, logrando menor huella de carbono.

Pisos

En el mercado actual, existen diversas opciones de pisos que incorporan materiales reciclados y promueven la economía circular, ofreciendo alternativas sostenibles y de alto rendimiento para diferentes espacios.

Pisos de Caucho Reciclado

Estos productos se fabrican a partir de caucho proveniente principalmente de llantas recicladas, lo que contribuye a la reducción de residuos posconsumo y ofrece superficies seguras y duraderas.

Ecotire Green: Empresa que fabrica productos a partir de caucho reciclado de llantas, como losetas y adoquines, promoviendo la reutilización de residuos post-consumo, aunque no específicamente RCD de construcción en su origen.

Dracol: Ofrece Pisos en Caucho EPDM Granulado, un material versátil y ecológico, frecuentemente derivado de llantas recicladas. Estos pisos son naturalmente antideslizantes, absorben impactos, son resistentes a la intemperie y cumplen con estándares de seguridad para protección contra caídas (EN-1177).

Huella Urbana: Dispone de Insitu-Flex, un tipo de piso hecho 100% de caucho de llanta reciclado (SBR). Minimiza el riesgo de accidentes, es decorativo, antideslizante, duradero, resistente a la intemperie, fácil de limpiar y permite diseños orgánicos.

Pisos y Paneles de Plástico Reciclado

Estas soluciones aprovechan plásticos posconsumo e industriales para crear productos resistentes, duraderos y versátiles que sustituyen a materiales tradicionales como la madera.

Eco Revive Bogotá: Ofrece paneles de plástico reciclado, una alternativa ecológica y resistente diseñada para reemplazar la madera en diversas aplicaciones. No absorben humedad, son duraderos y no son susceptibles a plagas, contribuyendo a la reducción de la contaminación y la deforestación.

Maderplas: Cuenta con Piso Tipo Deck en Plástico Industrial Polipropileno, elaborado 100% con plástico industrial de polipropileno de alto impacto. Es ideal para exteriores por su resistencia al agua, sol y cloro; además, es antideslizante, lavable, ligero y no requiere mantenimiento.

Agromaderas Plásticas: Ofrece Piso Deck y Pisos Plásticos, fabricados bajo los procesos impulsados por la economía circular. La empresa se enfoca en el desarrollo de tecnologías para el sector de plásticos reciclados, produciendo una variedad de productos convencionales y no convencionales.

Pisos Deck de Materiales Compuestos (WPC)

Estos pisos combinan fibras naturales con plástico reciclado, ofreciendo una alternativa duradera y de bajo mantenimiento a la madera natural.

Grupo Sigma: Ofrece Pisos Deck compuestos por fibras de bambú y plástico reciclado. Son una solución duradera para exteriores, adaptable a terrazas y patios

JM Pisos Bogotá: Dispone de WPC Deck, un material ecológico hecho de polietileno y fibras naturales recicladas, siendo 100% reciclable. Es adecuado para construcción y decoración interior y exterior, contribuyendo a reducir la deforestación.

Pintura

Pintuco: Ofrece pinturas ecológicas y con bajo contenido de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), promoviendo entornos más saludables, sin que su fabricación implique el uso directo de RCD.

Pinturas Tito Pabón: Ofrece una línea de pintura ecológica, caracterizada por su menor impacto ambiental durante la producción y aplicación.

Pinturas Naturcolor: Comercializa esmaltes ecológicos con bajo impacto ambiental.

Blatem: Proporciona información sobre pinturas ecológicas y sus beneficios en comparación con las pinturas convencionales.

Prosein: Ofrece diversas marcas de pinturas ecológicas en su portafolio.

Soluciones de Madera Plástica

Estos proveedores transforman residuos plásticos (que pueden ser RCD de construcción como PVC o polietileno, o post-consumo) en productos que sustituyen a la madera tradicional, aplicables en ciertos elementos de la construcción vertical. Maderas Plásticas

Gamaplast Madera Plástica: Fabrica tablas y varetas a partir de polipropileno y polietileno posindustrial reciclado. Sus productos son sólidos, resistentes a bacterias, contaminantes, altas temperaturas, climas adversos, y no se pudren ni corroen.

Ocoplast: Produce tablas de madera plástica a partir de plásticos reciclados como sustituto de la madera. Estas tablas modulares se utilizan en la construcción de estibas, paneles, cercas, casas y mobiliario.

Ecoplasticol: Ofrece varetas y repisas hechas de plástico reciclado mediante extrusión. Son duraderas, resistentes a la humedad e insectos, y adecuadas para estibas, pisos, paredes y puertas.

Eco Revive Bogotá: Ofrece madera plástica reciclada como una alternativa ecológica y duradera para la construcción y mobiliario exterior. Es resistente a la humedad, plagas y la intemperie, contribuyendo a la reducción de la deforestación y los residuos plásticos.

Asociación Recicladores de Bogotá: Produce madera plástica a partir de plástico reciclado recuperado por recicladores. Este material mitiga la contaminación por plásticos y reduce el uso de madera.

Maderas Plásticas Cobos: Transforma plástico posindustrial en productos útiles, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y previniendo la deforestación. Ofrece productos para los sectores industrial, agrícola, minero, comercial e inmobiliario, incluyendo eco-viviendas.

Green Plastic: Ofrece una línea de productos urbanos hechos de materiales resistentes a las condiciones climáticas y cómodos, utilizando prácticas de economía circular. Incluye bancas, jardineras y casas para perros para ambientes interiores y exteriores.

Madera Plástica Colombia (Colombia Ecológica): Fabrica y comercializa madera plástica 100% reciclada. Este producto sustituye la madera vegetal en múltiples aplicaciones industriales, recreativas, agrícolas, urbanas y decorativas, reduciendo la tala de bosques.

ANR Colombia: Ofrece tablas de madera plástica en su catálogo, producto derivado del reciclaje que contribuye a la reutilización de materiales.

Ecomaderas Plásticas: Ofrece una amplia gama de productos de madera plástica elaborados a partir de plástico recuperado (como tapas de gaseosa, empaques flexibles y ganchos de ropa). Sus productos no se pudren, no se astillan, no se oxidan, tienen filtro UV y son resistentes al fuego, siendo higiénicos y fáciles de limpiar.

Plastihouse Bogotá: Se enfoca en el diseño, desarrollo y fabricación de productos utilizando madera plástica. Sus materiales se emplean en estructuras, industria, agricultura, jardinería y mobiliario urbano, transformando residuos plásticos en productos duraderos y ecológicos.

Homecenter (Maderplasticol): Comercializa tablas de madera plástica fabricadas con aproximadamente 3.8 kg de plástico 100% reciclado. Estos productos son duraderos, resistentes y ecoamigables, ayudando a reducir los residuos, la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Voltek: Se especializa en perfiles de plástico reciclado, también conocidos como Wood-Plastic Composite (WPC), con una garantía de 25 años y certificados de sostenibilidad. Su madera plástica se fabrica a partir de una mezcla de residuos plásticos posconsumo y fibras naturales o rellenos minerales, ofreciendo durabilidad, resistencia a plagas y bajo mantenimiento.

Ecoworks Colombia: Desarrolla productos y servicios innovadores y sostenibles. Aunque la descripción directa de productos de madera plástica no está detallada en el fragmento, la empresa se enfoca en la economía circular, promoviendo el reciclaje y soluciones ecológicas.

Woodpecker: Ofrece un sistema de construcción WPC (Wood-Plastic Composite) alternativo, diseñado para casas y aulas. Este sistema es sismorresistente, ligero y de montaje rápido, utilizando materiales ecológicos.

Polialuminios.

Estos materiales, aunque no son directamente RCD de concreto o ladrillo, provienen de residuos post-consumo (como envases Tetra Pak) y pueden ser usados en construcción vertical.

Ecoplak: Producen láminas y tableros a partir del reciclaje de envases multicapa (como Tetra Pak), utilizados en muros, tejas, fachadas, pisos y mobiliario.

Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá

La creciente demanda por edificaciones sostenibles y la imperatividad de transitar hacia una economía circular en la industria de la construcción en Bogotá, requiere de herramientas que faciliten la toma de decisiones. Este apartado tiene como objetivo sintetizar la información recopilada sobre la viabilidad y la oferta de materiales con base en RCD en un formato visual denominado Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá. Este mapa busca ofrecer una visión clara y concisa de las oportunidades y el estado actual de la utilización de RCD en la construcción vertical, permitiendo a los constructores y desarrolladores identificar rápidamente las opciones más pertinentes y de mayor impacto sostenible en la ciudad. Para maximizar su accesibilidad y utilidad, este mapa ha sido desarrollado para ser consultado a través de una plataforma web dedicada.

Esquema de Presentación

El Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá se concibe como una herramienta gráfica intuitiva que organiza la información clave en torno a los materiales y sus proveedores. Su diseño se basa en los principios de claridad y diferenciación para

facilitar la identificación y selección de soluciones sostenibles, y está optimizado para su consulta en línea.

El Esquema de Presentación Contempla los Siguietes Elementos y su Lógica Visual

Agrupación por Tipo de Material: Los materiales de construcción se agrupan en categorías principales, representadas por hexágonos, que incluyen: Drywall, Agregados Pétreos, Asfalto, Acero, Concreto, Poli Aluminios, Cemento, Pintura, Cerámica, Ladrillo, Madera Plástica y Pisos. Estas agrupaciones se representan visualmente mediante áreas delimitadas, burbujas de mayor tamaño o clústeres distintivos, facilitando la navegación por el tipo de insumo buscado.

Nodos de Proveedores: Dentro de cada grupo de material, las marcas o nombres de los proveedores individuales se representan como nodos o puntos específicos. Al seleccionar cada nodo en la plataforma web, el usuario podrá acceder a información detallada del proveedor, incluyendo su contacto y enlaces a sus productos.

Diferenciación de Origen Sostenible

Solución Sostenible que Incorpora RCD: Los proveedores cuyos materiales integran RCD como materia prima principal se distinguen con un hexágono de color dorado sólido. Esta categoría incluye materiales como el acero reciclado, agregados pétreos, concretos y Asfalto

Solución sostenible sin RCD: Los proveedores que ofrecen soluciones sostenibles (ej., cemento bajo carbono, pinturas de bajo VOC, ladrillos ecológicos por proceso) pero que no se basan en la incorporación de RCD directos de demolición, se identifican con un hexágono de color plata sólido.

Sin Proveedores Sostenibles: Las categorías para las cuales no se han identificado proveedores con soluciones sostenibles se representan con un hexágono de color rojo sólido.

Interactividad en la Plataforma Web

Este mapa ha sido desarrollado para ser consultado interactivamente a través de una plataforma web dedicada <https://fundacionconstruccionsostenible.unidoshoy.com/> . La interfaz permite a los usuarios filtrar por tipo de material, buscar proveedores específicos y obtener detalles adicionales sobre cada uno, incluyendo porcentajes estimados de incorporación de RCD y la reducción de impacto ambiental cuando esté disponible, así como enlaces directos a los portafolios de productos de los proveedores.

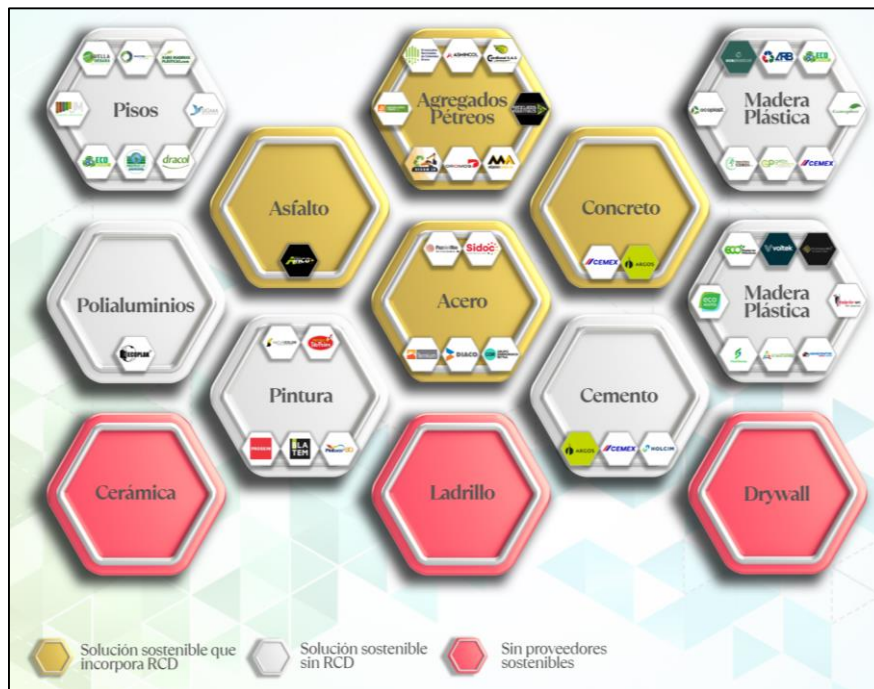
Este esquema, materializado en una plataforma web, permitirá a los constructores navegar de forma eficiente por el panorama de la oferta de materiales sostenibles en Bogotá, optimizando la selección de productos alineados con todos los pilares de la economía circular.

Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá

La visualización interactiva del Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá está disponible para consulta. Este recurso gráfico y dinámico permite a los profesionales del sector de la construcción explorar de manera efectiva la oferta de materiales sostenibles, facilitando la identificación de aliados estratégicos para sus proyectos de construcción vertical. <https://fundacionconstruccionsostenible.unidoshoy.com/>

Figura 16

Mapa de ecosistema de proveedores de materiales de construcción sostenible en Bogotá.



Nota: La figura presenta el Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá. En él se agrupan los proveedores por categorías de materiales (representadas por hexágonos) y se indica el tipo de solución sostenible que ofrecen mediante un código de color: el hexágono dorado sólido indica una solución que incorpora RCD; el hexágono plata sólido, una solución sostenible sin RCD directo; y el hexágono rojo sólido, una categoría sin proveedores sostenibles identificados. (<https://fundacionconstruccionsostenible.unidoshoy.com/>)

Análisis Integrador de Resultados: Brechas y Oportunidades Clave para la Implementación de RCD en la Construcción Vertical

Basándose en los análisis detallados presentados en las secciones anteriores —que abarcan la viabilidad teórica de implementar RCD, la identificación del ecosistema de proveedores existente y la evaluación del grado de cumplimiento de las metas de aprovechamiento de RCD—, esta sección final de resultados ofrece una síntesis de las brechas y oportunidades clave para la adopción de RCD en la construcción vertical en Bogotá.

A pesar de los avances observados en las tasas generales de aprovechamiento de los RCD en Bogotá —con cifras que superan las metas fijadas para 2023 (34%) y 2024 (63%), si bien correlacionadas

con una disminución en el volumen total de RCD generados—, la presente investigación ha identificado una brecha crítica en la implementación de RCD en la industria de la construcción vertical, específicamente en la producción de concreto.

El concreto, junto con sus componentes (agregados y cemento), constituye el material de mayor volumen y consumo en la construcción industrializada. La participación de agregados triturados (42.70%), arena de río (35.10%) y cemento gris (12.40%) en este sistema constructivo resalta el enorme potencial para el movimiento de RCD a través de su incorporación. Además, la producción de concreto es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de CO₂.

, principalmente debido a la fabricación de cemento (MADS, 2015). El análisis de viabilidad ha demostrado que la incorporación de RCD en agregados puede alcanzar hasta un 80% y en cemento hasta un 25% (como puzolanas), con la mezcla de insumos alternativos para cemento siendo 100% RCD-derivada.

Paradójicamente, a pesar de este vasto potencial y de las significativas reducciones de impacto ambiental que el concreto con RCD podría ofrecer (hasta un 47% de reducción en el impacto ambiental del concreto) (MADS, 2015), la identificación de proveedores de materiales en Bogotá revela que las concreteras no están implementando de manera clara y explícita el uso de RCD (derivados de demolición) en sus formulaciones de concreto. Si bien muchas ofrecen líneas de "concretos verdes" o de "bajo carbono", la transparencia sobre la inclusión de RCD provenientes directamente de la demolición no es evidente en su portafolio público. Similarmente, la incorporación específica de RCD de demolición en los "cementos sostenibles" que se comercializan tampoco se comunica con claridad.

Esta desconexión entre la ambición normativa, el potencial técnico-ambiental y la práctica actual de las concreteras, representa un freno para un verdadero avance de la economía circular en la construcción vertical. La gran mayoría del volumen de RCD aprovechado en Bogotá se destina al sector vial, dejando subutilizado el potencial de aprovechamiento en edificaciones.

Por lo tanto, el llamado es a las concreteras de Bogotá. Es fundamental que estas empresas, dada su posición estratégica en la cadena de valor de la construcción y su capacidad para movilizar grandes volúmenes de materiales, lideren la incorporación de RCD en el concreto. Una mayor transparencia y un compromiso explícito con el uso de RCD de demolición no solo les permitiría alcanzar sus propias metas de sostenibilidad y cumplir con las expectativas normativas, sino que también impulsaría de manera decisiva la economía circular en la industria de la construcción vertical en la ciudad, generando beneficios ambientales, económicos y sociales a gran escala.

Conclusiones

Magnitud de la Problemática y Cumplimiento Normativo. Bogotá enfrenta un desafío significativo en la gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD, dada la generación de volúmenes que superan los de residuos sólidos urbanos y la persistencia de la disposición ilegal (UAESP, 2021; Ciudades llenas de escombros, 2015). Aunque la ciudad ha logrado alcanzar tasas de aprovechamiento históricas del 15% al 25% (SDA, s.f.), y los datos más recientes indican un significativo avance en los porcentajes de aprovechamiento para 2023 (34%) y 2024 (63%), superando las metas establecidas por la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2021, Art. 9), es crucial considerar que este logro se correlaciona con una disminución en el volumen total de RCD generados en dichos años, y no necesariamente con un aumento proporcional y sostenido en la capacidad de absorción y aprovechamiento de estos residuos por parte de la industria. Este panorama complejo subraya la necesidad de asegurar una implementación robusta que garantice el cumplimiento de las metas futuras (50% en 2026, 75% en 2030) independientemente de las fluctuaciones en la generación de RCD.

Impacto y Viabilidad de la Incorporación de RCD. El análisis técnico y ambiental confirma la alta viabilidad de integrar RCD en materiales clave para la construcción vertical, incluyendo agregados, concreto y acero. Se ha calculado una reducción ponderada del 44.89% en la incorporación de RCD y una reducción ponderada del 18.47% en el impacto ambiental total de los materiales analizados, demostrando que la economía circular es una estrategia sostenible de alto impacto. La incorporación de Agregados Gruesos Reciclados (AGR) está formalmente respaldada por la NTC 6421:2021 (ICONTEC, 2021), lo que facilita su uso en concreto hidráulico estructural y no estructural.

Ecosistema de Proveedores y Barreras de Información. Se ha identificado un ecosistema de proveedores en Bogotá que ofrecen materiales con base en RCD, particularmente en acero reciclado, agregados pétreos, concretos con posibles inclusiones de RCD, asfalto reciclado, madera plástica y

polialuminios. Sin embargo, persisten vacíos en la oferta de materiales clave como cemento (con RCD directo como materia prima principal), ladrillos, cerámica, drywall y pinturas. Una barrera principal para la mayor adopción de RCD es la falta de conocimiento e información clara entre constructores y fabricantes sobre cómo incorporar efectivamente estos residuos en sus proyectos.

Importancia Estratégica de la Economía Circular. La integración de RCD en la construcción vertical es un imperativo estratégico para el desarrollo urbano sostenible de Bogotá, y no solo una cuestión de cumplimiento normativo. Esta práctica contribuye directamente a la preservación de los recursos naturales, la optimización de la gestión de sitios de disposición final y el avance hacia los objetivos de la economía circular, siendo un pilar fundamental para el futuro sostenible del sector.

Recomendaciones

Acciones para el Sector Público y Normativo. Para asegurar la sostenibilidad en el cumplimiento de las metas de aprovechamiento de RCD, se recomienda fortalecer los mecanismos de vigilancia y control establecidos en la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2021, Art. 19) y el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2023, Art. 9 y siguientes), enfocándose en los grandes generadores. Además, es crucial explorar la implementación de incentivos fiscales o subvenciones que promuevan la adopción de materiales basados en RCD en proyectos de construcción vertical, facilitando así la transición económica para las empresas, y garantizando que el aprovechamiento no dependa únicamente de las fluctuaciones en el volumen de RCD generados.

Acciones para el Sector Privado y la Industria. El sector de la construcción, incluyendo desarrolladores, contratistas y fabricantes, debe invertir en investigación y desarrollo para superar las barreras técnicas y económicas que limitan la incorporación de RCD en materiales como el cemento, ladrillos, cerámica, drywall y pinturas. Se insta a fomentar la colaboración entre las plantas recuperadoras de RCD y los fabricantes de materiales para robustecer las cadenas de valor circulares. Es fundamental que el gremio de la construcción adopte y promueva activamente herramientas como el "Mapa de Ecosistema de Proveedores de Materiales de Construcción Sostenible en Bogotá", complementándolo con talleres y capacitaciones sobre las aplicaciones de RCD y las mejores prácticas.

Áreas para Futura Investigación. Es prioritario continuar la investigación en el uso de Agregados Finos Reciclados (AFR) para el concreto hidráulico y otras aplicaciones, buscando superar la falta de consenso normativo internacional y desarrollar marcos técnicos para su implementación segura y efectiva. Asimismo, se sugiere profundizar en estudios de viabilidad económica que cuantifiquen los beneficios a largo plazo de la incorporación de RCD para todos los actores de la cadena de valor, incluyendo la reducción de costos operativos y la creación de nuevos modelos de negocio. Finalmente,

se recomienda mejorar la precisión y la trazabilidad de los datos de generación, aprovechamiento y destino de los RCD en Bogotá, desagregando por tipo de material y aplicación en la construcción vertical, para permitir un monitoreo más efectivo del progreso y una mejor formulación de políticas futuras.

Bibliografía

Alcaldía Mayor de Bogotá DC (2006, 15 de agosto). *Decreto 312 de 2006: Por el cual se adopta el Plan Maestro Integral de Residuos Sólidos*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21059>

Alcaldía Mayor de Bogotá DC (2007, 28 de diciembre). *Decreto 620 de 2007: Por el cual se regula la gestión integral de residuos sólidos en Bogotá*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=28150>

Alcaldía Mayor de Bogotá DC (2012, 12 de junio). *Plan de Desarrollo Económico y Social y de Obras Públicas para Bogotá Distrito Capital 2012–2016: Bogotá Humana*. Bogotá, Colombia.

https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documentos/2012_2016_Bogota_Humana_Plan_Acuerdo489_2012.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá DC (2015, 29 de diciembre). *Decreto 586 de 2015: Por el cual se crea la Mesa Distrital de RCD*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64233#:~:text=Cr%C3%A9ase%20la%20Mesa%20Distrital%20de,RCD%20en%20el%20Distrito%20Capital>

Alcaldía Mayor de Bogotá DC (2019, 19 de diciembre). *Resolución 10910 de 2019*. Bogotá, Colombia.

https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIIPVIAL/ES/Innovaci%C3%B3n/Portafolio/2020/ET-IC-01-Especificaciones-tecnicas-generales/Resoluci%C3%B3n%2010910.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2023, noviembre 28). *Decreto 507 de 2023: Por medio del cual se adopta el modelo y lineamientos para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición RCD en el Distrito Capital*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=150476#51>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría Distrital de Ambiente. (2015, 9 de julio). *Resolución No.*

00932: Por la cual se modifica y adiciona la Resolución 1115 de 2012. Recuperado de

https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=32079&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME

Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C. Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para la elaboración del*

plan de gestión de residuos de construcción y demolición - RCD en la obra de 2015. Recuperado

de <http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd>

Andrew, R. M. (2019). *Global CO2 emissions from cement production, 1928–2018.* Earth System Science

Data, 11(4), 1675-1710. <https://dx.doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>

Aslam, M. S., Huang, B., & Cui, L. (2020). *Review of construction and demolition waste management in*

China and USA. Journal of Environmental Management, 264, 110445.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720303790>

Benveniste, G., Gazulla, C., Fullana, P., Celades, I., Ros, T., Zaera, V., & Godes, B. (2011). *Análisis de ciclo*

de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas.

Informes de la Construcción, 63(522), 71-81. <https://doi.org/10.3989/ic.10.034>

Berry, T. A., & Kestle, L. (2022). *Cutting plastic construction waste.* Researchbank. Recuperado de

<https://www.researchbank.ac.nz/server/api/core/bitstreams/dff233df-7b9b-47b6-acdd-a3465c669f02/content>

Bolaños, L. M. J., Sánchez, N. F. T., & Rosero, Y. D. D. (2018). *Estudio para aprovechamiento de RCD en*

Santiago de Cali como agregado en materiales de construcción. BISTUA Revista de la Facultad de

Ciencias Básicas, 17(1), 87-93. <https://doi.org/10.24054/bistua.v17i1.274>

Boone, C. G., Bromaghim, E., & Kapuscinski, A. R. (2023). Sustainability careers. Annual Review of

Environment and Resources, 48, 589-613.

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-120920-105353#right-ref-B8>

Bribián, I. Z., Capilla, A. V., & Usón, A. A. (2011). *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. *Building and Environment*, 46(5), 1133–1140.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>

Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), & Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). (2021). *Guía de gestión sostenible y circular en obras*. CAMACOL & CCCS. Recuperado de

<https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/2023/05/guia-de-gestion-sostenible-y-circular-en-obras.pdf>

Cárdenas, J. A. (2019). *Principales medidas adoptadas en las empresas y en los proyectos de ingeniería civil para la generación de productos limpios* [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/35948>

Castiblanco, C. (2023, 28 de noviembre). *Bogotá cuenta con nuevo modelo de residuos de construcción y demolición*. Bogotá.gov.co. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/bogota-cuenta-nuevo-modelo-de-residuos-de-construccion-y-demolicion>

Castiblanco, C. (2020, 23 de septiembre). *Control ambiental de residuos de construcción y demolición en Bogotá*. Bogotá.gov.co. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/control-ambiental-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-en-bogota>

Catorce6. (s.f.). *Ciudades llenas de escombros*. <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/habitat/12015-ciudades-llenas-de-escombros>

Centro Latinoamericano de Innovación en Logística (Logyca), & Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Logística inversa de residuos de construcción y demolición RCD en Colombia*

[Informe ejecutivo]. Recuperado de <https://logyca.com/sites/default/files/documentos-recursos/Informe-Ejecutivo-RCD-DNP.pdf>

Cho, N., El Asmar, M., & Aldaaja, M. (2022). *An analysis of the impact of the circular economy application on construction and demolition waste in the United States of America*. *Sustainability*, 14(16), 10034. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/16/10034/pdf>

Circular Construction Economy. (2018). *The Circular Construction Economy Transition Agenda: Building Towards the Circular Economy in the Netherlands in 2050 Together*. <https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2019/09/Circular-Construction-Economy-1.pdf>

Colombia Productiva. (2019). *Guía empresarial de economía circular*. <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia-empresarial-de-economia-circular/200310-cartilla-economia-circular>

Comisión Europea. (2016). *Protocolo de manejo de RCD de la Unión Europea*. Recuperado de <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/>

Comisión Europea. (2018, mayo). *Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings. EU Construction and Demolition Waste Management*. Recuperado de <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/31521/attachments/1/translations/en/renditions/native>

Comisión Europea. (2020). *A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe* [Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions]. <https://www.eu2020.de/resource/blob/2429166/156d2d98b66b2ff28b6990161eed91e9/12-17-kreislaufwirtschaftsaktionsplan-bericht-de-data.pdf>

Concejo de Bogotá D.C. (2006, 30 de noviembre). *Acuerdo 257 de 2006*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22307>

Concejo de Bogotá D.C. (2012, 12 de junio). *Acuerdo 489 de 2012*. Bogotá, Colombia.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47766>

Consejo de Estado. (2019, 29 de agosto). *Fallo 00173 de 2019*. Bogotá, Colombia.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=105752>

De Castro, M. R. (2024). *Acero y Economía Circular: un compromiso por el desarrollo sostenible*. Camacol.

Recuperado de

<https://camacol.co/sites/default/files/Acero%20y%20econom%C3%ADa%20circular%20Un%20compromiso%20por%20el%20desarrollo%20sostenible.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2018, 23 de marzo). *Documento CONPES 3919: Política nacional para la gestión integral de residuos de construcción y demolición*. Bogotá, Colombia.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *What is the Circular Economy*.

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

European Environment Agency. (1999). *Making sustainability accountable: Eco-efficiency, resource productivity and innovation: Proceedings of a workshop on the occasion of the Fifth Anniversary of the European Environment Agency (EEA)* (Topic report No. 11/1999). European Environment Agency. Recuperado de

https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/topic_report_no_111999

Freire, E. E. E. (2020). *La búsqueda de información científica en las bases de datos académicas*. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 3(1), 31-35. <https://doi.org/10.62452/z5re7v21>

- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). *Construction and demolition waste best management practice in Europe*. Resources, Conservation and Recycling, 136, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- Ghaffar, S. H., Burman, M., & Braimah, N. (2020). *Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery*. Journal of Cleaner Production, 244, 118710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619335802>
- Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). *Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector*. A literature review. Journal of Cleaner Production, 178, 618-643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>
- Global Cement and Concrete Association. (2024). *Cement and Concrete Around the World*. Recuperado de <https://gccassociation.org/concretefuture/cement-concrete-around-the-world/>
- Gobierno de la República de Colombia. (1974, 18 de diciembre). *Ley 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Bogotá, Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-2811-de-1974.pdf>
- Gobierno de la República de Colombia. (1991, 20 de julio). *Constitución Política de Colombia de 1991*. Bogotá, Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=4125
- Gobierno de la República de Colombia. (1993, 22 de diciembre). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA)*. Bogotá, Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=297
- Gobierno de la República de Colombia. (2002, 6 de agosto). *Decreto 1713 de 2002: Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos sólidos*. Bogotá, Colombia. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=5542

Gobierno de la República de Colombia. (2005, 3 de marzo). *Decreto 838 de 2005: Por el cual se reglamenta la disposición final de residuos sólidos*. Bogotá, Colombia.

https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=16123

Gobierno de la República de Colombia, Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2019). *Estrategia nacional de economía circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2021). *NTC 6421: Etiquetas ambientales Tipo I. Sello ambiental colombiano (SAC). Criterios ambientales para el uso de agregados gruesos reciclados en el concreto hidráulico*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2021). *NTC 6422: Agregados. Método para el examen y la identificación de componentes en agregados gruesos reciclados*.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2018). *Norma IDU 533-18: Directrices para el uso de material bituminoso reciclado (MBR) en pavimentos*. IDU.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2019). *Norma Técnica IDU 2019: Especificaciones técnicas para infraestructura vial y espacio público con uso de agregados reciclados*. IDU.

Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>

Keobra. (2020, abril 3). *Clasificación de los materiales de construcción*. keobra.com. Recuperado de

<https://keobra.com/clasificacion-de-los-materiales-de-construccion>

König, H., Kohler, N., Kreissig, J., & Lützkendorf, T. (2010). *A life cycle approach to buildings*. DETAIL-

Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG.

<https://doi.org/10.11129/detail.9783955531706>

Li, C. Z., Zhao, Y., Xiao, B., Yu, B., Tam, V. W., Chen, Z., & Ya, Y. (2020). *Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management*. Journal of Cleaner Production, 263, 121458.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620315055>

Martínez, D. (2024, abril 4). *Ciudad de México, pionera en América Latina en reciclaje de residuos de construcción*. El Heraldo de México. Recuperado de <https://heraldodemexico.com.mx/edicion-impresa/2024/4/4/ciudad-de-mexico-pionera-en-america-latina-en-reciclaje-de-residuos-de-construccion-591459.html>

Ministerio de Ambiente. (1994, 14 de diciembre). *Resolución 541 de 1994: Por la cual se reglamenta el manejo de escombros y materiales de construcción*. Bogotá, Colombia.

<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0541%20-%201994.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia*. (Colombia).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017, 28 de febrero). *Resolución 0472 de 2017: Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición RCD y se dictan otras disposiciones*. (Colombia). Recuperado de

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68359&dt=S>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021, 23 de noviembre). *Resolución 1257 de 2021: Por la cual se establecen los requisitos para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD)*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Guía de materiales para la construcción sostenible*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf>
- Páez, C., & Pacheco, C. (2019). *Guía para el manejo integral de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Barranquilla* [Tesis de grado, Universidad del Norte]. Repositorio Institucional Universidad del Norte. <http://hdl.handle.net/10584/8725>
- Papasavva, S., Kia, S., Claya, J., & Gunther, R. (2002). Life cycle environmental assessment of paint processes. *Journal of Coatings Technology*, 74(925), 65-76. <https://doi.org/10.1007/BF02720151>
- Pardo, N., & Moya, J. A. (2013). Prospective scenarios on energy efficiency and CO2 emissions in the European Iron & Steel industry. *Energy*, 54, 113-128. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.015>
- Peña Muñoz, S., Terán Puerta, J. F., Molina Sánchez, J. A., Cañola, H. D., Builes-Jaramillo, A., & Zuluaga, J. U. (2021). Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Aburrá. *Cuaderno Activa*, 10(1), 79–90. <https://doi.org/10.53995/20278101.496>
- Pérez, S. P. M., Sánchez, D. M. D., Capuñay, E. E. G., & Bustamante, J. A. C. (2021). La Influencia de los RCD en reemplazo de los agregados para la elaboración de concreto: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 107-120. <https://doi.org/10.46480/esj.5.2.111>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2015). *Global Waste Management Outlook*. Recuperado de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9672/->

[Global Waste Management Outlook-](#)

[2015Global Waste Management Outlook.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=](#)

Ragossnig, A. M. (2020). Construction and demolition waste—major challenges ahead!. *Waste Management & Research*, 38(4), 345-346.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X20910309>

Rebello, T. A., Zulcão, R., Calmon, J. L., & Gonçalves, R. F. (2019). Comparative life cycle assessment of ornamental stone processing waste recycling, sand, clay and limestone filler. *Waste Management & Research*, 37(2), 186-195. <https://doi.org/10.1177/0734242X188199>

Rondón Quintana, H. A., León Vergara, O. I., & Fernández Gómez, W. D. (2017). *Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto*. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612017000100152&script=sci_arttext

Sáez, P. V., & Osmani, M. (2019). A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118400.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619332706>

Salazar, D. L. M., Córdoba, A. L. L., & Molina, J. S. (2023). Desarrollo de bloques de concreto livianos utilizando residuos de construcción y demolición, y cenizas de termoelectrica. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 2(42), 78-85.

<https://doi.org/10.24054/rcta.v2i42.2672>

Sanchez, J., Sanchez, J. V., & Bautista-Ruiz, J. (2023). *Economía Circular un aporte a través del aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición RCD*.

<https://repositorio.ufps.edu.co/flip/index.jsp?pdf=/bitstream/handle/ufps/6716/Libro%20Comp leto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2011, 25 de abril). *Resolución 2397 de 2011*. Bogotá, Colombia. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=42762>

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2012, 26 de septiembre). *Resolución 1115 de 2012*. Bogotá, Colombia. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49822>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2015, 9 de julio). *Resolución 932 de 2015: Por medio de la cual se modifica el artículo 5 de la Resolución 1115 de 2012 sobre la inscripción de grandes generadores de RCD*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62579>

Secretaría Distrital de Ambiente, Observatorio Ambiental de Bogotá. (s.f.). *Número de Escombros o Residuos de Construcción y Demolición Controlados Dispuestos Adecuadamente - TRCDCDA*.

Recuperado el 20 de enero de 2025, de <https://oab.ambientebogota.gov.co/numero-de-escombros-o-residuos-de-construccion-y-demolicion-controlados-dispuestos-adecuadamente/>

Secretaría Distrital de Ambiente, Observatorio Ambiental de Bogotá. (s.f.). *Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA*. Recuperado el 02 de abril de 2025, de <https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-de-construccion-y-demolicion-aprovechados-en-el-distrito-capital/>

Smahina, A. (2023). *Circular construction in the Kharkiv region: Ukraine uses demolition waste for reconstruction*. Rubryka. <https://rubryka.com/en/article/tsyrkulyarne-budivnytstvo/>

Sociedad Colombiana de Arquitectos. (2023). *Panorama del acero en Colombia desde la perspectiva de la directora ejecutiva del Comité de Productores de Acero de la ANDI*. Recuperado de <https://sociedadcolombianadearquitectos.org/panorama-del-acero-en-colombia-desde-la-perspectiva-de-la-directora-ejecutiva-del-comite-de-productores-de-acero-de-la-andi/>

Sönmez, N., & Kalfa, S. M. (2023). Investigation of construction and demolition wastes in the European Union member states according to their directives. *Contemp J Econ Finance*, 1(2), 7-26. <https://researchleap.com/investigation-of-construction-and-demolition-wastes-in-the-european-union-member-states-according-to-their-directives/>

Subdirección de Control Ambiental al Sector Público. (2012, septiembre 4). *Memorando nº*

2012IE107218. Bogotá, Colombia.

Subdirección de Control Ambiental al Sector Público. (2012, 19 de septiembre). *Memorando nº*

2012IE113646. Bogotá, Colombia.

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (2023). *Informe Nacional de Disposición*

Final de Residuos Sólidos. Recuperado de

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf>

Tecnalía. (2017, 28 de noviembre). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía*

circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde: Producto 1. Diagnóstico de eficiencia

en el uso de materiales y cierre de ciclos en los sectores manufacturero y de construcción en

Colombia: contraste frente a experiencias internacionales. DNP - Departamento Nacional de

Planeación; Misión de Crecimiento Verde. Recuperado de

<https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/ad3a912d-3a26-4462-8a4f-a9929ba18ae6/content>

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). (2021). *Modelo de aprovechamiento 2021*.

Bogotá: UAESP. Recuperado de

https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_Modelo_de_aprovechamiento.pdf

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (2013). *Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la*

Construcción en México (1.a ed.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en_Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-yEcodiseno-para-la-Construccion-en-Mexico.pdf)

[9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en_Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-yEcodiseno-para-la-Construccion-en-Mexico.pdf)

[Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-yEcodiseno-para-la-](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en_Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-yEcodiseno-para-la-Construccion-en-Mexico.pdf)

[Construccion-en-Mexico.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en_Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-yEcodiseno-para-la-Construccion-en-Mexico.pdf)

- Useche, P. M. H. (1995). *La convencion de basilea y el tratamiento de desechos peligrosos*. Pensamiento Jurídico, (2). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/peju/article/view/38901>
- Vargas, M. J. (2019). *Investigación sobre el manejo de residuos en construcción entre Europa, América, y Colombia* [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/21255>
- Villagrán-Zaccardi, Y. A., Marsh, A. T., Sosa, M. E., Zega, C. J., De Belie, N., & Bernal, S. A. (2022). Complete re-utilization of waste concretes–Valorisation pathways and research needs. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 105955. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005644>
- Wang, T., Xiao, F., Zhu, X., Huang, B., Wang, J., & Amirkhanian, S. (2018). Consumo energético e impacto ambiental del pavimento asfáltico cauchutado. *Revista de producción más limpia*, 180, 139-158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.086>
- Wijkman, A., & Skånberg, K. (2015). *The circular economy and benefits for society*. Club of Rome. Recuperado de <https://www.clubofrome.org/wp-content/uploads/2020/03/The-Circular-Economy-and-Benefits-for-Society.pdf>
- Wu, H., Zuo, J., Zillante, G., Wang, J., & Yuan, H. (2019). Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118163. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619330331>
- Zhao, Q., Gao, W., Su, Y., Wang, T., & Wang, J. (2023). How can C&D waste recycling do a carbon emission contribution for construction industry in Japan city?. *Energy and Buildings*, 298, 113538. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623113538>

Anexos