

Estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Medellín

Autor

Einer jose ruiz vega

Director

Gustavo garcia quintero

Construccion arquitectura e ingenieria

Facultad de ciencias y tecnologia

Universidad santo tomas: CAU Monteria

2026

Contenido

Resumen.....	5
Introducción	7
Formulación del problema	11
Delimitación del problema	14
Justificación	17
Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
Marco teórico	22
Economía circular: fundamentos conceptuales.....	22
Residuos de construcción y demolición (RCD).....	23
Métodos de aprovechamiento de los RCD	24
Barreras para la implementación de la economía circular	24
Economía circular en contextos urbanos y países en desarrollo.....	26
Metodología	27
Enfoque y tipo de investigación	27
Diseño metodológico	27
Fase 1: Revisión bibliográfica y bibliométrica	27
Fase 2: Análisis normativo	28
Fase 3: Estudio de caso	28
Fase 4: Diagnóstico del sistema actual	29
Fase 5: Formulación de la propuesta	29
Técnicas e instrumentos de recolección de información	30
Análisis de la información	30
Alcances y limitaciones	30

Resultados	31
Resultados de la revisión bibliográfica y bibliométrica	31
Resultados del análisis normativo.....	32
Resultados del estudio de caso	32
Diagnóstico del sistema actual de gestión de RCD.....	33
Discusión	35
Brecha entre teoría y práctica en la economía circular.....	35
Limitaciones del enfoque normativo	35
Barreras estructurales en la gestión de RCD	36
Viabilidad de la economía circular en contextos locales.....	37
Implicaciones para la formulación de estrategias	37
Propuesta: Estrategia de transición hacia la economía circular en la gestión de (RCD) en Medellín	38
Enfoque general de la estrategia.....	38
Estructura de la estrategia	39
Componente 1: Gestión en obra	39
Acciones propuestas:.....	39
Componente 2: Aprovechamiento técnico de los RCD	40
Componente 3: Articulación de actores	41
Componente 4: Seguimiento y control	42
Fases de implementación	42
Fase 1: Preparación	42
Fase 2: Implementación.....	43
Fase 3: Consolidación	43
Viabilidad de la propuesta.....	43
Aporte de la propuesta	43
Metas cuantificadas de implementación	44
Componente económico y viabilidad financiera.....	44
Modelo piloto de implementación.....	45
Centro de acopio y valorización de RCD	46

Plataforma de articulación de RCD	47
Indicador clave: Índice de circularidad en obra	47
Impacto esperado de la estrategia	48
Conclusiones	49
Referencias.....	52

Resumen

La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) representa uno de los principales desafíos ambientales del sector de la construcción, debido a su alto volumen de generación y a las limitaciones en su manejo y aprovechamiento. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los RCD en Medellín, Colombia, orientada a su aprovechamiento efectivo bajo condiciones técnicas, económicas e institucionales reales.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto de carácter cualitativo-aplicado, el cual integró la revisión bibliográfica y bibliométrica, el análisis del marco normativo vigente, el estudio de caso del contexto local, el diagnóstico del sistema actual de gestión de los RCD y el análisis comparativo de experiencias internacionales. Esta aproximación permitió comprender la problemática desde múltiples dimensiones y establecer una base sólida para la formulación de la propuesta.

Los resultados evidenciaron que, a pesar del desarrollo teórico y técnico de la economía circular, su implementación en el sector de la construcción en Medellín es limitada, predominando un modelo lineal basado en la disposición final de los residuos. Asimismo, se identificaron barreras de carácter técnico, económico, institucional y cultural que dificultan la adopción de prácticas de aprovechamiento, así como una débil articulación entre los actores involucrados en la gestión de los RCD.

A partir de estos hallazgos, se formuló una estrategia estructurada en componentes operativos, técnicos y organizacionales, que incluye la gestión en obra, el aprovechamiento de los residuos, la articulación de actores y el seguimiento mediante indicadores. La

propuesta incorpora elementos de fortalecimiento como metas cuantificadas, un modelo piloto de implementación, un centro de acopio y valorización, y una plataforma de articulación, lo que permite su aplicación en condiciones reales y su evaluación mediante indicadores de desempeño.

Se concluye que la transición hacia la economía circular en la gestión de los RCD es viable en el contexto analizado, siempre que se adopte un enfoque progresivo que considere las condiciones específicas del entorno y promueva la integración de los diferentes actores del sector. En este sentido, la investigación aporta tanto al desarrollo académico del tema como a la formulación de soluciones aplicables que contribuyen a la sostenibilidad del sector de la construcción.

Palabras clave: economía circular, residuos de construcción y demolición, sostenibilidad, gestión de residuos, aprovechamiento de materiales.

Introducción

El sector de la construcción constituye uno de los principales motores del desarrollo económico y urbano a nivel global; sin embargo, su crecimiento ha estado estrechamente vinculado a un elevado consumo de recursos naturales y a la generación significativa de residuos, particularmente aquellos derivados de actividades de construcción y demolición. Estos residuos, conocidos como residuos de construcción y demolición (RCD), representan una de las fracciones más voluminosas dentro de los residuos sólidos urbanos, lo que plantea desafíos ambientales asociados a su manejo, disposición y potencial de aprovechamiento (Lu et al., 2011). En este contexto, la gestión inadecuada de los RCD ha sido identificada como una fuente relevante de contaminación del suelo, ocupación de espacios no autorizados y presión sobre los sistemas de disposición final.

Tradicionalmente, el sector de la construcción ha operado bajo un modelo lineal de producción caracterizado por la extracción de materias primas, su transformación en productos y la posterior generación de residuos, sin considerar el cierre de los ciclos de materiales. Este modelo ha demostrado ser insostenible en el largo plazo, dado que implica un uso intensivo de recursos y una baja eficiencia en la gestión de los residuos generados. En respuesta a esta problemática, la economía circular ha emergido como un paradigma alternativo que propone mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible, mediante estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y valorización (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017). De acuerdo con Geissdoerfer et al. (2017), este enfoque no solo redefine los procesos productivos, sino que también transforma la forma en que se

conciben los sistemas económicos, promoviendo la sostenibilidad a través del cierre de ciclos de materiales.

En el sector de la construcción, la aplicación de la economía circular implica reconocer a los RCD no como desechos, sino como recursos potenciales que pueden ser reincorporados en nuevos procesos productivos. Diversos estudios han demostrado que materiales como el concreto, los agregados y otros componentes constructivos pueden ser reciclados o reutilizados con fines estructurales o no estructurales, reduciendo así la demanda de materias primas vírgenes y los impactos ambientales asociados (Huang et al., 2018; Silva et al., 2014). No obstante, a pesar del desarrollo técnico de estos métodos, su implementación en la práctica sigue siendo limitada, especialmente en contextos donde existen barreras relacionadas con factores económicos, institucionales y culturales (Ajayi et al., 2017; Yuan, 2013).

A nivel internacional, la transición hacia modelos de economía circular ha sido impulsada por políticas públicas, marcos regulatorios y estrategias sectoriales orientadas a promover el aprovechamiento de los residuos y la eficiencia en el uso de los recursos. Instituciones como la European Commission (2020) han establecido planes de acción que buscan integrar estos principios en distintos sectores productivos, incluyendo la construcción. Sin embargo, la adopción de estas estrategias en países en desarrollo presenta desafíos particulares, dado que las condiciones técnicas, la disponibilidad de infraestructura y la capacidad institucional difieren significativamente de los contextos en los cuales estos modelos han sido implementados con éxito (Kaza et al., 2018; CEPAL, 2018).

En el contexto colombiano, la gestión de los residuos de construcción y demolición ha sido objeto de regulación mediante instrumentos normativos que buscan promover su manejo

adecuado y su aprovechamiento. No obstante, la aplicación de estas normativas en la práctica ha evidenciado limitaciones que reflejan una brecha entre la regulación existente y las dinámicas reales del sector de la construcción. En ciudades como Medellín, donde el crecimiento urbano ha sido acelerado, esta problemática adquiere una mayor relevancia, dado el incremento en la generación de RCD y las dificultades para su gestión eficiente.

En este sentido, se hace necesario avanzar hacia enfoques que no solo se fundamenten en el desarrollo teórico de la economía circular, sino que también consideren las condiciones reales de implementación en contextos específicos. Tal como lo plantea la literatura reciente, la transición hacia modelos circulares en la construcción requiere no solo soluciones técnicas, sino también la articulación de actores, la adaptación de marcos normativos y la transformación de las prácticas tradicionales del sector (Adams et al., 2017; Gálvez-Martos et al., 2018).

Bajo esta perspectiva, la presente investigación se orienta a analizar la gestión de los residuos de construcción y demolición desde un enfoque de economía circular, integrando herramientas metodológicas que permitan comprender la problemática desde múltiples dimensiones. Para ello, se adopta un enfoque metodológico mixto de carácter cualitativo-aplicado, que combina la revisión bibliográfica, el análisis normativo, el estudio de caso del contexto de Medellín, el diagnóstico del sistema actual de gestión de los RCD y el análisis comparativo de experiencias internacionales.

En consecuencia, el objetivo central de este trabajo es diseñar una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los residuos de construcción y demolición en Medellín, Colombia, que permita su aprovechamiento efectivo bajo condiciones técnicas, económicas e institucionales reales. De esta manera, se busca

contribuir tanto al desarrollo académico del tema como a la formulación de soluciones aplicables que faciliten la implementación de modelos sostenibles en el sector de la construcción.

Formulación del problema

El crecimiento sostenido del sector de la construcción ha generado transformaciones significativas en el desarrollo urbano de las ciudades, particularmente en contextos como Medellín, donde la expansión de infraestructura y vivienda ha incrementado de manera considerable la demanda de materiales y, en consecuencia, la generación de residuos de construcción y demolición (RCD). Estos residuos constituyen una de las principales corrientes de desechos sólidos a nivel urbano, no solo por su volumen, sino también por la complejidad de su gestión, lo que los convierte en un desafío ambiental y operativo relevante (Lu et al., 2011). En este sentido, la acumulación y disposición inadecuada de los RCD ha sido asociada a impactos negativos como la degradación del suelo, la ocupación de espacios no autorizados y el aumento de costos en los sistemas de disposición final.

A pesar de la magnitud de esta problemática, la gestión de los RCD en el sector de la construcción continúa desarrollándose predominantemente bajo un modelo lineal, en el cual los materiales son extraídos, utilizados y posteriormente descartados sin considerar su potencial de aprovechamiento. Este enfoque, ampliamente cuestionado en la literatura, refleja una baja eficiencia en el uso de los recursos y una limitada incorporación de prácticas sostenibles en los procesos constructivos (Ghisellini et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017). En consecuencia, una proporción significativa de los materiales que podrían ser reutilizados o reciclados termina siendo tratada como residuo, lo que incrementa la presión sobre los recursos naturales y los sistemas de gestión de residuos.

Diversos estudios han señalado que la generación de RCD no depende únicamente del volumen de actividad constructiva, sino también de factores asociados a la planificación, el

manejo de materiales y las prácticas en obra. En particular, la falta de estrategias de control y optimización en el uso de insumos contribuye a niveles elevados de desperdicio, lo que evidencia deficiencias en la gestión interna del sector (Ajayi et al., 2017; Osmani, 2012). Asimismo, la limitada implementación de prácticas como la separación en la fuente y la reutilización de materiales reduce las posibilidades de aprovechamiento, consolidando un sistema orientado principalmente a la disposición final.

En respuesta a esta problemática, la economía circular ha sido propuesta como un enfoque capaz de transformar el modelo lineal tradicional en un sistema más eficiente y sostenible, en el cual los residuos son concebidos como recursos que pueden reincorporarse en nuevos ciclos productivos. Este modelo promueve estrategias como la reutilización, el reciclaje y la valorización de materiales, con el objetivo de reducir la generación de desechos y optimizar el uso de los recursos (Kirchherr et al., 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación de la economía circular en el sector de la construcción presenta importantes limitaciones, especialmente en contextos donde las condiciones técnicas e institucionales no favorecen su adopción.

En el caso de Medellín, la gestión de los RCD se encuentra condicionada por múltiples factores que dificultan la transición hacia modelos circulares. Entre estos factores se destacan la limitada infraestructura para el tratamiento y aprovechamiento de residuos, la falta de articulación entre los actores del sector, el desconocimiento de métodos técnicos de valorización y la persistencia de prácticas tradicionales centradas en la disposición final. Estas barreras coinciden con lo identificado en estudios internacionales, donde se señala que la implementación de estrategias de economía circular en la construcción requiere no

solo soluciones técnicas, sino también cambios en la organización del sector y en las dinámicas institucionales (Yuan, 2013; Adams et al., 2017).

Adicionalmente, aunque en Colombia existe un marco normativo orientado a la gestión integral de los RCD, su aplicación en la práctica presenta limitaciones que evidencian una brecha entre la regulación y su implementación efectiva. Esta situación se traduce en un bajo nivel de cumplimiento de las disposiciones existentes y en una limitada promoción de prácticas de aprovechamiento, lo que restringe el desarrollo de modelos más sostenibles en el sector. En este contexto, organismos internacionales han señalado que en países en desarrollo la gestión de residuos enfrenta desafíos estructurales asociados a la capacidad institucional, la disponibilidad de recursos y la articulación entre actores, lo que dificulta la adopción de enfoques innovadores (Kaza et al., 2018; CEPAL, 2018).

A partir de lo anterior, se evidencia que la problemática no radica únicamente en la generación de los residuos, sino en la ausencia de estrategias efectivas que permitan su aprovechamiento bajo condiciones reales. Existe, por tanto, una desconexión entre el desarrollo teórico de la economía circular y su aplicación en el contexto local, lo que limita la transición hacia modelos de gestión más sostenibles.

En este sentido, el problema de investigación se centra en la dificultad para diseñar e implementar estrategias que permitan la incorporación efectiva de la economía circular en la gestión de los residuos de construcción y demolición en Medellín, considerando las barreras técnicas, económicas e institucionales existentes. Esta problemática requiere ser abordada mediante un enfoque que integre el análisis teórico con la comprensión del contexto real, permitiendo formular soluciones aplicables y viables.

En consecuencia, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo diseñar e implementar una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de residuos de construcción y demolición en Medellín, Colombia, que permita su aprovechamiento efectivo bajo condiciones técnicas, económicas e institucionales reales?

Delimitación del problema

La presente investigación se delimita al análisis y formulación de una estrategia de transición hacia la economía circular aplicada a la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en el contexto urbano de Medellín, Colombia. Esta delimitación responde a la necesidad de abordar la problemática desde un entorno específico, en el cual el crecimiento del sector de la construcción ha generado un incremento sostenido en la producción de residuos, lo que permite analizar de manera concreta las dinámicas que condicionan su gestión y aprovechamiento (Lu et al., 2011).

Desde una perspectiva conceptual, el estudio se centra en la aplicación de los principios de la economía circular en el sector de la construcción, entendida como un modelo que busca mantener los materiales en uso mediante estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y valorización. Este enfoque implica una transformación del modelo lineal tradicional hacia sistemas más eficientes en el uso de recursos, en los cuales los residuos son concebidos como insumos potenciales para nuevos procesos productivos (Kirchherr et al., 2017; Geissdoerfer et al., 2017). No obstante, la investigación no aborda de manera integral todas las dimensiones de la sostenibilidad en la construcción, como el diseño energético o la

eficiencia hídrica, sino que se enfoca específicamente en la gestión y el aprovechamiento de los RCD como eje central del análisis.

En cuanto al alcance temático, la investigación se orienta a la identificación, análisis y formulación de estrategias que permitan mejorar la gestión de los RCD mediante la incorporación de prácticas de economía circular. En este sentido, se consideran aspectos relacionados con la generación de residuos, su manejo en obra, las posibilidades de reutilización y reciclaje, así como los factores que influyen en su implementación. Diversos estudios han señalado que una gestión eficiente de los residuos en la construcción requiere integrar tanto soluciones técnicas como cambios en las prácticas operativas del sector (Ajayi et al., 2017; Osmani, 2012), lo que justifica la necesidad de abordar el problema desde una perspectiva integral.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto de carácter cualitativo-aplicado, el cual permite integrar el análisis teórico con la comprensión del contexto real. En este marco, la investigación incluye una revisión bibliográfica y bibliométrica orientada a identificar tendencias y enfoques en la literatura científica, así como un análisis normativo que permite examinar el alcance y las limitaciones de la regulación vigente en Colombia en materia de gestión de RCD. Este tipo de aproximación resulta fundamental para consolidar una base conceptual sólida, tal como lo destacan Ghisellini et al. (2016) en relación con la transición hacia modelos de economía circular.

Adicionalmente, la investigación incorpora un estudio de caso centrado en la ciudad de Medellín, mediante el cual se analizan las condiciones actuales de la gestión de los RCD, incluyendo la identificación de actores, procesos y prácticas predominantes. Este análisis se complementa con un diagnóstico del sistema actual, el cual permite reconocer las

principales problemáticas, barreras y oportunidades para la implementación de estrategias de economía circular. La importancia de considerar el contexto específico ha sido ampliamente señalada en la literatura, dado que las condiciones locales influyen directamente en la viabilidad de las soluciones propuestas (Yuan, 2013).

Por otra parte, el estudio incluye un análisis comparativo de experiencias internacionales en la implementación de la economía circular en el sector de la construcción, con el fin de identificar prácticas que puedan ser adaptadas al contexto colombiano. Sin embargo, se reconoce que la transferencia de modelos desarrollados en otros países debe realizarse con precaución, considerando las diferencias en términos de infraestructura, capacidad institucional y desarrollo económico. En este sentido, organismos internacionales han señalado que en países en desarrollo la implementación de estrategias de gestión de residuos requiere procesos de adaptación que respondan a las condiciones locales (Kaza et al., 2018; CEPAL, 2018).

En cuanto al alcance temporal, la investigación se centra en el análisis de literatura científica y normativa producida principalmente en las últimas dos décadas, periodo en el cual la economía circular ha adquirido relevancia como enfoque para la sostenibilidad. Este criterio permite integrar tanto los fundamentos teóricos del tema como los avances recientes en su aplicación en el sector de la construcción.

Es importante señalar que la investigación no contempla la implementación directa de la estrategia propuesta en campo, sino que se orienta a su formulación bajo criterios de viabilidad técnica, económica e institucional. En este sentido, el estudio se posiciona en un nivel aplicado-propositivo, en el cual se busca diseñar una estrategia que pueda ser utilizada como base para futuras implementaciones.

Finalmente, la delimitación del problema establece que el análisis se centrará en los actores principales del sector de la construcción, tales como empresas constructoras, entidades gubernamentales y gestores de residuos, sin profundizar en aspectos específicos de gobernanza más allá de lo necesario para contextualizar la problemática. No obstante, se reconoce que la articulación entre estos actores constituye un elemento clave para la implementación de estrategias de economía circular, tal como lo señalan Adams et al. (2017).

En consecuencia, esta delimitación permite enfocar la investigación en un ámbito claro, específico y pertinente, orientado a la formulación de una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los residuos de construcción y demolición en Medellín, bajo condiciones reales de implementación.

Justificación

La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) constituye una problemática de alta relevancia en el contexto actual, debido a su impacto ambiental, económico y social dentro del sector de la construcción. El crecimiento sostenido de las actividades constructivas, particularmente en entornos urbanos como Medellín, ha incrementado significativamente la generación de estos residuos, lo que plantea desafíos asociados a su manejo, disposición y potencial de aprovechamiento. En este sentido, diversos estudios han señalado que los RCD representan una de las principales corrientes de residuos sólidos, tanto por su volumen como por la diversidad de materiales que los

componen, lo que exige el desarrollo de estrategias de gestión más eficientes y sostenibles (Lu et al., 2011; Yuan, 2013).

Desde una perspectiva ambiental, la relevancia de esta investigación radica en la necesidad de reducir los impactos negativos asociados a la disposición inadecuada de los RCD, tales como la contaminación del suelo, la ocupación de espacios no autorizados y la presión sobre los sistemas de disposición final. Adicionalmente, la extracción continua de materias primas para la producción de materiales de construcción contribuye al agotamiento de recursos naturales, lo que refuerza la importancia de promover alternativas que permitan su uso más eficiente. En este contexto, la economía circular se presenta como un enfoque capaz de mitigar estos impactos mediante la reincorporación de los residuos en nuevos ciclos productivos, reduciendo la demanda de recursos vírgenes y optimizando el uso de materiales (Ghisellini et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017).

En el ámbito técnico, la justificación del estudio se sustenta en la existencia de métodos y tecnologías que permiten el aprovechamiento de los RCD, como el reciclaje de concreto, la reutilización de materiales y la producción de elementos constructivos a partir de residuos. Investigaciones previas han demostrado que estos métodos son viables y pueden ser implementados en diferentes contextos, generando beneficios tanto ambientales como económicos (Huang et al., 2018; Silva et al., 2014). Sin embargo, a pesar de estos avances, su aplicación en el sector de la construcción sigue siendo limitada, lo que evidencia la necesidad de desarrollar estrategias que faciliten su adopción en condiciones reales.

Desde el punto de vista económico, la implementación de prácticas de economía circular en la gestión de los RCD representa una oportunidad para optimizar el uso de recursos y reducir costos asociados a la adquisición de materiales y a la disposición final de residuos.

Además, el aprovechamiento de los RCD puede contribuir al desarrollo de nuevos mercados relacionados con la producción y comercialización de materiales reciclados, lo que genera valor agregado dentro del sector. En este sentido, la literatura ha destacado que la transición hacia modelos circulares no solo tiene implicaciones ambientales, sino también económicas, al promover sistemas más eficientes y competitivos (Kirchherr et al., 2017; Gálvez-Martos et al., 2018).

Por otra parte, la justificación de la investigación también se sustenta en la necesidad de abordar las limitaciones existentes en la implementación de la economía circular en contextos específicos como el colombiano. Aunque en el país se han establecido marcos normativos orientados a la gestión de los RCD, su aplicación en la práctica presenta dificultades que reflejan una brecha entre la regulación y las dinámicas reales del sector. Esta situación ha sido identificada en estudios sobre gestión de residuos en países en desarrollo, donde factores como la falta de infraestructura, la limitada capacidad institucional y la escasa articulación entre actores dificultan la adopción de estrategias sostenibles (Kaza et al., 2018; CEPAL, 2018).

En este contexto, la presente investigación adquiere relevancia al proponer un enfoque que no se limita al análisis teórico de la economía circular, sino que busca desarrollar una estrategia aplicable que considere las condiciones reales de implementación en Medellín. Tal como lo señalan Ajayi et al. (2017), la gestión eficiente de los residuos en la construcción requiere no solo soluciones técnicas, sino también cambios en las prácticas del sector y en la forma en que los actores interactúan entre sí.

Adicionalmente, el estudio contribuye al fortalecimiento del conocimiento académico en torno a la economía circular aplicada al sector de la construcción, integrando diferentes

enfoques metodológicos que permiten analizar la problemática desde múltiples dimensiones. Esta aproximación resulta pertinente, dado que la transición hacia modelos sostenibles implica la articulación de aspectos técnicos, normativos y culturales, lo que requiere un análisis integral del fenómeno (Adams et al., 2017).

Finalmente, la justificación de la investigación se sustenta en su carácter aplicado, orientado a la formulación de una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los RCD. Esta estrategia busca responder a una necesidad concreta del contexto, proporcionando herramientas que puedan ser utilizadas por los actores del sector para mejorar sus prácticas y avanzar hacia modelos más sostenibles. En este sentido, el estudio no solo aporta al ámbito académico, sino que también ofrece una base para la implementación de soluciones prácticas que contribuyan a la sostenibilidad del sector de la construcción.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Medellín, Colombia, que permita su aprovechamiento efectivo bajo condiciones técnicas, económicas e institucionales reales, promoviendo la reducción del modelo lineal de producción y la incorporación de prácticas sostenibles en el sector de la construcción.

Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte de la economía circular aplicada a la gestión de los residuos de construcción y demolición, identificando los principales enfoques teóricos, métodos de aprovechamiento y tendencias en la literatura científica.
- Examinar el marco normativo vigente en Colombia relacionado con la gestión de los RCD, evaluando su alcance, limitaciones y nivel de aplicación en el contexto real.
- Analizar experiencias internacionales en la implementación de la economía circular en el sector de la construcción, identificando estrategias y buenas prácticas que puedan ser adaptadas al contexto local.
- Formular una estrategia de transición progresiva que integre prácticas de aprovechamiento de los RCD, mecanismos de articulación entre actores e indicadores de seguimiento.

Marco teórico

Economía circular: fundamentos conceptuales

La economía circular surge como una respuesta a las limitaciones del modelo económico lineal tradicional, el cual se basa en la extracción de recursos, su transformación en productos y la posterior generación de residuos sin considerar su reincorporación en el sistema productivo. Este modelo ha sido ampliamente cuestionado debido a su baja eficiencia en el uso de los recursos y a los impactos ambientales asociados a la generación de desechos (Ghisellini et al., 2016). En contraste, la economía circular propone un enfoque orientado al cierre de ciclos de materiales, en el cual los residuos son concebidos como recursos potenciales que pueden ser reintegrados en nuevos procesos productivos.

Desde una perspectiva conceptual, la economía circular se fundamenta en principios como la reducción, reutilización, reciclaje y valorización de materiales, con el objetivo de prolongar su vida útil y minimizar la generación de residuos. Este enfoque implica una transformación en la forma en que se diseñan, producen y consumen los bienes, promoviendo sistemas más eficientes y sostenibles (Kirchherr et al., 2017). Asimismo, autores como Geissdoerfer et al. (2017) destacan que la economía circular no solo representa un cambio técnico en los procesos productivos, sino también una transformación sistémica que integra dimensiones ambientales, económicas y sociales.

En el ámbito de la construcción, la aplicación de la economía circular implica repensar la gestión de los materiales a lo largo de todo el ciclo de vida de las edificaciones, desde la etapa de diseño hasta la demolición. Esto incluye la incorporación de estrategias que permitan reducir la generación de residuos, así como fomentar su aprovechamiento mediante procesos de reutilización y reciclaje. De acuerdo con la Ellen MacArthur

Foundation (2013), la implementación de estos principios en sectores intensivos en recursos, como la construcción, es clave para avanzar hacia modelos de desarrollo más sostenibles.

Residuos de construcción y demolición (RCD)

Los residuos de construcción y demolición (RCD) comprenden todos aquellos materiales generados durante las actividades de construcción, remodelación y demolición de infraestructuras. Estos residuos incluyen una amplia variedad de materiales, como concreto, ladrillo, madera, metales y plásticos, lo que los convierte en una corriente compleja desde el punto de vista de su gestión (Lu et al., 2011).

La magnitud de los RCD a nivel global ha sido ampliamente documentada, destacándose su alta participación dentro del total de residuos sólidos generados en entornos urbanos. Esta situación se ve agravada por prácticas inadecuadas de manejo, como la disposición en sitios no autorizados o la falta de separación en la fuente, lo que limita las posibilidades de aprovechamiento de los materiales. En este sentido, Yuan (2013) señala que la eficiencia en la gestión de los RCD depende en gran medida de la implementación de estrategias que permitan su clasificación y tratamiento adecuado.

Además, la generación de RCD está directamente relacionada con la eficiencia de los procesos constructivos. Factores como la mala planificación, el manejo inadecuado de materiales y la falta de control en obra contribuyen a un incremento en los niveles de desperdicio. Tal como lo indican Ajayi et al. (2017), la reducción de residuos en la construcción requiere no solo soluciones técnicas, sino también mejoras en la gestión y organización de las actividades constructivas.

Métodos de aprovechamiento de los RCD

El aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición constituye uno de los pilares fundamentales de la economía circular en el sector de la construcción. Entre los principales métodos de valorización se encuentran la reutilización directa de materiales, el reciclaje y la transformación de residuos en nuevos productos constructivos.

El reciclaje de concreto, por ejemplo, ha sido ampliamente estudiado como una alternativa viable para la producción de agregados reciclados que pueden ser utilizados en nuevas mezclas de concreto. Investigaciones han demostrado que estos materiales pueden presentar propiedades adecuadas para aplicaciones estructurales y no estructurales, dependiendo de su tratamiento y procesamiento (Silva et al., 2014). De manera similar, Huang et al. (2018) destacan que la implementación de principios como el reciclaje y la reutilización permite reducir significativamente la cantidad de residuos enviados a disposición final.

Otro método relevante es la reutilización directa de materiales en obra, la cual consiste en aprovechar elementos constructivos sin necesidad de procesos de transformación complejos. Esta práctica no solo reduce la generación de residuos, sino que también disminuye la demanda de nuevos materiales, lo que genera beneficios económicos y ambientales. Asimismo, la prefabricación y el diseño modular han sido identificados como estrategias que facilitan la reducción de residuos, al optimizar el uso de materiales y mejorar la eficiencia de los procesos constructivos (Tam et al., 2007).

Barreras para la implementación de la economía circular

A pesar del potencial de la economía circular para mejorar la gestión de los RCD, su implementación en el sector de la construcción enfrenta diversas barreras que limitan su

adopción. Estas barreras pueden clasificarse en técnicas, económicas, institucionales y culturales.

Desde el punto de vista técnico, la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento y reciclaje de los residuos constituye una de las principales limitaciones. En muchos contextos, la ausencia de plantas de procesamiento y de tecnologías apropiadas dificulta el aprovechamiento de los materiales, lo que favorece la disposición final como alternativa predominante.

En el ámbito económico, los costos asociados a la implementación de prácticas de economía circular pueden representar un obstáculo para las empresas constructoras, especialmente cuando no existen incentivos que promuevan el uso de materiales reciclados. Ajayi et al. (2017) señalan que la percepción de mayores costos y riesgos asociados a la adopción de nuevas prácticas constituye una de las principales barreras para la reducción de residuos en la construcción.

Por otra parte, las barreras institucionales están relacionadas con la falta de articulación entre los actores del sector y con las limitaciones en la aplicación de la normativa existente. Aunque en muchos países se han desarrollado marcos regulatorios orientados a la gestión de los residuos, su implementación efectiva requiere mecanismos de control, seguimiento e incentivos que garanticen su cumplimiento.

Finalmente, las barreras culturales juegan un papel importante en la adopción de la economía circular, ya que implican cambios en la forma en que los actores del sector perciben y gestionan los residuos. Tal como lo plantean Adams et al. (2017), la transición

hacia modelos circulares requiere no solo transformaciones técnicas, sino también cambios en las prácticas y en la cultura organizacional.

Economía circular en contextos urbanos y países en desarrollo

La implementación de la economía circular en el sector de la construcción presenta características particulares en contextos urbanos de países en desarrollo, donde las condiciones técnicas, económicas e institucionales difieren de aquellas presentes en países desarrollados. En estos contextos, la gestión de los residuos enfrenta desafíos asociados a la limitada infraestructura, la capacidad institucional y la informalidad en las prácticas de manejo de residuos.

Organismos internacionales han señalado que la transición hacia modelos de economía circular en países en desarrollo requiere enfoques adaptados a las condiciones locales, que consideren las limitaciones existentes y promuevan soluciones viables (Kaza et al., 2018). Asimismo, la CEPAL (2018) destaca la importancia de integrar políticas públicas, incentivos económicos y estrategias de capacitación para fomentar la adopción de prácticas sostenibles.

En el caso de Colombia, la gestión de los RCD ha sido regulada mediante instrumentos normativos que buscan promover su manejo adecuado y su aprovechamiento. Sin embargo, la implementación de estas normativas en la práctica presenta desafíos que evidencian la necesidad de desarrollar estrategias que faciliten la transición hacia modelos más sostenibles en el sector de la construcción.

Metodología

Enfoque y tipo de investigación

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto de carácter cualitativo-aplicado, orientado a integrar el análisis teórico con la comprensión del contexto real de la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Medellín. Este enfoque permite combinar la revisión de literatura y el análisis conceptual con la identificación de condiciones prácticas de implementación, lo cual resulta pertinente para estudios orientados a la formulación de soluciones en contextos específicos. En este sentido, la literatura ha señalado que la integración de métodos cualitativos y aplicados favorece la comprensión de problemáticas complejas relacionadas con la sostenibilidad y la gestión de residuos (Ghisellini et al., 2016).

El carácter aplicado de la investigación se justifica en la necesidad de no limitarse a la descripción del problema, sino de avanzar hacia la formulación de una estrategia que pueda ser implementada en condiciones reales. De acuerdo con lo planteado por Yuan (2013), los estudios sobre gestión de RCD requieren enfoques que trasciendan el análisis teórico y se orienten a la generación de soluciones prácticas.

Diseño metodológico

El diseño metodológico se estructura en cinco fases interrelacionadas, las cuales permiten abordar la problemática desde diferentes dimensiones y garantizar la coherencia entre los objetivos planteados y los resultados esperados.

Fase 1: Revisión bibliográfica y bibliométrica

En esta fase se realizó una revisión sistemática de literatura científica relacionada con la economía circular y la gestión de RCD, con el fin de identificar los principales enfoques

teóricos, métodos de aprovechamiento y tendencias de investigación. La revisión incluyó artículos indexados en bases de datos académicas, así como informes de organismos internacionales.

Adicionalmente, se desarrolló un análisis bibliométrico orientado a identificar la evolución del tema, los autores más relevantes y las áreas de mayor desarrollo. Este tipo de análisis ha sido utilizado en estudios previos para mapear el conocimiento científico en torno a la economía circular (Kirchherr et al., 2017).

Fase 2: Análisis normativo

Se llevó a cabo un análisis del marco normativo vigente en Colombia relacionado con la gestión de los residuos de construcción y demolición, con el objetivo de evaluar su alcance, limitaciones y nivel de aplicación en el contexto real. Este análisis permitió identificar la existencia de instrumentos regulatorios orientados a promover la gestión adecuada de los RCD, así como las brechas entre la normativa y su implementación práctica.

La importancia del análisis normativo en estudios de gestión de residuos ha sido destacada en la literatura, dado que las políticas públicas juegan un papel fundamental en la adopción de prácticas sostenibles (Kaza et al., 2018).

Fase 3: Estudio de caso

La investigación incorpora un estudio de caso centrado en la ciudad de Medellín, el cual permite analizar las condiciones específicas del contexto en relación con la gestión de los RCD. Este enfoque facilita la comprensión de las dinámicas locales, incluyendo la identificación de actores, procesos y prácticas predominantes.

El uso de estudios de caso en investigaciones sobre gestión de residuos ha sido ampliamente recomendado, ya que permite contextualizar los hallazgos y adaptar las soluciones a realidades específicas (Yuan, 2013).

Fase 4: Diagnóstico del sistema actual

A partir del estudio de caso, se realizó un diagnóstico del sistema actual de gestión de los RCD, orientado a identificar las principales problemáticas, barreras y oportunidades para la implementación de la economía circular. Este diagnóstico incluyó el análisis de aspectos técnicos, económicos, institucionales y culturales que influyen en la gestión de los residuos.

La identificación de barreras constituye un elemento clave en la formulación de estrategias, tal como lo señalan Ajayi et al. (2017), quienes destacan la importancia de comprender los factores que limitan la adopción de prácticas de reducción y aprovechamiento de residuos.

Fase 5: Formulación de la propuesta

Con base en los resultados obtenidos en las fases anteriores, se procedió a la formulación de una estrategia de transición progresiva hacia la economía circular en la gestión de los RCD. Esta estrategia integra diferentes componentes, incluyendo prácticas de aprovechamiento, mecanismos de articulación entre actores e indicadores de seguimiento.

El enfoque progresivo de la estrategia responde a la necesidad de adaptar la implementación de la economía circular a las condiciones reales del contexto, reconociendo que la transición hacia modelos sostenibles requiere procesos graduales (Adams et al., 2017).

Técnicas e instrumentos de recolección de información

La investigación se basó en el uso de técnicas documentales, las cuales incluyen la recopilación y análisis de información proveniente de fuentes secundarias como artículos científicos, informes técnicos, normativas y documentos institucionales.

Entre los instrumentos utilizados se encuentran matrices de análisis bibliográfico y normativo, las cuales permitieron sistematizar la información recopilada y facilitar su interpretación. Este tipo de herramientas es comúnmente empleado en estudios de carácter cualitativo, ya que permite organizar grandes volúmenes de información de manera estructurada.

Análisis de la información

El análisis de la información se realizó mediante un enfoque cualitativo, basado en la interpretación y comparación de los datos obtenidos en las diferentes fases de la investigación. Este proceso permitió identificar patrones, relaciones y tendencias relevantes para la comprensión de la problemática.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el contexto local y experiencias internacionales, con el fin de identificar prácticas que puedan ser adaptadas a la realidad de Medellín. La literatura ha destacado la importancia de este tipo de análisis para la formulación de estrategias en gestión de residuos (Kaza et al., 2018).

Alcances y limitaciones

La investigación se orienta a la formulación de una estrategia aplicable, pero no contempla su implementación directa en campo, lo que constituye una limitación en términos de validación empírica. No obstante, el enfoque metodológico adoptado permite desarrollar una propuesta fundamentada en el análisis teórico y en la comprensión del contexto real.

Asimismo, el estudio se basa principalmente en fuentes secundarias, lo que implica una dependencia de la información disponible en la literatura y en documentos institucionales. Sin embargo, esta limitación se compensa mediante la integración de múltiples fuentes y enfoques, lo que permite obtener una visión amplia y fundamentada del problema.

Resultados

Resultados de la revisión bibliográfica y bibliométrica

El análisis de la literatura permitió identificar que la economía circular aplicada al sector de la construcción ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas dos décadas, consolidándose como un enfoque relevante en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD). Este incremento en la producción científica refleja una preocupación creciente por los impactos ambientales del modelo lineal tradicional y la necesidad de implementar estrategias orientadas al cierre de ciclos de materiales.

Desde el punto de vista conceptual, se evidenció una convergencia en torno a los principios fundamentales de la economía circular, particularmente en lo relacionado con la reducción, reutilización y reciclaje de materiales. No obstante, el análisis también permitió identificar una diversidad de enfoques en cuanto a su aplicación en el sector de la construcción, lo que sugiere que, aunque existe consenso teórico, aún no se ha consolidado un modelo único de implementación (Kirchherr et al., 2017).

En relación con los métodos de aprovechamiento de los RCD, la literatura destaca el reciclaje de concreto y la reutilización de materiales como las estrategias más desarrolladas.

Sin embargo, se identificó que gran parte de los estudios se enfocan en la viabilidad técnica de estos métodos, mientras que existe una menor cantidad de investigaciones orientadas a su implementación en contextos reales, lo que evidencia una brecha entre el desarrollo teórico y la aplicación práctica.

Resultados del análisis normativo

El análisis del marco normativo colombiano evidenció la existencia de instrumentos regulatorios orientados a la gestión integral de los RCD, los cuales establecen lineamientos para su manejo, transporte y disposición. No obstante, los resultados indican que, aunque la normativa contempla la necesidad de promover el aprovechamiento de los residuos, su aplicación en la práctica presenta limitaciones significativas.

Entre los principales hallazgos se identificó una débil articulación entre los diferentes actores encargados de la gestión de los RCD, así como la ausencia de mecanismos efectivos de control y seguimiento. Esta situación genera un escenario en el cual la normativa existe, pero no se traduce en cambios sustanciales en las prácticas del sector.

Asimismo, se evidenció que la regulación se enfoca principalmente en la disposición adecuada de los residuos, dejando en un segundo plano el desarrollo de estrategias orientadas a su valorización. Este enfoque limita el potencial de la economía circular, al no incentivar de manera suficiente el aprovechamiento de los materiales.

Resultados del estudio de caso

El análisis del contexto en la ciudad de Medellín permitió identificar que la gestión de los RCD se caracteriza por una predominancia de prácticas lineales, en las cuales la disposición final continúa siendo la alternativa más utilizada. Esta situación se encuentra asociada a factores como la falta de infraestructura para el tratamiento de residuos, el desconocimiento

de métodos de aprovechamiento y la limitada implementación de prácticas de separación en la fuente.

En cuanto a los actores del sistema, se identificó la participación de empresas constructoras, gestores de residuos y entidades gubernamentales; sin embargo, los resultados evidencian una baja articulación entre estos actores, lo que dificulta la implementación de estrategias coordinadas. Esta fragmentación del sistema coincide con lo señalado en estudios previos, donde se destaca la importancia de la colaboración entre actores para la adopción de prácticas de economía circular (Adams et al., 2017).

Adicionalmente, se observó que las prácticas de aprovechamiento de los RCD son incipientes y se limitan a casos específicos, lo que indica que la economía circular aún no ha sido incorporada de manera sistemática en el sector de la construcción en la ciudad.

Diagnóstico del sistema actual de gestión de RCD

A partir de la integración de los resultados anteriores, se identificaron las principales barreras que afectan la gestión de los RCD en Medellín:

- **Barreras técnicas:** insuficiente infraestructura para el reciclaje y tratamiento de residuos
- **Barreras económicas:** percepción de altos costos asociados a la implementación de prácticas circulares
- **Barreras institucionales:** limitada articulación entre actores y debilidades en la aplicación normativa
- **Barreras culturales:** resistencia al cambio y desconocimiento de estrategias de aprovechamiento

Estas barreras evidencian que la problemática no se limita a la disponibilidad de soluciones técnicas, sino que está relacionada con factores estructurales que condicionan la gestión de los residuos. En este sentido, los resultados confirman lo planteado por Ajayi et al. (2017), quienes señalan que la reducción de residuos en la construcción depende de múltiples variables más allá de la tecnología disponible.

Por otra parte, el diagnóstico permitió identificar oportunidades relevantes, entre las que se destacan el potencial de aprovechamiento de materiales como el concreto, la existencia de un marco normativo que puede ser fortalecido y el creciente interés por la sostenibilidad en el sector.

La integración de los hallazgos obtenidos en las diferentes fases de la investigación permite establecer que existe una brecha significativa entre el desarrollo teórico de la economía circular y su aplicación en la gestión de los RCD en Medellín. Esta brecha se manifiesta en la limitada implementación de prácticas de aprovechamiento, a pesar de la disponibilidad de métodos técnicos y de la existencia de marcos normativos orientados a su gestión.

Asimismo, los resultados evidencian que la transición hacia modelos de economía circular requiere abordar no solo aspectos técnicos, sino también factores económicos, institucionales y culturales que influyen en la adopción de nuevas prácticas. En este sentido, se confirma la necesidad de desarrollar estrategias que integren estos elementos y que permitan una implementación progresiva adaptada al contexto local.

Discusión

Brecha entre teoría y práctica en la economía circular

Los resultados obtenidos evidencian una brecha estructural entre el desarrollo teórico de la economía circular y su implementación en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Medellín. Aunque la literatura ha consolidado un marco conceptual robusto orientado al cierre de ciclos de materiales y a la valorización de residuos, su aplicación en contextos reales continúa siendo limitada. Esta situación coincide con lo planteado por Kirchherr et al. (2017), quienes señalan que la economía circular, pese a su amplia difusión conceptual, enfrenta dificultades en su operacionalización en sectores productivos específicos.

En el caso analizado, dicha brecha se manifiesta en la persistencia de prácticas lineales, en las cuales la disposición final sigue siendo la alternativa predominante, a pesar de la disponibilidad de métodos técnicos para el aprovechamiento de los RCD. Este hallazgo sugiere que la transición hacia modelos circulares no depende exclusivamente del conocimiento técnico, sino de la capacidad del sistema para incorporar dichos conocimientos en sus dinámicas operativas.

Limitaciones del enfoque normativo

El análisis normativo mostró que, si bien existen instrumentos regulatorios orientados a la gestión de los RCD, su impacto en la transformación de las prácticas del sector es limitado. Esta situación pone en evidencia una desconexión entre la formulación de políticas y su implementación efectiva, lo cual ha sido identificado como un problema recurrente en la gestión de residuos en países en desarrollo (Kaza et al., 2018).

En este sentido, la normativa vigente tiende a centrarse en el control de la disposición de los residuos, más que en la promoción activa de su aprovechamiento. Esto genera un marco regulatorio que, aunque necesario, resulta insuficiente para impulsar la adopción de estrategias de economía circular. Tal como lo sugieren Ghisellini et al. (2016), la transición hacia modelos circulares requiere políticas que no solo regulen, sino que también incentiven y faciliten la implementación de nuevas prácticas.

Barreras estructurales en la gestión de RCD

Uno de los aportes más relevantes del estudio es la identificación de barreras estructurales que limitan la implementación de la economía circular en el sector de la construcción. Estas barreras —técnicas, económicas, institucionales y culturales— no actúan de manera aislada, sino que se interrelacionan, configurando un sistema que dificulta la adopción de prácticas sostenibles.

Desde el punto de vista técnico, la falta de infraestructura para el reciclaje y tratamiento de residuos limita las posibilidades de aprovechamiento. A nivel económico, la percepción de altos costos asociados a la implementación de prácticas circulares desincentiva su adopción, especialmente en un sector donde la competitividad está fuertemente influenciada por los costos de producción. En el ámbito institucional, la baja articulación entre actores genera fragmentación en la gestión de los residuos, lo que dificulta la implementación de estrategias integrales. Finalmente, las barreras culturales reflejan una resistencia al cambio y un desconocimiento de las oportunidades que ofrece la economía circular, tal como lo señalan Ajayi et al. (2017).

Este conjunto de barreras confirma que la problemática no puede abordarse desde una única dimensión, sino que requiere un enfoque integral que considere la complejidad del sistema.

Viabilidad de la economía circular en contextos locales

A pesar de las limitaciones identificadas, los resultados también evidencian que la implementación de la economía circular en la gestión de los RCD es potencialmente viable en el contexto de Medellín. La existencia de métodos técnicos de aprovechamiento, junto con un marco normativo que puede ser fortalecido, constituye una base sobre la cual es posible desarrollar estrategias de transición.

Sin embargo, la viabilidad de estas estrategias depende de su capacidad para adaptarse a las condiciones reales del contexto. Tal como lo plantea Adams et al. (2017), la implementación de la economía circular en la construcción requiere enfoques progresivos que permitan superar las barreras existentes de manera gradual. En este sentido, la adopción de estrategias escalonadas se presenta como una alternativa más realista que la implementación de cambios abruptos en el sistema.

Implicaciones para la formulación de estrategias

Los hallazgos de la investigación tienen implicaciones directas para la formulación de estrategias orientadas a la gestión de los RCD. En primer lugar, se evidencia la necesidad de diseñar propuestas que integren múltiples dimensiones, incluyendo aspectos técnicos, económicos e institucionales. En segundo lugar, se destaca la importancia de promover la articulación entre los actores del sector, dado que la implementación de la economía circular requiere coordinación y colaboración.

Asimismo, la investigación sugiere que las estrategias deben incorporar mecanismos de sensibilización y capacitación, con el fin de superar las barreras culturales que limitan la adopción de nuevas prácticas. Finalmente, se reconoce la necesidad de fortalecer los

instrumentos normativos mediante la incorporación de incentivos que promuevan el aprovechamiento de los residuos, más allá de su simple disposición.

En conjunto, la discusión permite afirmar que la transición hacia la economía circular en la gestión de los RCD no es un proceso exclusivamente técnico, sino una transformación sistémica que implica cambios en la estructura del sector de la construcción. La brecha entre teoría y práctica, las limitaciones del enfoque normativo y la presencia de barreras estructurales configuran un escenario complejo que requiere soluciones integrales y adaptadas al contexto.

No obstante, la existencia de oportunidades asociadas al aprovechamiento de los residuos y al desarrollo de nuevas dinámicas productivas sugiere que esta transición es posible, siempre que se aborde mediante estrategias progresivas que consideren las condiciones reales del entorno.

Propuesta: Estrategia de transición hacia la economía circular en la gestión de (RCD) en Medellín

Enfoque general de la estrategia

La estrategia propuesta se fundamenta en un enfoque de transición progresiva hacia la economía circular, orientado a transformar el modelo lineal predominante en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) hacia un sistema basado en el aprovechamiento de materiales. Este enfoque reconoce las limitaciones técnicas, económicas e institucionales identificadas en el diagnóstico, por lo que plantea una implementación gradual que permita la adaptación de los actores del sector.

La estrategia no se limita a la incorporación de métodos técnicos de reciclaje, sino que integra componentes operativos, organizacionales y de articulación institucional, con el fin de abordar la problemática desde una perspectiva sistémica.

Estructura de la estrategia

La propuesta se organiza en **cuatro componentes estratégicos**, los cuales se desarrollan de manera articulada:

1. Gestión en obra
2. Aprovechamiento técnico de los RCD
3. Articulación de actores
4. Seguimiento y control

Componente 1: Gestión en obra

Este componente se orienta a intervenir el punto de origen de los residuos, donde se genera la mayor parte del problema.

Acciones propuestas:

- Implementación de protocolos de separación en la fuente, diferenciando materiales como concreto, madera, metales y residuos mixtos.
- Capacitación del personal de obra en prácticas de manejo eficiente de materiales.
- Optimización del uso de insumos mediante planificación de cantidades y control de desperdicios.

- Incorporación de criterios de economía circular en la fase de diseño (diseño para reducción de residuos).

Resultado esperado:

Reducción en la generación de residuos y aumento en la calidad de los materiales recuperables.

Componente 2: Aprovechamiento técnico de los RCD

Este componente constituye el eje operativo de la economía circular, al definir los métodos específicos de valorización de los residuos.

Métodos propuestos:

a. Reciclaje de concreto

- Trituración de residuos para la obtención de agregados reciclados
- Uso en subbases, rellenos y elementos no estructurales

b. Reutilización directa

- Reaprovechamiento de materiales en la misma obra o en proyectos cercanos
- Uso de elementos recuperados en procesos constructivos secundarios

c. Prefabricación con materiales reciclados

- Producción de bloques, adoquines u otros elementos constructivos a partir de RCD

d. Clasificación avanzada de residuos

- Implementación de centros de acopio con separación técnica

Resultado esperado:

Incremento en la tasa de aprovechamiento de los RCD y reducción de la disposición final.

Componente 3: Articulación de actores

La investigación evidenció que uno de los principales problemas es la falta de coordinación entre los actores del sistema.

Actores clave:

- Empresas constructoras
- Gestores de residuos
- Entidades gubernamentales
- Proveedores de materiales reciclados

Acciones propuestas:

- Creación de mesas de articulación sectorial
- Establecimiento de acuerdos entre constructoras y gestores
- Promoción de alianzas público-privadas
- Generación de incentivos para el uso de materiales reciclados

Resultado esperado:

Mejora en la coordinación del sistema y fortalecimiento de la implementación de la estrategia.

Componente 4: Seguimiento y control

Este componente garantiza la sostenibilidad de la estrategia en el tiempo.

Indicadores propuestos:

- Porcentaje de residuos aprovechados
- Reducción en la disposición final
- Nivel de implementación de separación en obra
- Participación de actores en la estrategia

Herramientas:

- Sistemas de registro y monitoreo
- Informes periódicos de gestión
- Evaluación continua de resultados

Resultado esperado:

Control efectivo del proceso y mejora continua de la estrategia.

Fases de implementación

La estrategia se plantea en tres fases progresivas:

Fase 1: Preparación

- Diagnóstico inicial en obra
- Capacitación de actores
- Definición de protocolos

Fase 2: Implementación

- Aplicación de separación en fuente
- Activación de métodos de aprovechamiento
- Inicio de articulación entre actores

Fase 3: Consolidación

- Evaluación de resultados
- Ajuste de procesos
- Escalamiento de la estrategia

Viabilidad de la propuesta

La estrategia es viable en la medida en que:

- utiliza métodos técnicos ya existentes
- se adapta a condiciones reales del contexto
- no requiere cambios abruptos
- promueve implementación progresiva

Además, responde directamente a las barreras identificadas en el diagnóstico, lo que fortalece su aplicabilidad.

Aporte de la propuesta

La propuesta no solo plantea una solución teórica, sino un modelo aplicable, que:

- integra múltiples dimensiones del problema
- articula actores del sector
- propone acciones concretas
- permite transición real hacia economía circular

Metas cuantificadas de implementación

Con el fin de garantizar la viabilidad y el impacto de la estrategia, se establecen metas medibles a corto y mediano plazo:

- **Reducción de la disposición final de RCD:** entre un 30% y 50% en un periodo de 3 años.
- **Aprovechamiento de residuos:** alcanzar al menos un 40% del total de RCD generados en obras intervenidas.
- **Implementación de separación en fuente:** en el 70% de las obras vinculadas a la estrategia piloto.
- **Participación de actores:** integración de al menos el 60% de los actores identificados en el sistema local.

Estas metas permiten transformar la propuesta en un modelo evaluable, superando el enfoque descriptivo y facilitando su seguimiento mediante indicadores concretos.

Componente económico y viabilidad financiera

Uno de los factores determinantes para la adopción de la estrategia es su viabilidad económica. En este sentido, se identifican los siguientes beneficios:

- **Reducción de costos de disposición final**, al disminuir el volumen de residuos transportados a escombreras.
- **Ahorro en adquisición de materiales**, mediante el uso de agregados reciclados en aplicaciones no estructurales.
- **Disminución de costos logísticos**, al optimizar el manejo y transporte de residuos.
- **Generación de nuevos mercados**, asociados a la comercialización de materiales reciclados.

De manera referencial, estudios previos han demostrado que el uso de materiales reciclados puede reducir costos entre un 10% y un 25% en determinadas aplicaciones, lo que refuerza la viabilidad de la estrategia desde una perspectiva económica.

Modelo piloto de implementación

Para garantizar la aplicabilidad de la estrategia, se propone la implementación de un proyecto piloto en una obra de construcción representativa en Medellín.

Fases del piloto:

1. **Diagnóstico inicial en obra**
 - cuantificación de residuos generados
 - identificación de materiales aprovechables
2. **Implementación de separación en fuente**
 - instalación de puntos de clasificación
 - capacitación del personal

3. Aplicación de métodos de aprovechamiento

- reciclaje de concreto
- reutilización de materiales

4. Evaluación de resultados

- medición de indicadores
- análisis de eficiencia

Objetivo del piloto:

Validar la estrategia en condiciones reales y generar evidencia que permita su replicabilidad en otros proyectos.

Centro de acopio y valorización de RCD

Se propone la creación de un centro intermedio de acopio y clasificación, que funcione como punto estratégico para:

- recepción de residuos separados
- clasificación técnica avanzada
- procesamiento básico (trituración, selección)
- distribución de materiales reciclados

Este centro permitiría mejorar la eficiencia del sistema, facilitando la transición entre la generación de residuos en obra y su aprovechamiento.

Plataforma de articulación de RCD

Como elemento innovador, se plantea el desarrollo de una plataforma digital que permita:

- conectar generadores de residuos con gestores
- registrar volúmenes de RCD disponibles
- facilitar la comercialización de materiales reciclados
- hacer seguimiento en tiempo real

Este componente responde directamente a la barrera de desarticulación entre actores identificada en el diagnóstico.

Indicador clave: Índice de circularidad en obra

Se propone la creación de un indicador central que permita evaluar el desempeño de la estrategia:

Índice de circularidad en obra (ICO)

Relación entre la cantidad de residuos aprovechados y el total de residuos generados.

Este indicador permite:

- medir el nivel de implementación de la economía circular
- comparar el desempeño entre proyectos
- facilitar la toma de decisiones

Impacto esperado de la estrategia

La implementación de la propuesta generaría impactos en múltiples dimensiones:

Ambientales

- reducción de residuos en disposición final
- disminución en la extracción de recursos naturales

Económicos

- optimización de costos en el sector
- generación de nuevas oportunidades de mercado

Sociales

- fortalecimiento de capacidades en el sector
- generación de empleo en actividades de aprovechamiento

Institucionales

- mejora en la articulación entre actores
- fortalecimiento de la aplicación normativa

Conclusiones

La presente investigación permitió analizar la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) desde el enfoque de la economía circular, evidenciando que, a pesar del desarrollo conceptual y técnico existente, su implementación en contextos reales como el de Medellín aún es limitada. En este sentido, uno de los principales hallazgos del estudio radica en la identificación de una brecha significativa entre la teoría y la práctica, lo que confirma que la transición hacia modelos sostenibles en el sector de la construcción no depende únicamente de la disponibilidad de soluciones técnicas, sino de la capacidad del sistema para integrarlas de manera efectiva.

Asimismo, se determinó que la gestión actual de los RCD se encuentra dominada por un modelo lineal, caracterizado por la disposición final como alternativa predominante. Esta situación se encuentra asociada a múltiples factores, entre los cuales destacan la falta de infraestructura para el aprovechamiento de residuos, la limitada articulación entre actores, las debilidades en la aplicación del marco normativo y la persistencia de prácticas tradicionales dentro del sector. Estas condiciones configuran un sistema que dificulta la adopción de enfoques circulares, lo que refuerza la necesidad de intervenciones integrales.

En relación con el marco normativo, la investigación evidenció que, aunque existen instrumentos regulatorios orientados a la gestión de los RCD, estos no han logrado generar cambios sustanciales en las prácticas del sector. Esto pone de manifiesto la necesidad de fortalecer no solo la regulación, sino también los mecanismos de implementación, control e incentivos, de manera que se promueva activamente el aprovechamiento de los residuos y no únicamente su disposición adecuada.

Por otra parte, el análisis de la literatura y de experiencias internacionales permitió identificar que la economía circular ofrece un marco viable para transformar la gestión de los RCD, siempre que su implementación se adapte a las condiciones específicas del contexto. En este sentido, se concluye que la adopción de estrategias progresivas, que consideren las limitaciones técnicas, económicas e institucionales, resulta más efectiva que la implementación de modelos rígidos o replicados sin adaptación.

Uno de los aportes principales de la investigación es la formulación de una estrategia de transición hacia la economía circular en la gestión de los RCD, la cual integra componentes operativos, técnicos y organizacionales. Esta estrategia se caracteriza por su enfoque sistémico, su aplicabilidad en condiciones reales y su capacidad para abordar las barreras identificadas en el diagnóstico. La incorporación de elementos como metas cuantificadas, un modelo piloto, mecanismos de articulación entre actores y herramientas de seguimiento permite consolidar una propuesta sólida y defendible desde el punto de vista académico y técnico.

De igual manera, se concluye que la viabilidad de la economía circular en el sector de la construcción no debe ser entendida únicamente en términos ambientales, sino también como una oportunidad económica. El aprovechamiento de los RCD puede contribuir a la reducción de costos, al desarrollo de nuevos mercados y a la generación de valor dentro del sector, lo que constituye un incentivo adicional para su implementación.

Finalmente, la investigación evidencia que la transición hacia modelos de economía circular en la gestión de los RCD implica una transformación estructural del sector de la construcción, la cual requiere la participación activa de todos los actores involucrados. En este sentido, se concluye que el éxito de las estrategias propuestas dependerá de la

capacidad de articulación entre estos actores, del fortalecimiento institucional y de la disposición del sector para adoptar nuevas prácticas orientadas a la sostenibilidad.

En síntesis, el estudio no solo aporta al conocimiento académico sobre la economía circular aplicada a la construcción, sino que también ofrece una base para la formulación de soluciones prácticas que pueden contribuir a mejorar la gestión de los residuos y avanzar hacia modelos de desarrollo más sostenibles en contextos urbanos como el de Medellín.

Referencias

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

<https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>

Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Bilal, M., Akinade, O. O., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., & Kadiri, K. O. (2017). Waste effectiveness of the construction industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.012>

Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties. *Journal of Cleaner Production*, 186, 262–281.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>

CEPAL. (2018). *La economía circular en América Latina y el Caribe*.

<https://www.cepal.org/es/publicaciones>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*. <https://www.dnp.gov.co>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy*.

<https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1>

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>

European Commission. (2020). *Circular Economy Action Plan*.

https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

- Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The circular economy paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). Review on circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., et al. (2018). Construction waste management in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Circular economy definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lu, W., Yuan, H., Li, J., et al. (2011). Waste generation rates in construction. *Waste Management*, 31(4), 680–687. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.004>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 472 de 2017 (RCD)*. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *Guía de gestión de RCD*.

<https://www.minvivienda.gov.co>

OECD. (2020). *Global material resources outlook*. <https://www.oecd.org/environment>

Osmani, M. (2012). Construction waste minimization. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 40, 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.160>

Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., & Jalali, S. (2012). Recycled materials in construction. *Construction and Building Materials*, 30, 714–724.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.032>

Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Recycled aggregates in concrete. *Construction and Building Materials*, 65, 201–217.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>

Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. Y. (2007). Prefabrication adoption. *Building and Environment*, 42(10), 3642–3654.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Global status report for buildings and construction*. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2020>

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

World Bank. (2020). *Sustainable waste management*. <https://www.worldbank.org>

Yuan, H. (2013). SWOT analysis of construction waste. *Journal of Cleaner Production*, 39, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.016>

Zhang, D., Shen, L., & Wu, Y. (2020). Circular economy in construction review. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122135>