

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) PARA
USO EN HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN ECUADOR.

AUTOR:

JONATHAN JHIRMAR SUAREZ ACARO

DIRECTOR:

ING. OSCAR PATRICIO JARAMILLO DE LEÓN

QUITO DM, ENERO DE 2026

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su apoyo y por su fe en mí; incluso en los momentos más difíciles, han sido el pilar de este logro. Expreso también un sincero agradecimiento a mis amigos y compañeros que me acompañaron en momentos de estrés y de alegría durante este proceso; su apoyo, confianza y respaldo han sido invaluable. Asimismo, agradezco a la Universidad por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi formación profesional.

Índice

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Justificación e importancia | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 2 |
| Objetivo general:..... | 2 |
| Objetivos específicos:..... | 3 |
| 1.4. Alcance..... | 3 |
| 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 3 |
| 2.1. Estado del arte | 3 |
| 2.2. Marco teórico | 8 |
| 2.2.1. Definición de RCD..... | 8 |
| 2.2.2. Composición de los residuos | 8 |
| 2.2.3. Causas de generación de RCD | 10 |
| 2.2.4. Clasificación y categorías del RCD | 10 |
| 2.2.5. Impactos al medio ambiente | 10 |
| 2.2.6. Principio de jerarquización de residuos..... | 11 |
| 2.2.7. Economía circular..... | 11 |
| 2.2.8. Gestión de los RCD | 12 |
| 2.2.9. Tipología y características de los áridos reciclados | 13 |
| 2.2.10. Hormigón | 13 |
| 2.2.11. Proceso de reciclaje de los RCD | 16 |
| 2.3. Marco conceptual | 17 |
| 2.4. Marco histórico | 18 |
| 2.5. Marco normativo y legal | 27 |
| 3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS..... | 33 |
| 3.1. Diseño metodológico..... | 33 |
| 3.2. Definición de enfoque del trabajo de investigación..... | 33 |
| 3.3. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos | 33 |
| 3.4. Bases y fuentes de información..... | 34 |
| 3.5. Procedimiento para la elaboración del modelo de gestión..... | 34 |
| 3.6. Síntesis | 34 |
| 3.7. Criterios de validez y actualidad | 35 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4. | ANÁLISIS | 35 |
| 4.1. | Presentación de resultados de la propuesta modelo de gestión..... | 35 |
| 4.1.1. | Introducción | 35 |
| 4.1.2. | Jerarquía operativa y criterio de toma de decisiones | 36 |
| 4.1.3. | Gobernanza nacional y distribución de responsabilidades | 37 |
| 4.1.4. | Diagnóstico, línea base y caracterización como condición de diseño del sistema . | 38 |
| 4.1.5. | Diseño del modelo operativo por fases | 39 |
| 4.1.6. | Submodelo para RCD pétreo a árido reciclado y posterior uso en hormigón | 43 |
| 4.1.7. | Infraestructura municipal para RCD..... | 45 |
| 4.1.8. | Seguimiento, control e indicadores..... | 45 |
| 4.1.9. | Sostenibilidad económica del sistema | 45 |
| 4.1.10. | Programas transversales: educación, incentivos y sanciones | 46 |
| 4.2. | Análisis de resultados..... | 46 |
| 5. | CONCLUSIONES | 52 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 52 |
| | REFERENCIAS..... | 54 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| TABLA 1 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN POR ACTIVIDAD. | 8 |
| TABLA 2 APLICACIONES DE RCD | 12 |
| TABLA 3 COMPARACIÓN COSTO/PRECIO POR SERVICIO | 26 |
| TABLA 4 NORMA VIGENTE EN ECUADOR APLICABLE A RCD. | 28 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 PROCESO DE RECICLAJE DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. | 16 |
| FIGURA 2 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2019. | 21 |
| FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2020. | 22 |
| FIGURA 4 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2021. | 22 |
| FIGURA 5 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2022. | 23 |
| FIGURA 6 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2023. | 23 |
| FIGURA 7 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2024. | 24 |
| FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2025. | 25 |
| FIGURA 9 DISTRIBUCIÓN DE ESCOMBROS POR ESTACIÓN AÑO 2019-2025. | 25 |
| FIGURA 10 JERARQUÍA NORMATIVA E INSTRUMENTOS DE GESTIÓN PARA RESIDUOS Y RCD. | 28 |
| FIGURA 11 JERARQUÍA OPERATIVA DEL MODELO | 36 |
| FIGURA 12 GOBERNANZA NACIONAL Y ROLES | 37 |
| FIGURA 13 METODOLOGÍA DE LÍNEA BASE | 38 |
| FIGURA 14 FLUJO MODELO OPERATIVO | 41 |
| FIGURA 15 ESQUEMA DEL SUBMODELO TÉCNICO DE VALORIZACIÓN DE RCD | 43 |
| FIGURA 16 FLUJO ECONÓMICO DEL SISTEMA | 46 |
| FIGURA 17 FLUJO OPERATIVO PARA VALORIZACIÓN DE RCD PÉTREO EN ÁRIDOS RECICLADOS PARA HORMIGÓN (ECUADOR-COLOMBIA)..... | 50 |

1. INTRODUCCIÓN

La literatura indica que la industria de la construcción es uno de los sectores de la economía que ha mostrado crecimiento en las últimas décadas, siendo responsable de aproximadamente el 50 % de la extracción de recursos minerales. Asimismo, se indica que uno de los productos más utilizados en el sector es el hormigón, cuyo método de producción requiere cantidades considerables de recursos naturales no renovables. En este contexto, se señala que los agregados constituyen aproximadamente el 75 % de la masa del hormigón, mientras que el resto corresponde a agua y cemento (Junior et al., 2025).

Además de las condiciones asociadas a la extracción de recursos naturales, este sector también es responsable de generar residuos de construcción y demolición derivados de la construcción de nuevos edificios, así como de la demolición y el mantenimiento de edificaciones existentes. Entre estos residuos se encuentran materiales como rejas, cerámicos, plásticos, madera, metales y vidrio. La eliminación adecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD) constituye un problema para muchos países, ya sea por la disposición en lugares no autorizados, con la consecuente contaminación ambiental, o porque los vertederos autorizados se saturan rápidamente debido al volumen que ocupan los RCD. Ante esta situación, se impulsan alternativas de reciclaje y reutilización de residuos; una de las estrategias más estudiadas para reducir el impacto ambiental del sector consiste en sustituir agregados naturales por agregados reciclados provenientes de RCD. Sin embargo, históricamente estas prácticas no se consideraban prioritarias debido a la disponibilidad de materias primas no renovables. Aun así, múltiples investigaciones han señalado que el uso de áridos reciclados puede contribuir a que la industria de la construcción avance hacia una mayor sostenibilidad, en concordancia con los principios de economía circular.

En el Ecuador, es importante señalar que pocas ciudades cuentan con legislación específica que sustente legalmente la gestión de RCD y que, a nivel nacional, existe normativa orientada a residuos en general que puede extenderse a los RCD. En consecuencia, algunos municipios han realizado avances mediante la aplicación de normativa local o estrategias para mejorar la gestión de RCD y orientar el desarrollo hacia ciudades más sostenibles; no obstante, la ausencia de una guía nacional de gestión constituye una limitación para estandarizar criterios,

responsabilidades, rutas operativas y mecanismos de control. Por ello, se requiere planificar, organizar y diseñar un modelo guía basado en la normativa nacional vigente, que permita orientar la gestión de los RCD hacia procesos de valorización y su reincorporación como áridos reciclados en la producción de hormigón.

1.1. Justificación e importancia

Este estudio radica en su potencial para convertir algo que ha sido un problema (RCD) en una oportunidad de desarrollo sostenible. Es importante y necesario investigar el tema, ya que la utilización de áridos reciclados en hormigón estructural es una práctica viable a nivel internacional, pero carece de un marco regulatorio claro y aplicable en Ecuador, generando una incertidumbre en ingenieros y constructores. Este estudio es útil al producir un análisis de la situación normativa, cuyos resultados serán una guía que permita una fácil toma de decisiones para la industria y sirva para que el Estado elabore políticas públicas con incentivos que promuevan la práctica de reutilizar los RCD.

1.2. Planteamiento del problema

La industria de la construcción en Ecuador enfrenta el desafío de la gestión insostenible de sus residuos y la dependencia de recursos naturales. Una solución prometedora es la incorporación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) reciclados en la fabricación de hormigón estructural. No obstante, la implementación se ve obstaculizada por la ambigüedad del marco regulatorio. El objeto de estudio de este trabajo, es el análisis de dicho marco normativo para identificar sus fortalezas, así como sus debilidades y oportunidades de mejora. El problema de la investigación se formula a través de la siguiente pregunta: ¿Cuál es la aplicabilidad y la efectividad del marco normativo vigente en el uso de áridos reciclados en hormigón estructural? Lo que conlleva a problemas secundarios como ¿La normativa técnica permite este uso? ¿Qué sanciones existen por incumplimiento y qué incentivos se ofrecen por su práctica?

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Analizar el marco normativo ecuatoriano que regula la utilización de áridos reciclados de RCD en hormigón estructural, enfocándonos en su aplicabilidad, régimen de incentivo y sanciones, para fomentar esta práctica.

Objetivos específicos:

- Examinar el marco normativo ecuatoriano vigente para identificar las disposiciones directas e indirectas aplicables al uso de RCD en hormigón estructural, sus vacíos y contradicciones.
- Sintetizar los hallazgos sobre la viabilidad técnica, normativa que establezca las condiciones necesarias para la implementación de esta práctica en Ecuador.
- Recopilar información sobre los volúmenes de utilización de RCD en el distrito metropolitano de Quito.

1.4. Alcance

El presente trabajo de titulación tiene como alcance analizar y describir el marco normativo ecuatoriano vigente aplicable al uso de RCD en hormigón estructural, identificando sus disposiciones, vacíos, mecanismos de sanciones y de incentivos. La investigación se centrará en la recopilación y análisis documental de leyes, ordenanzas y Normas Técnicas Ecuatorianas. Queda fuera del alcance de este estudio la realización de ensayos de laboratorio para caracterizar las propiedades mecánicas de áridos reciclados para el hormigón, así como el desarrollo de cálculos estructurales o modelos económicos sobre la viabilidad financiera de su implementación. El resultado final será un diagnóstico normativo.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

Para tener claro el estado de la investigación sobre los residuos de construcción y demolición (RCD) en Ecuador, se realizará una búsqueda de tesis en diferentes universidades. El objetivo de esta revisión es identificar los hallazgos obtenidos en investigaciones previas y determinar en qué aspectos carenciales esta tesis puede realizar un aporte significativo.

Lo que se encuentra en la literatura revisada es el análisis de planes de gestión de residuos generados en la construcción, ya sea para edificios o viviendas. Estos estudios generalmente proporcionan un marco teórico y proceden a describir la edificación, identificando los tipos de residuos que genera para, posteriormente, planificar cómo manejarlos.

Un ejemplo es la tesis de Lozano (2017), que identifica que durante la etapa de obra gris, se genera la mayor cantidad de desechos, particularmente de mampostería y enlucidos. Dado que el país no cuenta con estadísticas que avalen la necesidad de atender este sector, no se

considera la disposición de reutilizar o reciclar estos materiales. Por lo tanto, la tesis propone la necesidad de establecer un esquema de control para, posteriormente, generar un plan de gestión de recursos que impulse ordenanzas enfocadas en esta problemática.

Este documento establece una estandarización basada en una tipología de edificación y presenta casos similares para cuantificar los residuos generados en este tipo de construcciones. En él se evidencia que, debido a la falta de una normativa específica, solo se cumplen los requisitos para obtener la licencia de construcción; sin embargo, durante la ejecución de la obra se generan residuos no previstos, ya que no existe un plan adecuado, lo que resulta en un gran desperdicio de material. Por ello, la investigación propone un plan de gestión para que estos desechos sean transportados a lugares autorizados. El objetivo es que puedan ser reciclados posteriormente si es posible o, al menos, que se dispongan en sitios aprobados. Asimismo, plantea la figura de inspectores que verifiquen el cumplimiento del plan de residuos y propone sanciones para aquellos que no acaten el protocolo establecido. En la misma línea, Romero (2018) aborda la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en edificaciones residenciales. Este documento propone un marco para cuantificar, caracterizar y segregar los residuos generados por una construcción tipo, con el fin de que los proyectos puedan generar planes de manejo ambiental efectivos. Para lograr este objetivo, la tesis realiza un análisis de leyes y normativas de otros países, examinando sus modelos de gestión para identificar aquellos aspectos que podrían ser aplicables.

El documento aplica un modelo internacional de gestión de residuos a un proyecto en la ciudad de Cuenca, con el objetivo de demostrar que se puede reducir la cantidad generada en la obra si se sigue un proceso normativo para su tratamiento. Tras un análisis completo de los rubros que generan residuos en el proyecto seleccionado, se concluyó que la adopción de este modelo de gestión podría reducir los desechos en al menos un 40%. Para el desarrollo de esta propuesta, se tomaron muy en cuenta las leyes y ordenanzas españolas, las cuales son más completas y específicas que las ecuatorianas en materia de reutilización y reciclaje. Asimismo, se siguió normativa chilena para abordar la cuestión del impacto ambiental generado por la mala gestión de los residuos. Este ejercicio evidencia la falta de leyes y ordenanzas específicas en Ecuador, lo que deriva en una mayor generación de residuos y, por consiguiente, en más contaminación.

Un segundo eje de investigación explora la utilización de estos residuos en el ámbito de la construcción es el reciclaje de los escombros para la fabricación de nuevos materiales, específicamente bloques de hormigón. Montesdeoca (2018) propone que este proceso se convierta en un modelo replicable en varias ciudades a nivel nacional. El objetivo de esta iniciativa es doble: disminuir la extracción de materia prima de las canteras y, a la vez, reducir la contaminación generada por los vertederos y ríos.

La propuesta se desarrolla utilizando como referencia las normas ecuatorianas NTE INEN. Si bien estas no especifican el uso de materiales reciclados para la fabricación de nuevos productos, sí establecen la resistencia mínima que debe tener un bloque. Este requisito es fundamental, ya que impulsa la investigación para determinar la cantidad de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) necesaria para alcanzar la resistencia deseada, además de obligar a caracterizar las propiedades del material a utilizar.

Esta aplicación se extiende a la producción de nuevos concretos y asfaltos a partir de residuos, como proponen Chamba et al. (2023). Este documento presenta un plan de manejo de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) específicamente para la planta asfáltica de Loja. La propuesta consiste en un proceso de planificación, recolección y traslado, seguido de una etapa de segregación y almacenamiento. El objetivo final de este sistema es controlar el flujo de materiales para identificar cuáles pueden ser reutilizados en la generación de nuevos productos.

El documento señala que, en la actualidad, la planta no realiza este trabajo, ya que no recibe material para reutilizar, sino únicamente material nuevo. Otro problema identificado es que las construcciones que generan residuos simplemente los depositan en el vertedero más cercano, ya que no existe un centro de acopio dedicado a recolectarlos. Por esta razón, el documento analiza todos los requisitos necesarios para implementar el procedimiento completo, desde la planificación hasta la generación del nuevo producto. Se argumenta que este sistema aportaría un beneficio económico, al reducir la dependencia de material nuevo para fabricar asfalto. Asimismo, el documento ya especifica la clasificación de materiales reciclables aptos para este fin, por lo que solo restaría la iniciativa para aplicarlo en la planta asfáltica de Loja.

Bajo esa misma lógica de valorización, otra aplicación y la que compete directamente a esta tesis es el uso de RCD en hormigones, mediante su transformación en áridos reciclados.

Coello y Párraga (2024) reportan ensayos realizados con áridos reciclados para la obtención de morteros y hormigones; en este caso, se enfatiza el apartado de hormigones. Se señala que se utilizaron materiales como cemento tipo GU, agregados finos y gruesos naturales provenientes de canteras de la parroquia Picoazá, cantón Portoviejo, así como agregados finos y gruesos reciclados y agua potable para la mezcla. Asimismo, se indica que la obtención de los agregados reciclados implicó la recolección de RCD provenientes de residuos de vigas y columnas de una edificación en demolición en la ciudad de Portoviejo, los cuales fueron sometidos a un proceso de trituración y caracterización conforme a normas ecuatorianas. Las pruebas se realizaron variando progresivamente el porcentaje de utilización de áridos reciclados (0, 15, 20 y 25 %), y, en el caso del hormigón, se determinó que la inclusión de 15 % de árido grueso reciclado produce resultados muy similares en resistencia a la compresión respecto a los obtenidos con materiales naturales.

En una línea complementaria, Barrionuevo (2025) elaboró muestras con 6 %, 8 % y 10 % de material reciclado para hormigón, con el objetivo de estimar una fórmula del módulo de elasticidad para una resistencia $f'c$ de 280 kg/cm². Se indica que el material utilizado fue RCD obtenido de escombros de diversos procesos constructivos; estos reciclados se produjeron mediante trituración, en este caso hasta pasar por el tamiz N.º 4. Al realizar la sustitución del agregado pasante por el tamiz N.º 4 en la mezcla, se evidenció una reducción de la resistencia a la compresión del hormigón, de modo que, a mayor contenido de material reciclado, menor fue la resistencia. No obstante, no se señala un porcentaje recomendado, debido a que la tesis se centra en obtener fórmulas para el módulo de elasticidad y no en determinar la calidad y características de la utilización de RCD en hormigón.

Aunque estos estudios aportan evidencia experimental en el contexto nacional, la discusión se amplía con revisiones que sintetizan tendencias comunes en la literatura. En Junior et al. (2025), se presenta una revisión sobre el tema. En primer lugar, se señala que el hormigón reciclado se produce mediante el uso de áridos reciclados provenientes de RCD que han pasado por un proceso de trituración. No obstante, se indica que la fuente y el proceso de trituración del árido reciclado afectan significativamente la calidad del hormigón a producir y, a su vez, que la viabilidad económica del uso de hormigón reciclado resulta desfavorable debido a su precio, aproximadamente un 10 % mayor.

Los avances en las investigaciones sobre las propiedades del hormigón reciclado permiten su uso en proyectos estructurales, principalmente en pavimentos; sin embargo, su aplicación no se extiende de manera generalizada debido a la falta de estandarización en la producción de este tipo de mezclas. Esto se relaciona con la heterogeneidad de los agregados provenientes de RCD, derivada de variaciones en el mortero adherido y de técnicas de trituración, lo que influye en los resultados de las propiedades mecánicas en comparación con hormigones elaborados con agregados naturales.

Dado que el artículo corresponde a una recopilación de resultados, se reportan hallazgos distintos para cada propiedad mecánica; por ello, en esta sección se sintetizan los aspectos con mayor convergencia entre autores. En particular, diversos estudios coinciden en caracterizar los áridos reciclados por su composición, absorción de agua y densidad (masa específica), asociadas a una mayor porosidad y a una adherencia más débil entre el árido y el mortero, debido al mortero adherido.

En la literatura actual se indica que las tasas de sustitución parcial de áridos naturales por áridos reciclados en hormigones estructurales superiores a 20–25 MPa deben limitarse, como máximo, al 25 % en masa; sin embargo, cuando el árido reciclado presenta baja porosidad y una absorción de agua inferior al 3,5 %, su uso como sustituto del árido natural no debería superar el 20 %. En consecuencia, se reporta que, en la mayoría de los países, el uso suele limitarse al 20 % de árido reciclado para hormigones estructurales.

En cuanto a la gravedad específica, se señala que su relevancia se relaciona directamente con la presencia de impurezas adheridas al agregado, como el mortero residual, el cual corresponde a la porción de mortero que permanece adherida al agregado reciclado luego del proceso de trituración. Esta característica influye en la absorción de agua y en la composición química, lo que provoca cambios en las propiedades del material; además, los agregados reciclados presentan mayor porosidad y menor densidad debido a la presencia de mortero residual. La resistencia a la abrasión, determinada mediante el ensayo en la máquina de Los Ángeles, se emplea para evaluar la resistencia de los agregados gruesos al desgaste superficial. Se indica que estos resultados están influenciados por la porosidad, evidenciándose una mayor pérdida por abrasión en los agregados reciclados. En pruebas de asentamiento se menciona que el material puede trabajarse hasta un 25 % de agregado reciclado. Asimismo, se reporta un consenso en la literatura respecto a que los hormigones

que contienen áridos reciclados presentan una resistencia a la compresión aproximadamente entre 10 % y 30 % menor que los hormigones con áridos naturales, utilizando la misma relación agua-cemento. En conjunto, estos resultados refuerzan que, además de la generación de evidencia experimental, la adopción del material depende de criterios uniformes de producción y control; por ello, el análisis normativo resulta clave para discutir condiciones de aceptación y lineamientos aplicables al uso de RCD en hormigones en el Ecuador.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Definición de RCD

Si bien no existe una definición única y universalmente aceptada para los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), la esencia del concepto es ampliamente reconocida en la literatura. Distintos autores pueden abordar la definición con sus particulares, pero el núcleo del término resulta claro para la comunidad académica y profesional. Para los fines de esta investigación, se adoptará la definición propuesta por Hao et al. (2008), quienes los describen como materiales no deseados generados durante la construcción, incluyendo estructuras y materiales rechazados, materiales pedidos en exceso o excedentes, y materiales utilizados y desechados. A partir de esta definición, resulta necesario precisar qué materiales conforman los RCD y cómo varían según la actividad que los origina.

2.2.2. Composición de los residuos

Es crucial precisar que este estudio no analizará la totalidad de los residuos sólidos, sino que se enfocará exclusivamente en aquellos generados por la construcción de obras civiles, reparaciones, mantenimientos, y por la demolición de estructuras. Para comprender la composición de estos residuos, es fundamental consultar la Tabla 1, la cual detalla los materiales específicos producidos en cada una de estas actividades.

Tabla 1

Residuos de construcción y demolición por actividad.

| | OBJETO | ELEMENTOS PRINCIPALES | CONSIDERACIONES |
|--------------|----------------------------------|---|---|
| DEMOLICIÓN | Viviendas | Antiguas: ladrillo, madera, yeso, tejas. Recientes: ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales y plásticos. | Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo, en el caso del servicio. |
| | Otros edificios | Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería. Servicios: hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera. | |
| | Obras públicas | Mampostería, hierro, acero, hormigón armado. | Los materiales dependen mucho de la edad y del tipo de infraestructura a demoler, no es una actividad frecuente. |
| | Edificación y obras públicas | hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales, cerámicos, plásticos, materiales no férreos. | Normalmente se reutilizan en gran parte |
| CONSTRUCCIÓN | reparación y mantenimiento | Suelo, roca, hormigón, productos bituminosos | Originados básicamente por recortes, materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación. |
| | Reconstrucción y rehabilitación. | Viviendas: Cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo. Otros: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera. | Generación de residuos poco significativos en el caso de edificación. |

Nota. Adaptada de Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión (Mejía et al., 2013).

Conocer la composición por actividad permite identificar que no todo residuo es inevitable; por ello, a continuación, se describen las principales causas de generación.

2.2.3. Causas de generación de RCD

Polat y Ballard (2010) mencionan que la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se origina principalmente en las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto. Durante la fase de diseño, causas como la información incompleta o contradictoria en los documentos del contrato, la descoordinación entre disciplinas y la especificación imprecisa de materiales contribuyen a la producción de excedentes. En la fase de construcción, los residuos se generan por errores en la ejecución, que incluyen: modificaciones in situ del diseño, pedidos incorrectos de materiales, daños durante el manejo y almacenamiento inadecuado, errores de los operarios y desperdicios por cortes y procesos de aplicación.

Adicionalmente, la etapa de fin de vida útil, que comprende la demolición o el derribo, es la que genera el mayor volumen de RCD. Esta fase se convierte en la más problemática, ya que a menudo no existen sitios de disposición final normados o suficientes para gestionar la enorme cantidad de escombros resultantes. Dado que estas causas producen residuos de distinta naturaleza y riesgo, se requiere una clasificación que facilite definir rutas de manejo y controles

2.2.4. Clasificación y categorías del RCD

Dentro de la categoría de residuos sólidos, los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se clasifican según su potencial impacto. La clasificación los divide en: no peligrosos, que carecen de efectos adversos; peligrosos, representan una amenaza; y especiales, que necesitan un manejo diferenciado debido a sus dimensiones o masa, lo que complica su gestión ordinaria. Esta clasificación adquiere relevancia porque el manejo inadecuado de cada categoría se traduce en impactos ambientales diferenciados.

2.2.5. Impactos al medio ambiente

La disposición inadecuada de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) genera una gama de impactos ambientales negativos. Entre los efectos directos se encuentran la

contaminación del suelo y agua, la utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales, la degradación del paisaje, la alteración de drenajes naturales y la pérdida de suelo productivo. Adicionalmente, el transporte de estos residuos contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y al deterioro de la malla vial debido a su considerable volumen y peso (Mejía et al., 2013).

Estos impactos pueden clasificarse según el componente ambiental afectado. En el medio inerte el entorno físico compuesto por la atmósfera, geología e hidrología, los RCD alteran la calidad del aire y del agua. En el medio biótico integrado por el suelo, la vegetación y la fauna, provocan degradación de ecosistemas y pérdida de biodiversidad. Finalmente, en el medio humano que abarca las condiciones socioeconómicas, la calidad de vida, el patrimonio y el paisaje, los efectos se traducen en afectaciones a la salud, el bienestar y el desarrollo sostenible de las comunidades. En respuesta a estos impactos, los marcos regulatorios incorporan principios de gestión que priorizan la prevención y el aprovechamiento.

2.2.6. Principio de jerarquización de residuos

En Ecuador, la entidad rectora responsable de dictar la política nacional para la gestión de residuos sólidos no peligrosos es el Ministerio del Ambiente (MAE). Este marco se establece en el Código Orgánico del Ambiente (COA), expedido el 12 de abril de 2017 mediante Registro Oficial Suplemento 983, y su respectivo Reglamento. En el Título V, dedicado a la Gestión Integral de Residuos y Desechos, el artículo 226 establece el principio de jerarquización de los residuos, el cual estipula que:

Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad: 1. Prevención; 2. Minimización de la generación en la fuente; 3. Aprovechamiento o valorización; 4. Eliminación; y, 5. Disposición final. Bajo este principio, la gestión de RCD no se limita a disponer escombros, sino que busca la valorización (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, art. 226).

2.2.7. Economía circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales, con el objetivo de extender el ciclo de vida de los productos, mantener su valor y evitar la generación de residuos. Este enfoque contrasta

con el modelo económico lineal tradicional, basado en usar y descartar, el cual implica un alto costo ambiental. Considerando que las materias primas son recursos no renovables y que el aumento de la urbanización incrementa la demanda, resulta pertinente orientar las estrategias hacia un modelo de economía circular.

Aplicada al sector de la construcción, la economía circular puede materializarse mediante medidas como la reutilización de materiales previamente empleados. En el caso de los RCD, tras una separación adecuada de sus diferentes componentes, estos pueden reincorporarse en nuevas construcciones, limitando la necesidad de extraer materiales naturales (Iñigo, 2022).

2.2.8. Gestión de los RCD

Impulsados por el interés en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible para las futuras generaciones, muchos países han implementado políticas que fomentan el uso de materiales reciclados a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), con especial énfasis en su reciclaje. Una de estas estrategias consiste en establecer altos costos para la disposición final en escombreras, incentivando así opciones más sostenibles. Cuando las estrategias de reducción y reúso en la fuente resultan complejas dentro de la gestión de RCD, el reciclaje se erige como la alternativa prioritaria antes de considerar la disposición final. Este proceso ofrece tres beneficios fundamentales: 1) la reducción en la demanda de recursos naturales vírgenes; 2) la disminución de los costos asociados al transporte y el consumo energético; y 3) la valorización de desechos que, de otro modo, ocuparían un espacio considerable en escombreras, generando un grave deterioro paisajístico y ambiental (Mejía et al., 2013).

Como precedente, puede observarse en la Tabla 2 cómo se ha usado los RCD para diversos campos en la ingeniería civil.

Tabla 2
Aplicaciones de RCD

| Residuos | Aplicaciones |
|-----------|---|
| Hormigón | Agregados para bases de caminos y lotes de estacionamientos |
| | Áridos para nuevas mezclas de hormigón |
| | Bloques para pavimentos |
| Agregados | Cubierta para botaderos municipales |
| | Subbases de caminos, llenos para drenajes y hormigones |
| Asfalto | Mezclas calientes para pavimentos |

| | |
|-----------|--|
| | Llenos de áridos y lleno de subbases |
| | Mezclas frías para bacheo, caminos temporales, áridos para bases de cambios y para tejas |
| | Lleno de baches y riego en caminos sin pavimentos |
| Ladrillos | Se trituran para utilizarse en llenos |
| | Cubierta para botaderos municipales |
| Metal | Nuevos materiales |

Nota. Tomado de Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis (Aldana & Serpell, 2012).

2.2.9. Tipología y características de los áridos reciclados

La utilización de árido reciclado se ha vuelto una práctica habitual en el sector de la construcción. El destino final de estos materiales dependerá de su composición; por ejemplo, los áridos reciclados procedentes de hormigón pueden emplearse en la fabricación de hormigón armado, siempre que se mantengan ciertos criterios de dosificación. El aspecto principal para considerar es la mayor demanda de agua del hormigón reciclado, así como un posible aumento en el consumo de cemento.

2.2.10. Hormigón

2.2.10.1. Definición y Clasificación del Hormigón

El hormigón es un material de construcción compuesto, definido en la norma ecuatoriana como una mezcla de cemento hidráulico, agregados finos y gruesos, agua y, en caso necesario, aditivos. Cuando se combina con acero de refuerzo, da lugar al hormigón armado, el sistema estructural predominante en las edificaciones del Ecuador.

Según la NEC-SE-HM, el hormigón se clasifica en:

Hormigón de Peso Normal: Contiene agregados que cumplen con la especificación ASTM C33, la cual define los requisitos de calidad y granulometría para agregados finos (arena) y gruesos (grava, piedra triturada) en concreto estructural.

Hormigón Estructural: Utilizado con fines estructurales, incluye hormigón simple y reforzado.

Hormigón Liviano: Posee una densidad de equilibrio entre 1440 y 1840 kg/m³.

Hormigón Reforzado: Contiene al menos la cantidad mínima de acero de presfuerzo o acero no presfuerzo (MIDUVI & CAMICON, 2014).

2.2.10.2. Requisitos de diseño y durabilidad

La norma establece que el hormigón estructural debe cumplir con requisitos de resistencia al menos iguales a las cargas mayoradas en sus combinaciones. Además, debe satisfacer requisitos de diseño sísmico, como ductilidad y disipación de energía. Para ello, propone sistemas estructurales en función del mecanismo dúctil esperado (pórticos especiales, pórticos con vigas banda, muros estructurales, muros estructurales acoplados).

En cuanto a la durabilidad, el hormigón debe garantizar resistencias mecánicas, resistencia a agentes agresivos y a la intemperie. Para orientar su formulación, la norma establece categorías y clases de exposición (congelación, sulfatos, baja permeabilidad, protección del refuerzo contra corrosión), las cuales sirven para identificar el tipo de cemento a usar y posibles limitantes con los materiales cementantes (MIDUVI & CAMICON, 2014).

2.2.10.3. Propiedades mecánicas

Resistencia a Compresión: Se establecen valores mínimos de 21 MPa para hormigón normal y máximos de 35 MPa para hormigón liviano. Debido a la variabilidad inherente, la norma señala que el hormigón debe dosificarse para obtener una resistencia promedio significativamente superior a la especificada, mediante fórmulas establecidas para cuando se disponga o no de datos estadísticos de ensayos previos.

Resistencia a la Fluencia: Basada en ensayos de fábrica, esta resistencia no debe ser mayor a 125 MPa. Además, se requiere que la relación entre la resistencia real a tracción y la resistencia real a la fluencia no sea menor de 1.25 (MIDUVI & CAMICON, 2014).

2.2.10.4. Consideración de los materiales en el contexto ecuatoriano

Un aspecto clave en Ecuador es la variabilidad del módulo de elasticidad del agregado grueso, el cual depende de su origen geográfico. Ante esto, la norma propone un método de cálculo para el módulo de elasticidad del hormigón mediante una fórmula que considera la raíz cúbica del módulo de elasticidad del agregado (E_a , en GPa), la raíz cuadrada de su resistencia a compresión (f'_c , en MPa) y un factor de 1.15. Para ello, la norma proporciona valores de referencia para E_a según el origen del agregado (MIDUVI & CAMICON, 2014).

2.2.10.5. Componentes del Hormigón

2.2.10.5.1. Cemento

2.2.10.5.1.1. Tipos de Cemento Utilizados en Ecuador

En Ecuador, los cementos empleados en la construcción son principalmente de tipo Portland o hidráulico. El cemento hidráulico se caracteriza por su capacidad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, debido a una reacción química con ella.

Una variante importante es el cemento hidráulico compuesto, el cual consiste en una mezcla de dos o más constituyentes inorgánicos, donde al menos uno de ellos no es clinker de cemento Portland. Esta combinación tiene como propósito mejorar propiedades como la resistencia y la durabilidad (INEN, 2010).

2.2.10.5.1.2. Composición y Clasificación del Cemento Portland

El cemento Portland es un tipo específico de cemento hidráulico producido mediante la pulverización de clinker. Su composición esencial consiste en silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y puede contener uno o más de los siguientes componentes: agua, sulfato de calcio y hasta un 5% de piedra caliza. El clinker de cemento Portland es un material parcialmente fundido, predominantemente compuesto por silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos (INEN, 2010).

2.2.10.5.2. Áridos

Los áridos son materiales granulares como la arena, la grava, la piedra triturada, la escoria de altos hornos de hierro o los materiales reciclados, como los áridos provenientes de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Estos se utilizan en combinación con un material cementante para producir hormigón.

Los áridos se clasifican según el tamaño de sus partículas:

Árido Fino: Es aquel que pasa completamente por un tamiz de 9.5 mm (3/8 de pulgada), y cuya mayor parte de partículas pasa por un tamiz de 4.75 mm (Nº 4) y es retenida en el tamiz de 75 µm (Nº 200). Comúnmente se conoce como arena.

Árido Grueso: Es aquel cuyas partículas son retenidas en su mayoría en el tamiz de 4.75 mm (Nº 4). Comúnmente se conoce como grava o piedra triturada (INEN, 2010).

2.2.10.5.3. Agua

La hidratación del cemento requiere una cantidad de agua precisa. Un exceso de agua reduce la resistencia final del hormigón debido a la formación de poros y huecos, mientras que una cantidad insuficiente perjudica su trabajabilidad y compactación. Además, el agua es esencial para el proceso de curado, que evita la retracción prematura y asegura el desarrollo adecuado de las propiedades del material.

La calidad del agua utilizada es fundamental. Por lo general, se recomienda emplear agua potable. Es crucial que el agua no tenga un pH inferior a 5 y que esté libre de contaminantes como grasas, aceites o hidratos de carbono, los cuales pueden interferir en las reacciones químicas de fraguado y endurecimiento (Iñigo, 2022).

2.2.11. Proceso de reciclaje de los RCD

Según Iñigo (2022), el proceso de reciclaje de los RCD consiste en transformar los materiales en fracciones de menor tamaño mediante trituración. Este proceso se lleva a cabo en instalaciones especializadas de reciclaje, caracterizadas por las etapas y tipos de trituración empleados, los cuales, como se mencionó anteriormente, influyen en la caracterización de los áridos reciclados. Las etapas de reciclaje comprenden procesos como trituración, tamizado y segregación por tamaño del agregado, con el fin de reducir la presencia de impurezas, tales como metales, plásticos o vidrio. Por ello, en la Figura 1 se presenta el proceso de reciclaje.

Figura 1

Proceso de reciclaje de los Residuos de Construcción y Demolición.



Nota. Tomado de Análisis de propiedades de hormigones con sustitución total de árido grueso por subproductos industriales y residuos de construcción y demolición (Iñigo, 2022).

La calidad de los áridos reciclados, asimismo, depende del mortero adherido. Existen plantas capaces de reducirlo mediante calentamiento del árido reciclado, con lo cual se obtiene un bajo porcentaje de mortero adherido; sin embargo, debe considerarse que, a temperaturas muy elevadas, pueden verse reducidas las propiedades mecánicas de los RCD.

2.3.Marco conceptual

Residuo

Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido y semisólido, resultante del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios (INEN, 2014).

Tratamiento

Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos, se aprovecha su potencial y/o se reduce su volumen de peligrosidad (INEN, 2014).

Valorización

Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objeto es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica (INEN, 2014).

Economía circular

“Nos menciona la economía circular como un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible” (Parlamento Europeo, 2023, párr. 2).

Reutilización

Una definición dada en Rodríguez et al. (2010) es que la reutilización es un proceso mediante el cual es posible volver a utilizar productos o bienes que aún están en buen estado

o que solo requieren una reparación menor. Puede interpretarse como la extensión de la vida útil de un artículo que, de otro modo, estaría destinado a desecharse.

Reciclaje

La definición dada en Rodríguez et al. (2010) mencionan que es el proceso mediante el cual un material o producto usado se somete a un tratamiento total o parcial, dando como resultado un nuevo producto que puede reincorporarse al mercado con valor económico.

Huella de carbono

Se entiende como la suma de las emisiones generadas, de forma directa o indirecta, a lo largo de las etapas de extracción, fabricación, transporte y construcción de una vivienda (Ministerio de Medio Ambiente Chile, 2022).

2.4.Marco histórico

Se debe considerar que la necesidad de usar áridos depende de la demanda existente. Para contextualizar esta relación, en Roscher (2023) se explica que la urbanización constituye una mega tendencia global, independientemente del país, y que se considera uno de los principales motores del uso de recursos naturales. Asimismo, se señala que más del 90 % de los recursos utilizados en la construcción son de origen mineral no metálico, y que este sector genera afectaciones como erosión y degradación de paisajes, ecosistemas y hábitats naturales asociadas a la obtención de dichos recursos. En este contexto, el uso de áridos se ha incrementado con el desarrollo de nuevas urbanizaciones, viviendas y edificaciones, lo que implica una demanda creciente. En consecuencia, se plantea la incertidumbre sobre si, en el futuro, se dispondrá de cantidades suficientes de áridos para abastecer la demanda existente.

Según Papamichael (2023), conforme la demanda de materiales continúe creciendo y la vida útil de las edificaciones se acorte, el sector de la construcción enfrenta una presión creciente por reducir la cantidad de material mineral utilizado. Para abordar esta situación, se proponen enfoques de recuperación de materiales, como la economía circular, orientados a disminuir los residuos de construcción; en este marco, el RCD deja de ser únicamente un residuo destinado a disposición final y comienza a entenderse como una fuente de materiales, en particular el residuo de concreto y mampostería, que puede transformarse en áridos reciclados, lo cual abre la posibilidad de reincorporarlo en nuevos productos de

construcción. Esto se debe a que la escasez de materiales constituye una preocupación para la sostenibilidad; en este sentido, la economía circular busca transformar el enfoque lineal de extraer, construir y descartar. No obstante, aun con la aplicación de la economía circular a los RCD, la sostenibilidad puede verse limitada. Por ejemplo, un edificio típico puede tener una vida útil de 50 a 100 años; sin embargo, podría demolerse después de 30 años por pérdida de atractivo o funcionalidad, o por afectaciones derivadas de fenómenos naturales, como sismos, que comprometan su desempeño estructural. En consecuencia, se requeriría mayor cantidad de material para reconstruirlo; por lo tanto, la reutilización y el reciclaje de RCD contribuyen a reducir la extracción de material nuevo, además de disminuir los residuos destinados a vertederos y prolongar su vida útil, considerando que los RCD suelen ocupar un volumen significativo debido a su composición.

En el contexto ecuatoriano, el crecimiento urbano y la actividad constructiva han incrementado la generación de RCD, lo que ha impulsado el interés por alternativas de valorización y la adopción de enfoques como la economía circular. Sin embargo, el tránsito desde la gestión de los RCD hasta su uso en productos de construcción requiere un marco normativo claro que acompañe la cadena de valorización. En este sentido, el análisis del contexto nacional, apoyado en la disponibilidad de información pública y de instrumentos de gestión en las principales ciudades, resulta relevante para comprender cómo se ha abordado el flujo de los RCD e identificar las condiciones necesarias para su utilización en hormigones.

Como referencia comparativa, en Guayaquil se ha establecido una entidad pública dedicada a la economía circular “CIRCULAR EP”. Esta entidad se enfoca en el aprovechamiento, la valorización y la disposición final de residuos y desechos. En su plan estratégico 2025-2027, uno de sus enfoques clave es la innovación y el desarrollo, con el propósito de implementar soluciones para el manejo, tratamiento y/o aprovechamiento de los desechos y subproductos de la disposición final, incluyendo específicamente los residuos de demolición (escombros). Para este fin, el plan establece una meta cuantificable: aprovechar 6,000 toneladas de escombros, asignando la responsabilidad de su seguimiento al Departamento de Relleno Sanitario y la Gerencia Jurídica. Sin embargo, cabe señalar que, al momento de esta investigación, no se encontró en la página web de la empresa información detallada, como informes de avance o datos públicos sobre las cantidades totales de residuos producidos y

el porcentaje efectivamente reciclado, lo cual limita la evaluación de su desempeño concreto (Circular EP, 2025).

En el caso de Quito, se recurrió a la información pública proporcionada por la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS, 2025) la cual registra volúmenes de residuos ingresados y reciclados, así como series de escombros por estaciones de transferencia. A continuación, se presenta esta información como antecedente cuantitativo del flujo gestionado por el sistema municipal para observar variaciones interanuales en la magnitud del ingreso y del reciclaje reportado.

2016: 649 mil toneladas ingresadas; 6,6 mil recicladas.

2017: 684 mil toneladas ingresadas; 6,8 mil recicladas.

2018: 717 mil toneladas ingresadas; 5,8 mil recicladas.

2019: 667 mil toneladas ingresadas; 6,2 mil recicladas.

2020: 694 mil toneladas ingresadas; 2,09 mil recicladas.

2021: 710 mil toneladas ingresadas; 5,4 mil recicladas.

2022: 688 mil toneladas ingresadas; 5 mil recicladas.

2023: 707 mil toneladas ingresadas; 5,6 mil recicladas.

2024: 704 mil toneladas ingresadas; 6,1 mil recicladas.

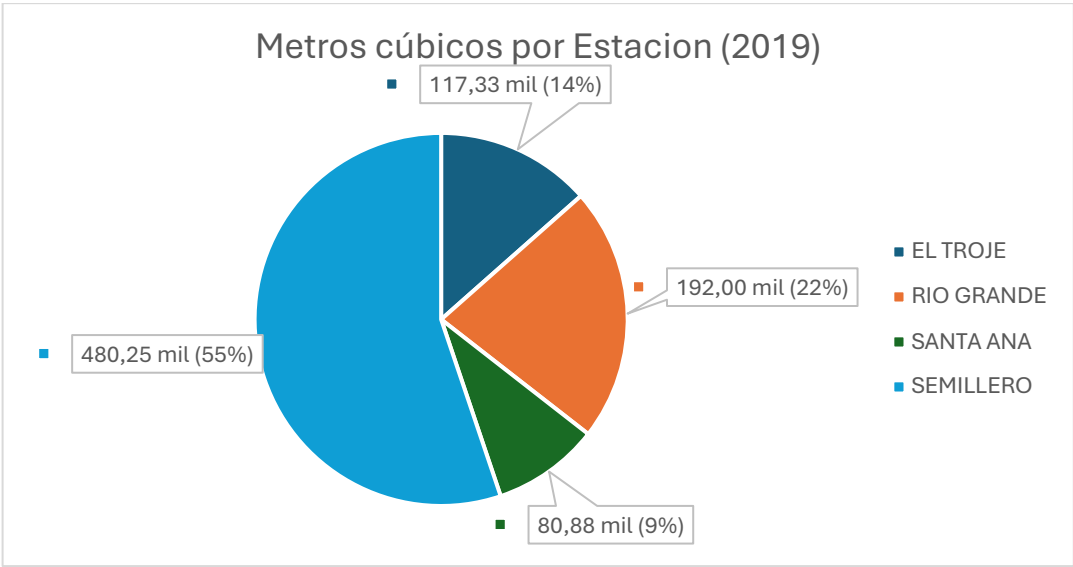
2025 (hasta septiembre): 547 mil toneladas ingresadas; 5,1 mil recicladas.

Sin embargo, aunque estos registros permiten comparar magnitudes de ingreso y reciclaje, la información pública consultada no especifica el destino o aplicación final de los materiales reportados como “reciclados”. Es decir, no se detalla si los residuos reciclados se convierten en insumos para cadenas de valor. En consecuencia, estos datos son adecuados para caracterizar el flujo gestionado por el sistema municipal, pero no permiten verificar directamente el grado de valorización en usos específicos como la fabricación de hormigones.

La misma fuente pública presenta un apartado específico sobre la “producción anual de escombros” expresada en m³ y su distribución por estaciones de transferencia para el período 2019–2025. Esta información permite visualizar cómo se concentra territorialmente la recepción de escombros y cómo varía el patrón de distribución entre estaciones a lo largo del tiempo.

2019: Se ingresaron 870,47 mil m³, distribuidos en las estaciones El Troje, Río Grande, Santa Ana y Semillero, la Figura 2 presenta la distribución del volumen anual de escombros por estación.

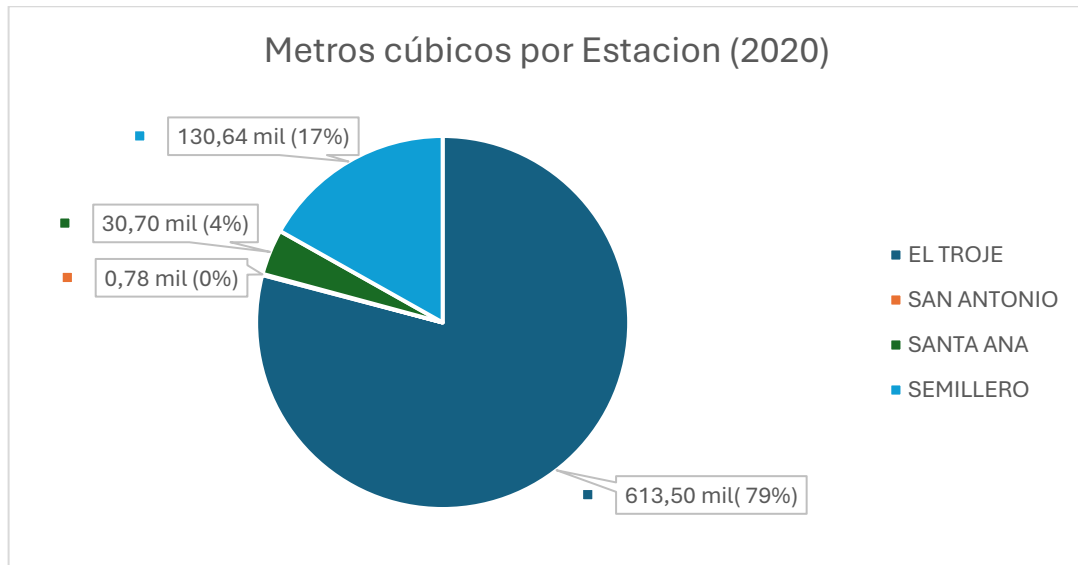
Figura 2
Distribución de Escombros por Estación año 2019.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2020: El volumen descendió a 775.62 mil m³, manteniéndose su distribución en El Troje, Río Grande, Santa Ana y Semillero, la Figura 3 presenta la distribución correspondiente.

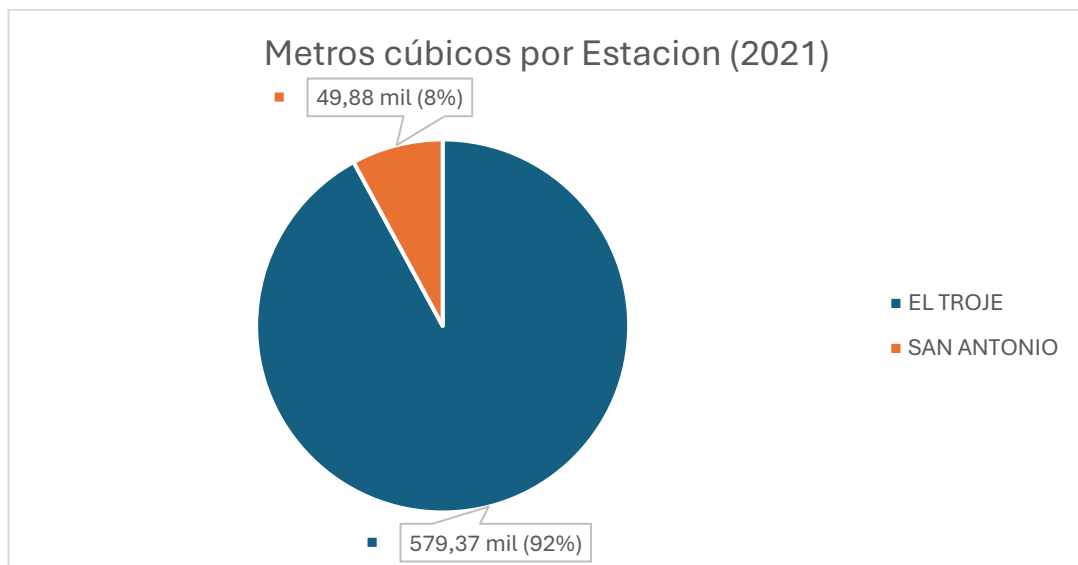
Figura 3
Distribución de Escombros por Estación año 2020.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2021: Se registró un ingreso de 629.25 mil m³, que se distribuyó únicamente entre las estaciones El Troje y San Antonio, la Figura 4 presenta la distribución del año.

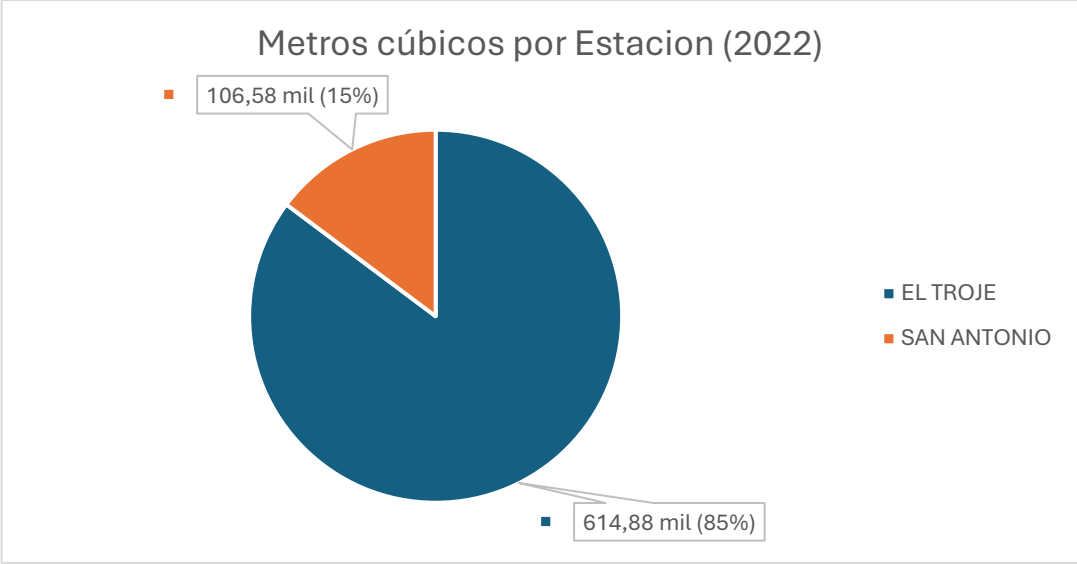
Figura 4
Distribución de Escombros por Estación año 2021.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2022: El volumen aumentó a 721.45 mil m³, conservando su distribución entre El Troje y San Antonio, la Figura 5 presenta la distribución correspondiente.

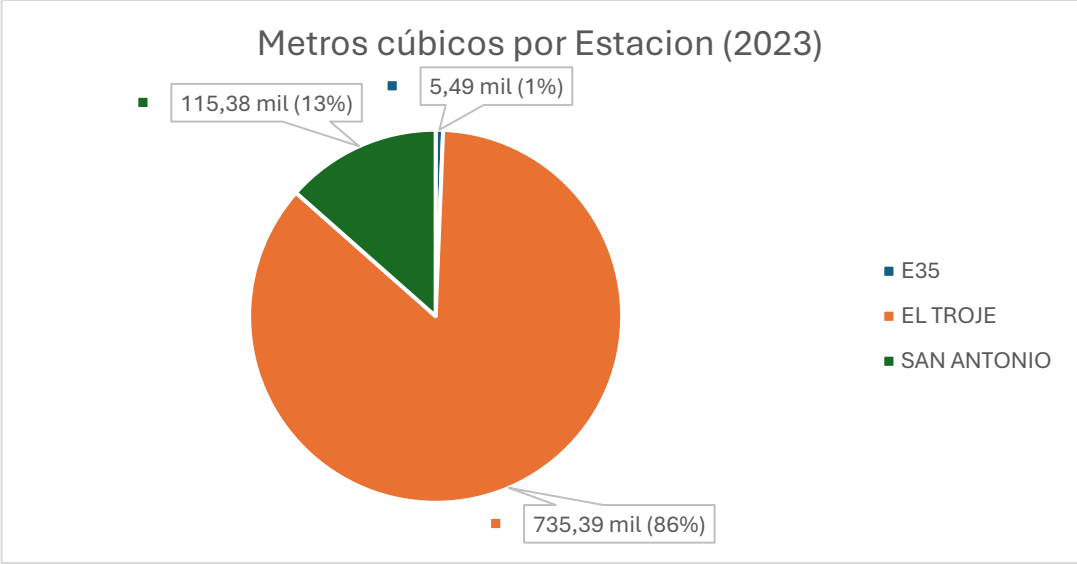
Figura 5
Distribución de Escombros por Estación año 2022.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2023: Los ingresos crecieron significativamente a 856.26 mil m³, y su distribución se extendió a las estaciones E35, El Troje y San Antonio, la Figura 6 presenta la distribución correspondiente.

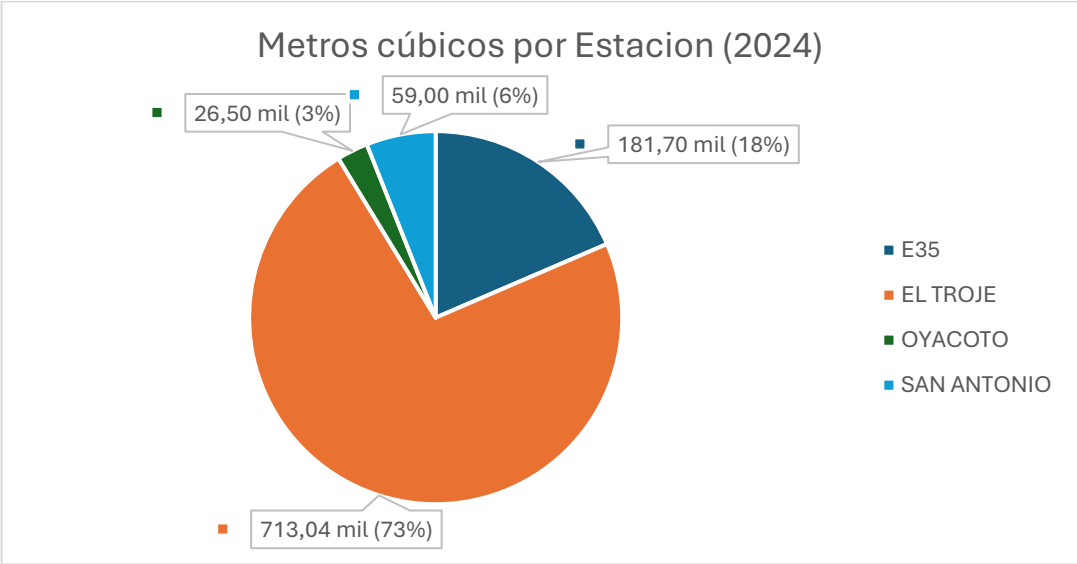
Figura 6
Distribución de Escombros por Estación año 2023.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2024: Se alcanzó el pico de 1,217.23 mil m³, distribuyéndose en las estaciones E35, El Troje, Oyacoto y San Antonio, la Figura 7 muestra la distribución anual por estación.

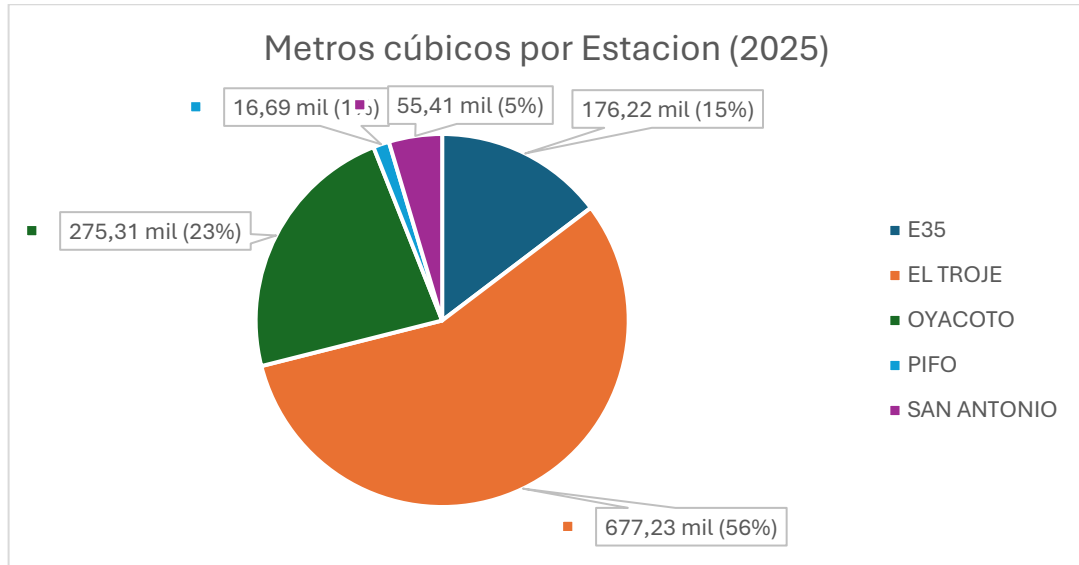
Figura 7
Distribución de Escombros por Estación año 2024.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

2025 (hasta septiembre): Ya se han registrado 1,187.19 mil m³, distribuidos en E35, El Troje, Oyacoto, Pifo y San Antonio, la Figura 8 presenta la distribución correspondiente.

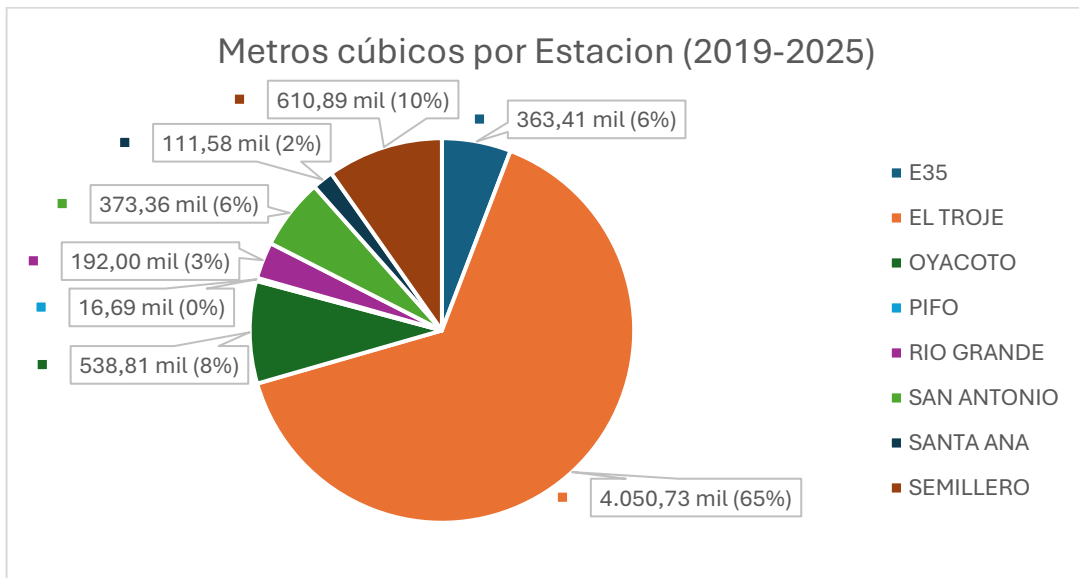
Figura 8
Distribución de Escombros por Estación año 2025.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

Finalmente, la Figura 9 consolida la distribución de escombros en las diferentes estaciones a lo largo de todo el período (2019-2025).

Figura 9
Distribución de Escombros por Estación año 2019-2025.



Nota. Tomado de Gestión en cifras (EMGIRS, 2025).

En abril de 2021, la Gerencia Administrativa Financiera de la empresa pública EMGIRS EP realizó un estudio de costos de producción para los servicios que presta a la ciudad. Los resultados de dicho estudio se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3
Comparación Costo/Precio por servicio

| Detalle | Precio Vigente | Costo Actual (2021) | Ganancia (+)/ Pérdida (-) |
|---|------------------|---------------------|---------------------------|
| Disposición de Residuos Sólidos No Peligrosos en la Estación de Transferencia Norte | 25,83 USD/Ton | 33,14 USD/Ton | -7,31 USD/Ton |
| Disposición de Residuos Sólidos No Peligrosos en la Estación de Transferencia Sur | 25,83 USD/Ton | 36,65 USD/Ton | -10,82 USD/Ton |
| Disposición de Residuos Sólidos No Peligrosos en el Relleno Sanitario del Distrito Metropolitano de Quito | 15,22 USD/Ton | 26,68 USD/Ton | -11,46 USD/Ton |
| Disposición de Escombros (Generadores DMQ) | 0,57 USD/m3 | 1,45 USD/m3 | -0,88 USD/m3 |

Nota. Tomado de *Plan de gestión integral municipal de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios del Distrito Metropolitano de Quito* (MAE, 2023).

Respecto a la situación tarifaria para los residuos reciclables, el Plan de Gestión de Quito señala que en el Ecuador no existe un sistema tarifario que contemple un pago específico por el servicio de reciclaje. A nivel nacional, el cobro por la recolección y tratamiento de residuos se realiza a través de la planilla de energía eléctrica. Anteriormente, este cálculo se basaba en el 10% del consumo eléctrico, pero a partir de 2013 se dispuso que los GADs diseñen una fórmula tarifaria propia. Quito adoptó el Acuerdo Municipal de 2017, que es el

más vigente; sin embargo, este acuerdo no incluye ninguna remuneración para el servicio de reciclaje. Esta ausencia de una tarifa específica impide contar con un estímulo económico fundamental para mejorar los sistemas de aprovechamiento de residuos reciclables. En consecuencia, los ingresos de los recicladores dependen exclusivamente de la comercialización de los materiales que logran recuperar (MAE, 2023).

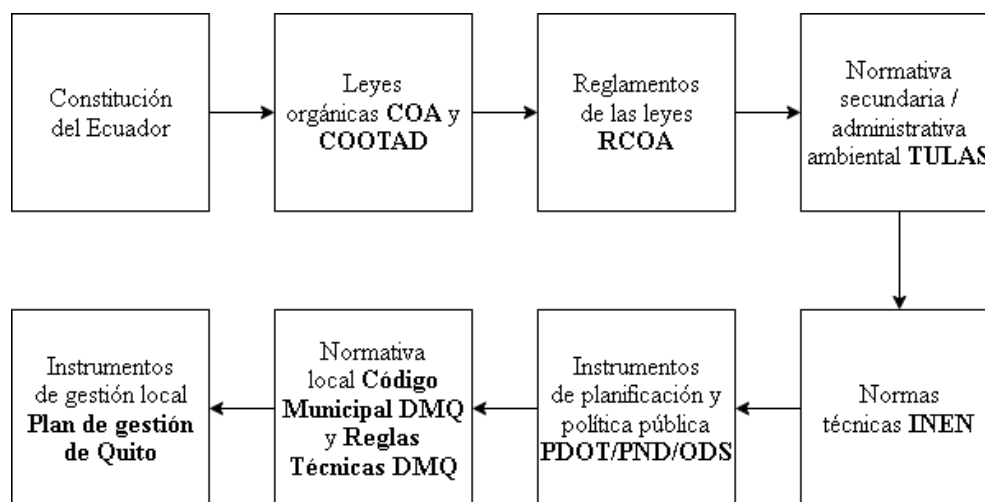
2.5. Marco normativo y legal

En el Ecuador, la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) se sustenta de normas que orientan la prevención de impactos y la valorización de materiales. El marco parte de los principios constitucionales que reconocen el derecho a un ambiente sano y promueven prácticas de producción y consumo compatibles con la sostenibilidad. Con base en ello, el Código Orgánico del Ambiente y el COOTAD establecen políticas de gestión de residuos, definen responsabilidades y delimitan competencias, asignando un rol clave a los Gobiernos Autónomos Descentralizados en la organización del servicio y la implementación de sistemas de gestión. De manera complementaria, el Reglamento al COA desarrolla mecanismos de ejecución mediante instrumentos como los planes municipales de gestión integral, requisitos de diagnóstico y planificación, obligaciones de reporte, vigencias y procesos de control, seguimiento y fiscalización por parte de la Autoridad Ambiental Nacional. A nivel operativo, el TULAS refuerza el enfoque de gestión integral al precisar obligaciones del generador y condiciones técnicas para la separación en la fuente, el almacenamiento temporal, el transporte, el funcionamiento de centros de acopio y el aprovechamiento, lo que permite incorporar, cuando corresponda por su clasificación y características, los residuos generados por actividades constructivas dentro de la gestión. Asimismo, las normas técnicas INEN contribuyen a estandarizar procedimientos de identificación y manejo de residuos especiales, incluidos los escombros, fortaleciendo la gestión. En el plano territorial, las directrices de planificación pública impulsan enfoques asociados a la economía circular, cero basura y metas alineadas con la Agenda 2030, creando un entorno favorable para la valorización de residuos. Finalmente, en el Distrito Metropolitano de Quito se evidencian disposiciones específicas para escombros que refuerzan la responsabilidad del generador y del constructor, regulan la recolección y el transporte, determinan sitios autorizados e incorporan medidas de control y un régimen sancionatorio, lo cual constituye un referente aplicable para fortalecer la implementación en

otros GAD. En conjunto, estas disposiciones permiten sustentar técnicamente la formulación de planes de gestión de RCD orientados a la reducción, separación, reutilización, reciclaje y valorización, con énfasis en la disminución de impactos ambientales y la optimización de recursos. Para clarificar la jerarquía normativa, se presenta el esquema correspondiente en la Figura 10.

Figura 10

Jerarquía normativa e instrumentos de gestión para residuos y RCD.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Norma vigente en Ecuador aplicable a RCD.

| Norma | Artículo / sección | Descripción |
|--|--------------------|---|
| (Constitución de la República del Ecuador, 2008) | Art. 14 | Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando sostenibilidad y buen vivir (sumak kawsay), promoviendo prevención de daños ambientales y recuperación de espacios degradados. |
| | Art. 408 | Asigna al Estado el deber de garantizar que los mecanismos de producción y consumo preserven y recuperen los ciclos naturales. |
| | Art. 413 | Obliga a promover el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y saludables. |

| | | |
|--|----------|---|
| COOTAD (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010) | Art. 136 | Distribuye competencias ambientales: tutela estatal a través del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental; acciones sujetas a regulaciones técnicas de la Autoridad Ambiental Nacional (AAN); GAD ordenan, disponen y organizan gestión ambiental en su jurisdicción según directrices AAN; GAD deben implementar progresivamente sistemas de gestión de desechos (infraestructura). |
| Código Orgánico del Ambiente – COA (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017) | Art. 225 | Políticas de gestión de residuos: manejo cerca de fuente; responsabilidad extendida del productor; educación y cultura ambiental; aprovechamiento/valorización como bien económico; tecnologías que minimicen impactos; responsabilidad compartida (internalización de costos, derecho a información, inclusión social/económica e incentivos); estándares en todas las etapas (generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento, disposición final); sistematizar, difundir información; jerarquía: prevención, reducción, reutilización, reciclaje, valorización sobre eliminación. |
| | Art. 316 | Infracciones leves: señala que una relevante para RCD es “generación de residuos especiales sin autorización correspondiente”. |
| Reglamento al COA – RCOA (MAE, 2019) | Art. 565 | Obliga a GAD a elaborar y presentar Plan de Gestión Integral Municipal de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos; remitir a AAN para aprobación, control y seguimiento. Incluye: diagnóstico, fases, objetivos, metas, cronograma, presupuestos, responsables, seguimiento, control y medios de verificación. |
| | Art. 567 | Toda modificación al plan debe ser notificada y justificada ante la AAN. |
| | Art. 568 | Obliga a presentar informe anual de ejecución del plan. |
| | Art. 569 | Vigencia del plan: 2 años; debe renovarse. |
| | Art. 573 | Atribuciones de la AAN: normas técnicas; política de reciclaje inclusivo; planes, programas, proyectos; información sobre residuos; listados nacionales; sistema único/inventario; viabilidad técnica a estudios/proyectos de GAD; pronunciamientos sobre declaraciones anuales; seguimiento a planes municipales; registro de generador; control normativo técnica; sanciones por incumplimiento. |

| | | |
|--|--|---|
| | Art. 574 | Competencias GAD: normativa local, planes/proyectos, plan municipal, declaración anual, gestión integral territorial, registros del servicio y de gestores, educación, centros de recuperación/tratamiento, coordinación con AAN y definición de sitios de disposición/acopio/transferencia en ordenamiento territorial. |
| | Art. 49 | Políticas generales obligatorias: manejo adecuado, minimización, fomento del aprovechamiento y valorización; jerarquía: prevención, minimización, clasificación, aprovechamiento, tratamiento y disposición final. |
| | Art. 60 | Obligaciones del generador: responsabilidad hasta entrega a recolección y disposición autorizada; reducción; separación en fuente; almacenamiento temporal adecuado; grandes generadores: área accesible; registro mensual; entrega a gestores autorizados. |
| TULAS (MAE, 2015) | Art. 64 | Requisitos almacenamiento: debe permitir una fácil limpieza e impedir la proliferación de vectores o el ingreso de animales; contar con espacio suficiente para la manipulación de residuos; estar separado de las áreas de producción; recibir limpieza periódica; disponer de iluminación adecuada; facilitar el traslado de residuos; ser manejado exclusivamente por personal capacitado; y mantener la responsabilidad de los usuarios en el aseo de las áreas circundantes. |
| | Art. 67 | Transporte: equipos apropiados, prevenir derrames, limpieza de recipientes, vehículos y implementos. |
| | Art. 70 | Centros de acopio: disponer de un área delimitada con techo y suelo impermeable; contar con iluminación adecuada y sistemas de ventilación natural o forzada; implementar medidas de prevención y control de incendios; carecer de conexiones cercanas a cuerpos de agua; y no generar molestias ni impactos negativos a la comunidad circundante. |
| | Art. 72 | Aprovechamiento: reduce costos y aumenta vida útil de disposición final; acta entrega-recepción; uso energético requiere aprobación AAN; operaciones de valorización, reúso, reciclaje deben ser financiera y ambientalmente sostenibles. |
| (INEN, Gestión ambiental. Estandarización de colores para recipientes de | (Norma técnica – identificación / código de colores) | Identificación de recipientes; código de colores; color anaranjado para residuos especiales (no peligrosos) que requieren manejo especial, como escombros y similares a escombros. |

| | | |
|---|---|---|
| depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos (NTE INEN 2841), 2014) | Art. 217 | Establece a EMGIRS EP: servicios asociados a infraestructura; diseño, planificación, construcción, mantenimiento y operación de infraestructura de gestión de residuos; calidad, eficiencia, prevención de riesgos ambientales, reducción por reutilización, reciclaje, educación ambiental y buenas prácticas. |
| Código Municipal del DMQ (Concejo Metropolitano de Quito, 2025) | Art. 2833 | Obligaciones ambientales generales: explotación de áridos, pétreos bajo prevención, mitigación y remediación; promueve reciclaje y reutilización para preservar recursos y minimizar generación de residuos. |
| | Art. 3269 | Sistema integral: prevención a disposición final; reducir generación; aumentar vida útil de rellenos; fomentar gestión parroquial. |
| | Art. 3271 | Componentes: recolección, transporte, acopio, reducción, aprovechamiento y eliminación. |
| | Art. 3272 | Principios: jerarquía, precaución y control; prioridad reducción en fuente; aprovechamiento; tratamiento en origen. |
| | Art. 3280 | Clasificación por tipo y origen; incluye “escombros y otros” (residuos de construcción, demolición y obras civiles). |
| | Art. 3285 | Obligación de diferenciar residuos en la fuente. |
| | Art. 3286 | Alternativas de acopio, recolección, transporte a sitios autorizados mediante gestores artesanales acreditados cuando no haya recolección diferenciada. |
| | Art. 3287 | Aun sin servicio municipal de recolección diferenciada, el generador debe diferenciar en fuente. |
| | Art. 3307 | Recolección especial de escombros: el generador debe recolectar, transportar y disponer en escombreras autorizadas, separado del resto. |
| | Art. 3309 | Productor y constructor deben velar por manejo y disposición final del escombros producido. |
| Art. 3314 | Transporte a estaciones de transferencia, centros tratamiento, rellenos según corresponda. | |
| Art. 3320 (reciclaje / plan de manejo) | Residuos valorizables: obligación de incluir plan de manejo para minimizar generación y promover valorización, aprovechamiento. | |

| | | |
|---|-----------------------------------|--|
| | Art. 3320 (sitios autorizados) | Sitios autorizados para recibir escombros, tierra, ceniza, chatarra; municipio informa, señala y define transporte por material. |
| | Art. 4276 | Infracción grave: abandonar material en vía pública o dejar residuos de construcción que causen riesgo. |
| Reglas Técnicas de Gestión Integral de Residuos Sólidos del DMQ (Concejo Metropolitano del Distrito Metropolitano de Quito, 2010) | Art. 39–42 | Responsabilidad: Es responsabilidad del productor de los escombros (generador) su recolección, transporte y disposición final en escombreras autorizadas. El servicio público de aseo podrá ofrecer este servicio como una opción. Separación: Se prohíbe mezclar los escombros con residuos domésticos, industriales o de origen hospitalario. Estos flujos deben manejarse por separado. Obligación compartida: Es obligación tanto del productor (generador) como del constructor supervisar y velar por el manejo adecuado y la disposición final de los escombros que se produzcan. Control del transporte: Las empresas que presten el servicio de transporte de escombros deberán obtener un permiso de movilización expedido por el Municipio, como requisito indispensable para operar. |
| Directrices PDOT alineación PND 2021–2025 (MAE, 2023) | (Lineamientos) | Políticas: prevenir, minimizar, separar, almacenar, transportar, aprovechar, valorizar, tratar y disponer; economía circular, cero basuras; eficiencia, rentabilidad; empleo e insumos como materia prima; vinculación a (ODS) 6 (Agua limpia y saneamiento), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), 15 (Vida de ecosistemas terrestres) y 12 (Producción y consumo responsables). |
| Plan de Gestión de Residuos de Quito (MAE, 2023) | (Régimen de tasas) | Para los generadores comunes, el monto está asociado al consumo de energía eléctrica y al sector urbano donde se ubican. Para los grandes generadores, la tasa mensual se calcula considerando el costo operativo por tonelada, el volumen de basura recolectado, el peso promedio de los desechos y un factor de inflación. Las empresas auto productoras y auto generadoras de energía eléctrica utilizan los mismos parámetros de cálculo que los grandes generadores. |

Nota. Elaboración propia.

3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Diseño metodológico

La investigación se desarrolló bajo un diseño cualitativo, de tipo documental y analítico, orientado a interpretar la viabilidad normativa y operativa para incorporar los RCD como insumo en la producción de nuevos hormigones en el Ecuador. Este diseño no busca estimar relaciones estadísticas, sino comprender, describir y estructurar un modelo de gestión a partir de obligaciones normativas ya existentes que pueden extenderse y aplicarse a los RCD, competencias institucionales, condiciones operativas y experiencias de implementación municipal.

3.2. Definición de enfoque del trabajo de investigación

El enfoque de este trabajo es meramente cualitativo, dado que el estudio se centra en el análisis e interpretación del marco normativo seleccionado y su capacidad para sustentar la propuesta de un modelo operativo de gestión de RCD, con énfasis en la valorización orientada a la producción de hormigones.

3.3. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos

Se aplicaron tres métodos:

Revisión documental sistemática, en la que se recopiló literatura relacionada con la gestión de RCD, economía circular y hormigón con áridos reciclados. Se priorizaron tesis de posgrado de repositorios universitarios, debido a su nivel de detalle metodológico y su aplicabilidad

Análisis normativo, mediante la selección de un conjunto de normas y la aplicación de análisis de contenido para identificar obligaciones del generador, competencias del GAD y de la AAN, requisitos técnicos por fase (almacenamiento, transporte, acopio y aprovechamiento) y exigencias de planificación

Estudio de caso local del Distrito Metropolitano de Quito, utilizado como caso instrumental para extraer elementos operativos y económicos replicables a escala nacional, tales como modalidades de recolección y transporte, identificación de brechas, estructura institucional y lineamientos.

3.4. Bases y fuentes de información

Se emplearon las siguientes fuentes: literatura científica (artículos y reportes), tesis de posgrado, normativa ecuatoriana seleccionada, instrumentos municipales y planes de gestión (Quito), y documentos institucionales nacionales relacionados con planificación y economía circular.

3.5. Procedimiento para la elaboración del modelo de gestión

Fase 1. Definición del sistema a modelar: Se delimitará el modelo a los RCD no peligrosos, con énfasis en la fracción pétreo, y se establecerán los límites del proceso desde la generación hasta la disposición final, así como los actores involucrados y los niveles de aplicación.

Fase 2. Extracción y organización de requisitos normativos: Se realizará una lectura analítica de la normativa seleccionada para identificar, por cada fase del sistema, los elementos que deben incorporarse en el modelo, tales como las obligaciones del generador, los requisitos de transporte, los requerimientos de almacenamiento y los lineamientos de aprovechamiento.

Fase 3. Integración del caso Quito como referencia operativa: Esta fase tiene como objetivo identificar componentes operativos y económicos susceptibles de escalarse a nivel nacional, tales como modalidades de recolección y transporte, el rol de empresas públicas en la operación o infraestructura, problemas identificados y mecanismos de sostenibilidad financiera.

Fase 4. Diseño del flujo operativo del modelo: Con base en los requisitos normativos y el caso de Quito, se diseñará el flujo operativo del modelo nacional, describiendo las etapas de prevención y minimización, cuantificación y registro, separación en la fuente, almacenamiento temporal, recolección y transporte, acopio y transferencia, tratamiento y aprovechamiento, y disposición final.

Fase 5. Definición de control y verificación: Finalmente, se definirán mecanismos de seguimiento y control que permitan evaluar el desempeño del sistema mediante evidencias documentales mínimas e indicadores de desempeño. Los indicadores se planificarán inicialmente como metas progresivas.

3.6. Síntesis

Se aplicó triangulación mediante el cruce de hallazgos provenientes de la literatura, la

normativa y el caso de estudio, con el fin de construir una propuesta integral. Este proceso permitió identificar convergencias (por ejemplo, la prioridad de separación y valorización) y brechas (por ejemplo, la falta de caracterización y dimensionamiento para plantas de trituración), lo cual fundamenta las recomendaciones y el diseño del modelo.

3.7. Criterios de validez y actualidad

Además del filtro temporal, se aplicaron criterios de calidad: relevancia directa con RCD/hormigón reciclado/modelos de gestión, coherencia metodológica, y aplicabilidad al contexto ecuatoriano. En normativa, se priorizó vigencia y aplicabilidad por competencias

4. ANÁLISIS

4.1. Presentación de resultados de la propuesta modelo de gestión

4.1.1. Introducción

En este apartado del documento se presenta un modelo nacional de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD), orientado a la reutilización y valorización, con énfasis en la fracción pétreo (principalmente hormigón), dado que esta puede reutilizarse al transformarse en árido reciclado e incorporarse a la producción de nuevos hormigones. El modelo se concibe como una estructura replicable por los GAD y compatible con el marco normativo analizado en la investigación, de modo que pueda implementarse mediante instrumentos municipales de gestión, permitiendo su operación, control y sostenibilidad económica.

La lógica de diseño parte de una evidencia: incluso en ciudades con avances institucionales y de planificación, como Quito, se reconoce que la gestión de escombros enfrenta limitaciones estructurales. En particular, se identifica que no existen caracterizaciones suficientes para dimensionar instalaciones de trituración de hormigón y separación aprovechable. Además, se evidencia que los residuos especiales (escombros) tienden a disponerse en escombreras sin aprovechamiento previo y que no existe valorización a gran escala; por lo tanto, el modelo propuesto busca transformar esta ruta, introduciendo la separación, el acopio y transferencia, y el tratamiento como etapas estructurales del sistema.

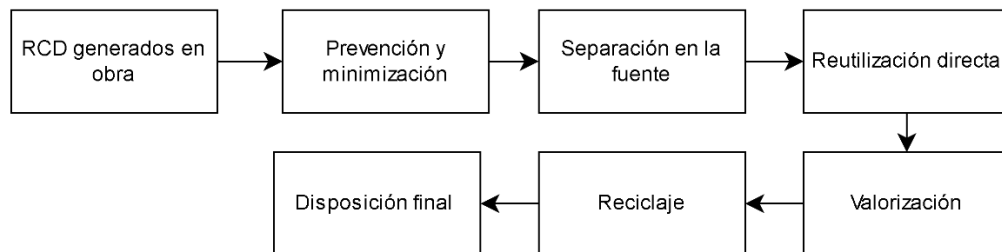
Con este marco, el primer paso para dar coherencia al sistema consiste en establecer una jerarquía operativa que ordene las decisiones desde la obra hasta la disposición final, priorizando el aprovechamiento por encima de la eliminación.

4.1.2. Jerarquía operativa y criterio de toma de decisiones

La jerarquía operativa constituye el eje que evita que la gestión de RCD se limite a la recolección y disposición. Esta jerarquía se estructura como una secuencia de prioridades: prevención y minimización, separación en la fuente, aprovechamiento y valorización y, finalmente, disposición final para los materiales que no puedan incorporarse al sistema, como aquellos contaminados o rechazados. En este sentido, cumple la función de transformar la valorización en un objetivo operativo verificable, al exigir que las obras y los GAD implementen condiciones mínimas antes de permitir su traslado directo a escombreras. En la Figura 11 se resume la jerarquía operativa adoptada, la cual orienta el sistema desde la minimización en obra hasta la disposición final controlada.

Esta lógica coincide con el plan de gestión de Quito, el cual señala que, en el caso de los RCD, no es realista plantear una reducción significativa debido a la dinámica constructiva de la ciudad; por ello, las acciones de prevención deben enfocarse en la separación de componentes, sustentadas en una línea base que considere incentivos, cobro de tasas y sanciones. En consecuencia, el modelo adopta la prevención, entendida como el control de la generación y, principalmente, como la protección de la fracción pétreo frente a la contaminación, condición imprescindible si se busca su reutilización.

Figura 11
Jerarquía operativa del modelo



Nota. Elaboración propia.

Definida la jerarquía, la implementación depende de quién ejecuta cada etapa y cómo se coordinan responsabilidades; por ello, el siguiente componente del modelo es la gobernanza nacional.

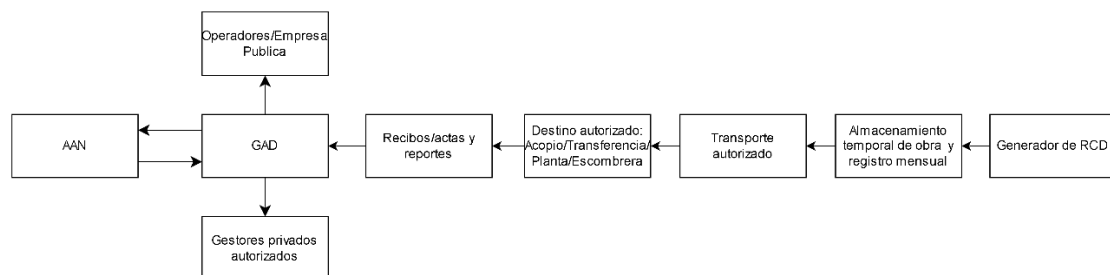
4.1.3. Gobernanza nacional y distribución de responsabilidades

El modelo de gestión requiere una gobernanza clara, debido a que la gestión involucra múltiples actores y, si no se delimitan las obligaciones de cada uno, se pierde la trazabilidad y se incrementa la disposición informal. La propuesta se organiza en tres niveles: Autoridad Ambiental Nacional (AAN), Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) y generadores/constructores, incorporando a transportistas y gestores como ejecutores operativos bajo coordinación municipal.

En el esquema de la Figura 12, la AAN cumple el rol rector y de control mediante la emisión de instrumentos técnicos, la administración de información, la recepción de declaraciones y el seguimiento del cumplimiento. Por su parte, los GAD organizan la gestión dentro de su territorio a través de normativa local, planificación, registro de actores, habilitación de infraestructura y fiscalización. En paralelo, el generador asume obligaciones operativas, tales como la separación, el almacenamiento temporal, el registro de cantidades y la entrega a gestores autorizados.

La necesidad de esta gobernanza se refuerza con el caso de Quito, en el que se señala que los RCD son trasladados a escombreras por gestores y usuarios particulares, lo que evidencia que la gestión no depende de un solo operador y que el control debe abarcar a todos los actores del flujo. Por ello, el modelo nacional incorpora como principio que, incluso cuando intervenga un gestor privado o un particular contratado, deben cumplirse obligaciones mínimas y asegurarse la trazabilidad documental.

Figura 12
Gobernanza nacional y roles



Nota. Elaboración propia.

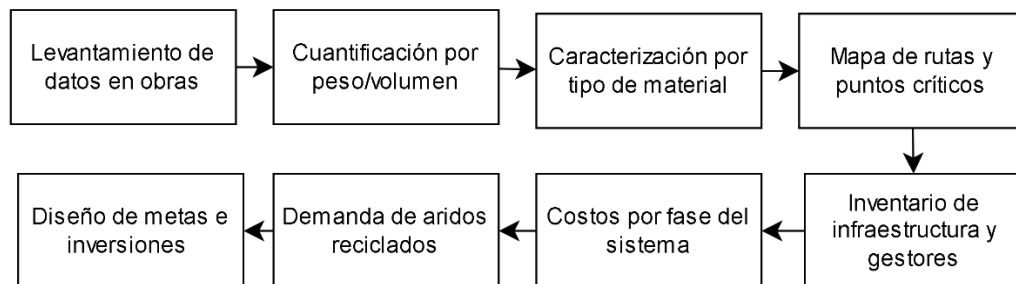
Con roles definidos, el modelo debe resolver un requisito técnico esencial: disponer de información suficiente para planificar infraestructura, costos y metas; de allí la incorporación de diagnóstico y línea base como fase obligatoria.

4.1.4. Diagnóstico, línea base y caracterización como condición de diseño del sistema

La línea base cumple la función de convertir el sistema en planificable y medible. Sin datos sobre cantidades, composición y rutas reales, el modelo no puede dimensionar infraestructura ni establecer metas realistas de valorización. En el plan de gestión de Quito para residuos, de forma explícita se expresa la limitación de no disponer de caracterizaciones del flujo de RCD; por lo tanto, no es posible dimensionar instalaciones para la trituración de hormigón ni la separación final de residuos aprovechables. Esta condición crítica define una regla metodológica: primero levantar la línea base y luego formular metas concretas.

La línea base se construye a partir de información que ya es exigible, como registros del generador, recepción en destinos autorizados y consolidación municipal para reportes. Operativamente, el modelo de la Figura 13 plantea que el GAD levante al menos seis componentes: (i) cuantificación por tipo de obra y zona; (ii) composición por fracciones (pétreos, metales, madera, reciclables y rechazo); (iii) rutas de transporte y puntos críticos de disposición informal; (iv) capacidad y cobertura territorial de destinos autorizados; (v) costos reales por fase (recolección, transporte, acopio, tratamiento y disposición); y (vi) demanda potencial de áridos reciclados y usos factibles.

Figura 13
Metodología de línea base



Nota. Elaboración propia.

Con la línea base como insumo, el modelo se traduce en un flujo operativo por fases que estandariza acciones en obra, transporte, instalaciones intermedias y destinos finales.

4.1.5. Diseño del modelo operativo por fases

4.1.5.1. Prevención y minimización en la fuente

En la gestión de RCD, la prevención no se interpreta como reducción del volumen, lo cual resulta inviable, sino como control de prácticas que incrementan residuos evitables y como reducción de la contaminación del flujo pétreo. En el modelo, esta fase se implementa mediante la planificación de compras, el control de acopios, la reducción de pérdidas por manejo y la organización de frentes de obra para evitar mezclas impropias. La evidencia puede construirse con procedimientos internos, registros de capacitación y reportes del responsable ambiental de obra. Para que la prevención sea medible y aporte a la planificación municipal, se requiere cuantificar lo generado; por ello, la siguiente fase formaliza el registro del RCD.

4.1.5.2. Cuantificación y registro del RCD generado

El registro constituye el vínculo entre la operación de obra y la planificación municipal. El modelo propone un registro mínimo mensual por tipo de residuo, por peso o por volumen, si no existe balanza, mediante referencias definidas por el GAD. Esta práctica alimenta la línea base y permite estimar necesidades, además de facilitar el control del cumplimiento por parte del generador. La evidencia se sustenta mediante bitácoras y reportes por obra. Una vez registrado el flujo, el punto crítico para habilitar la valorización es la separación, ya que la cuantificación solo describe el problema.

4.1.5.3. Separación y clasificación en la fuente

La separación cumple la función de proteger la fracción valorizable y reducir costos posteriores. El modelo establece un estándar mínimo: (a) pétreos/hormigón y cerámicos, (b) metales, (c) madera, (d) reciclables varios y (e) rechazo/contaminados. Esta separación permite asignar rutas diferenciadas hacia reciclaje, valorización o disposición final. La separación solo se mantiene si existe un almacenamiento temporal adecuado; de lo contrario, se restablece el flujo de contaminación.

4.1.5.4. Almacenamiento temporal

El almacenamiento temporal permite la segregación, evita la mezcla con otros residuos y reduce la contaminación. En obra, el modelo propone implementar un almacenamiento temporal con accesibilidad para retiro y señalización por material. Además, se incorpora una práctica compatible con la normativa: el uso de contenedores identificados para escombros de color anaranjado, conforme a las codificaciones establecidas por el INEN. Con el residuo segregado y almacenado, el sistema debe asegurar que el retiro y el transporte no rompan el control; por ello, el siguiente paso es la trazabilidad del transporte.

4.1.5.5. Recolección y transporte con trazabilidad

El transporte es el punto más sensible del sistema, pues, si no existe control, se incrementa la disposición en sitios irregulares. En el modelo, se permite que el retiro lo ejecute una empresa pública, gestores privados o el propio generador, y se establece obligatoriamente: (i) que el transporte evite derrames, (ii) que el traslado se realice a destinos autorizados y (iii) que exista un documento de control (guía/acta) con origen–cantidad–transportista–destino. Esto permite al GAD auditar el flujo y reduce incentivos a la disposición informal. Para aumentar la eficiencia y la calidad del material valorizable, el sistema requiere infraestructura intermedia que controle y precalifique antes del tratamiento.

4.1.5.6. Acopio, transferencia y preclasificación

La fase de acopio permite consolidar flujos, retirar impropios y preparar la fracción pétreo para tratamiento. Esta etapa también reduce la presión sobre escombreras. En términos de infraestructura, el modelo se fundamenta en requisitos para centros de acopio establecidos en el TULAS. Cuando la fracción pétreo llega consolidada y con menor contenido de impropios, se habilita el tratamiento para obtener árido reciclado.

4.1.5.7. Tratamiento, aprovechamiento y valorización

Esta fase es central, ya que convierte el RCD en insumo para hormigones. En Quito se reconoce que actualmente no existen procesos de valorización a gran escala, con excepción de gestiones de menor escala asociadas a escombreras; por ello, el modelo plantea el tratamiento como un componente progresivo, condicionado a: (i) separación efectiva, (ii) existencia de centros de acopio/transferencia, (iii) información de línea

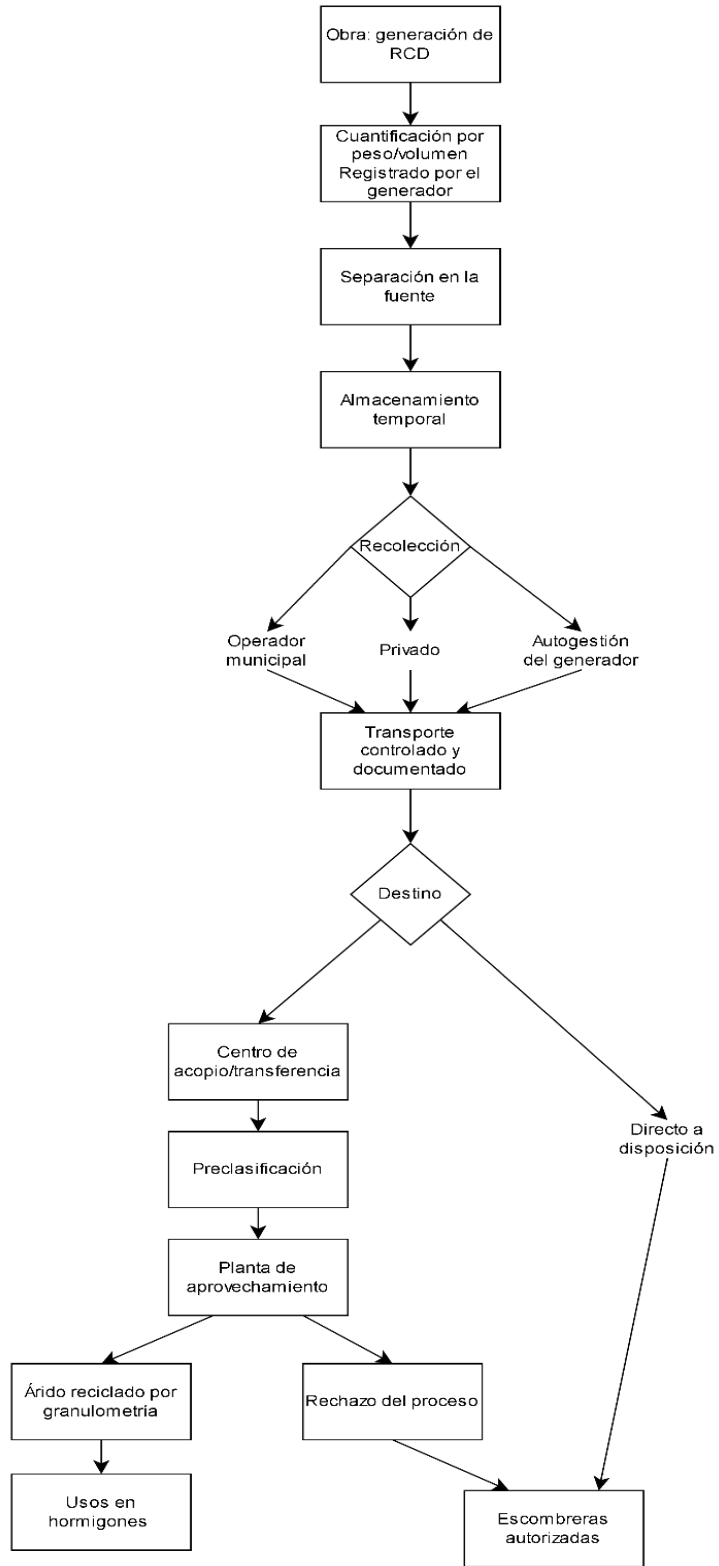
base y (iv) viabilidad económica para implementar trituración y tamizado. Un sistema realista debe definir también el manejo del material que no puede valorizarse.

4.1.5.8. Disposición final

Esta fase se reserva para material contaminado, rechazo de clasificación y rechazos del proceso de trituración; por lo tanto, debe depositarse en escombreras autorizadas y controladas. Como indicador mínimo inicial de desempeño, puede emplearse el porcentaje de escombros dispuestos en sitios autorizados. Estabilizado el flujo macro del sistema, el siguiente paso es detallar el submodelo técnico de transformación del RCD pétreo en árido reciclado.

El encadenamiento de fases del modelo se visualiza en la Figura 14, donde se describe la trayectoria del RCD desde la generación hasta su valorización o disposición final autorizada

Figura 14
Flujo modelo operativo



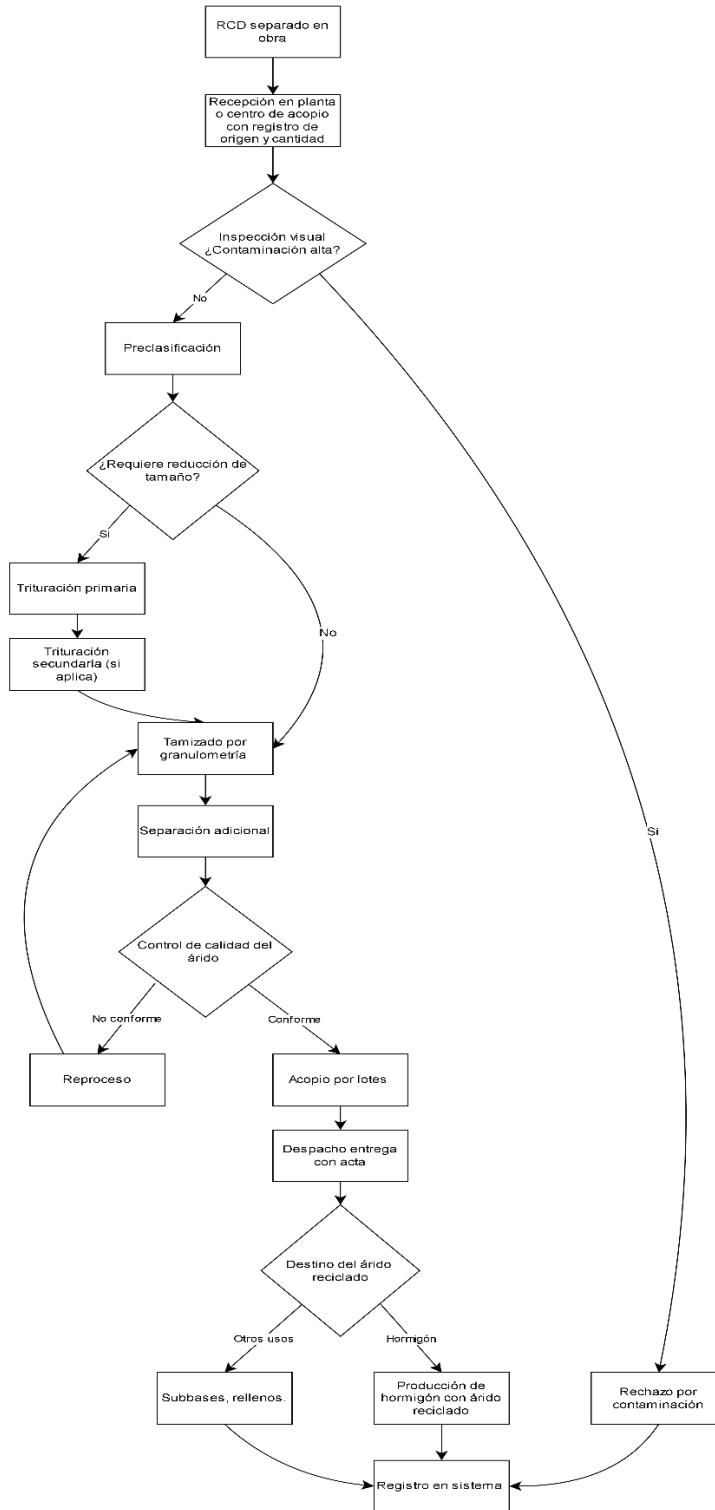
Nota. Elaboración propia.

4.1.6. Submodelo para RCD pétreo a árido reciclado y posterior uso en hormigón

El submodelo se define como el conjunto mínimo de actividades necesarias para asegurar que la valorización cuente con control. Como se muestra en la Figura 15, el submodelo se plantea una secuencia que incluye la recepción del material pétreo previamente separado; la preselección, ya sea manual o mecánica, para retirar impropios (plástico, metales y madera); la trituración primaria y secundaria según la granulometría requerida; el tamizado por fracciones; el acopio separado por tamaño; y la emisión de un documento o acta de entrega cuando el residuo reingresa al ciclo productivo. El modelo propone que esta etapa se implemente como un piloto, dado que no es posible dimensionar la trituración sin una caracterización previa. Un piloto permite ajustar tasas de rechazo, costos por tonelada, demanda real y desempeño del material reciclado. Para que el submodelo técnico sea viable fuera de pilotos aislados, es indispensable establecer la infraestructura mínima municipal.

Figura 15

Esquema del submodelo técnico de valorización de RCD



Nota. Elaboración propia.

4.1.7. Infraestructura municipal para RCD

El modelo organiza la infraestructura en niveles. En un nivel mínimo, el GAD debe garantizar control y disposición: registro de generadores, transportistas y gestores; publicación y señalización de destinos autorizados; y control documentado de escombreras. En un nivel intermedio, se incorporan centros de acopio o transferencia que permitan la preclasificación y la consolidación. En un nivel avanzado, se habilitan plantas de tratamiento con trituración y tamizado, así como acopios por granulometría. Con la infraestructura definida, el modelo requiere un sistema de seguimiento y control que asegure el cumplimiento, permita reportar resultados y retroalimente la mejora continua.

4.1.8. Seguimiento, control e indicadores

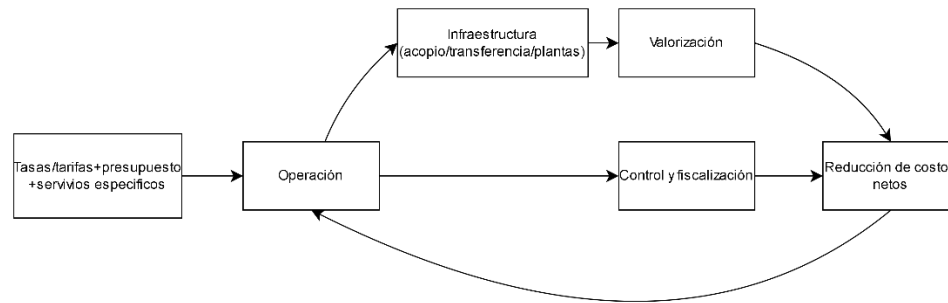
El seguimiento y control es el componente que hace exigible el modelo en la práctica. Se proponen tres puntos de verificación: obra, transporte y destino. En obra se verifica la separación, el almacenamiento temporal y el registro; en transporte se audita la trazabilidad mediante actas y condiciones de traslado; y en destino se confirma la recepción en un sitio autorizado y el reporte de disposición o valorización. Como indicador, se propone el porcentaje de escombros dispuestos adecuadamente en sitios autorizados, verificable mediante el comprobante de recepción. El control y la infraestructura implican costos; por ello, el modelo se completa con un componente económico que asegure sostenibilidad y reinversión.

4.1.9. Sostenibilidad económica del sistema

La sostenibilidad económica es imprescindible para que la gestión de RCD no se limite a medidas aisladas. Tomando como referencia el plan de residuos de Quito, se indica que la EMGIRS EP es responsable de fases finales (transferencia, transporte y disposición final) y que, además de la TGIRS, existen ingresos adicionales vinculados con servicios de escombros, sanitarios y gestores. A partir de ello, el modelo plantea que cada GAD debe sustentar su plan con un estudio económico que asigne costos por fase y defina mecanismos de financiamiento, así como cobros por servicios específicos, como los escombros. En el modelo, la valorización del árido reciclado se incluye como un potencial de reducción de costos y de cierre de ciclo; sin embargo, no se plantea como autosuficiente, sino como un componente que, en combinación con

tasas y presupuesto, contribuye a mejorar el equilibrio financiero del sistema. La Figura 16 sintetiza el flujo económico del modelo, mostrando cómo se asignan recursos para operación, seguimiento e implementación progresiva.

Figura 16
Flujo económico del sistema



Nota. Elaboración propia.

4.1.10. Programas transversales: educación, incentivos y sanciones

Los programas transversales constituyen el cierre institucional del modelo, debido a que reducen la brecha entre la obligación normativa y el comportamiento real de los actores. En primer lugar, la educación y la cultura ambiental se orientan a estandarizar prácticas en obra y a fortalecer el control social. En segundo lugar, los incentivos se diseñan para que separar y entregar adecuadamente sea más conveniente que la disposición informal; estos pueden asociarse a beneficios en tarifas y simplificación de trámites, siempre que su aplicación sea verificable mediante actas o comprobantes. En tercer lugar, las sanciones deben aplicarse con base en el marco vigente: el modelo se apoya en que la AAN tiene atribución de sancionar incumplimientos y en que los GAD pueden emitir normativa local y controlar la gestión en su jurisdicción.

4.2. Análisis de resultados

El análisis del marco normativo ecuatoriano evidencia que existe un mandato suficiente para exigir una gestión integral de residuos; sin embargo, no existe un plan operativo específico que la vuelva exigible y, menos aún, verificable para la gestión de RCD orientada a la producción de hormigón con áridos reciclados. A nivel institucional, el RCOA obliga a los GAD a elaborar y remitir a la AAN un plan de gestión integral municipal, con diagnóstico,

descripción de fases, metas, presupuestos, seguimiento y medios de verificación. A su vez, el mismo reglamento asigna a la AAN atribuciones como expedir normas técnicas e instrumentos, administrar información, controlar y sancionar incumplimientos. En paralelo, el COA define políticas basadas en la economía circular, por lo que la intención normativa es existente; no obstante, el hallazgo central es una brecha de aplicabilidad: el sistema establece deberes y principios, pero desarrolla de forma insuficiente instrumentos técnicos, trazabilidad, criterios de calidad, control, incentivos y sanciones específicas para RCD y, especialmente, para su reincorporación como árido reciclado en hormigón.

En términos operativos, el marco ecuatoriano regula obligaciones generales del generador de residuos, tales como separación en la fuente, almacenamiento temporal, registro y entrega a gestores autorizados, a través de normativa secundaria. No obstante, estas obligaciones no se integran en un sistema único de trazabilidad; en consecuencia, la trazabilidad queda expuesta a interpretaciones y, si el control es débil, el costo de cumplir puede resultar mayor que el costo de evadir. Al aterrizar el marco nacional en el Distrito Metropolitano de Quito, se observa que la normativa local se endurece y exige separación, incluso cuando no exista recolección diferenciada, además de imponer que los escombros se dispongan únicamente en sitios autorizados. Esto confirma un patrón en el que la carga normativa recae en el generador, aunque el sistema no asegure condiciones adecuadas, como infraestructura, lo que limita el cumplimiento real y vuelve marginal la valorización. En consecuencia, se identifica un marco declarativo y distribuido por competencias, pero con instrumentos incompletos.

El segundo hallazgo es una disparidad entre las obligaciones y la motivación: aunque el RCOA habilita seguimiento y sanción por parte de la AAN y el COA contempla regímenes sancionatorios, en la práctica las sanciones vinculadas al tema tienden a ubicarse en rangos menos disuasivos frente a los costos reales de gestión. A esto se suma la ausencia de un esquema nacional claro de incentivos económicos aplicables, particularmente para RCD.

Finalmente, respecto del componente técnico, el hallazgo clave es que el marco ecuatoriano no cuenta con una norma técnica nacional específica ni con un estándar completo para áridos reciclados aplicables a hormigón estructural, lo que reduce la confianza del mercado y limita su adopción en obra. Esta ausencia obliga a recurrir a estándares externos que no necesariamente representan el contexto nacional de los materiales utilizados.

Al desarrollar el modelo para el Ecuador, se partió de la normativa vigente, la cual se adapta como guía para la gestión de RCD orientada a su valorización y reincorporación al ciclo productivo. Sin embargo, en otros países existen modelos de gestión o normativa focalizada en RCD que facilitan su aprovechamiento; por ello, en este apartado se realiza una comparación con un país vecino, como Colombia, con el fin de identificar elementos que puedan implementarse y verificar si el enfoque propuesto presenta desviaciones en algunos componentes de la guía.

En la **jerarquía operativa**, el Ecuador reconoce la secuencia prevenir–reducir–reutilizar/reciclar–disponer; sin embargo, no la convierte en un criterio exigible para los RCD. No existe un mandato que establezca la obligatoriedad de demostrar separación y entrega a destinos autorizados, ni un sistema de indicadores nacionales para medir el aprovechamiento. En contraste, Colombia cuenta con una resolución nacional específica para los RCD Resolución 0472 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) que reglamenta la gestión de residuos generados por la construcción, y se refuerza con su modificación Resolución 1257 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021), que incorpora un esquema más robusto de seguimiento y cumplimiento, incluyendo metas. En **gobernanza y responsabilidades**, el marco ecuatoriano delimita roles técnicos generales: la AAN debe normar, controlar y sancionar, y los GAD deben planificar y regular localmente. El problema radica en la ausencia de un instrumento nacional unificado que estandarice el cumplimiento. En Colombia, en cambio, además de la norma nacional, existen instrumentos distritales como la Resolución 1115 de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (2012), que adopta lineamientos técnicos ambientales e implementa el registro y reporte mensual a través de un aplicativo web para generadores, transportadores, plantas y sitios de disposición.

En la **fase de diagnóstico y línea base**, el Ecuador exige que los planes municipales incluyan un diagnóstico y resultados, pero no promueve una metodología nacional mínima para cuantificar y caracterizar los RCD. En Bogotá se reconoce explícitamente la necesidad de controlar y medir el aprovechamiento. Colombia cuenta con producción estadística e indicadores a nivel nacional; el DANE del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020) reporta la magnitud del flujo de construcción y demolición y, de manera complementaria, la cartilla TECC de la Cámara Colombiana de la Construcción (2024)

consolida tasas indicativas de generación de RCD, útiles para el dimensionamiento de infraestructura y la planeación sectorial.

En el **modelo operativo por fases**:

En **separación y almacenamiento**, el Ecuador cuenta con soporte técnico general aplicable; sin embargo, este no se articula con un sistema nacional de verificación para RCD. Bogotá, por el contrario, vuelve exigible la gestión en obra al vincular el control con obligaciones operativas y variables medibles.

En **recolección y transporte**, Quito establece la obligación del generador de transportar y disponer en escombreras autorizadas, y dispone que el municipio informe los sitios autorizados; no obstante, el sistema depende de capacidades locales y no de un estándar nacional. En Bogotá, el control se robustece al exigir registro y reporte mensual de actores y flujos de RCD mediante su aplicativo.

En **acopio, transferencia y preclasificación**, el Ecuador dispone requisitos técnicos generales en normativa secundaria para centros y condiciones de manejo; sin embargo, se evidencia la falta de una política nacional para desplegar infraestructura orientada al aprovechamiento de RCD. En Bogotá, el esquema distrital se diseñó para controlar destinos autorizados, evitando que el material se dirija directamente a disposición final; esto se refuerza con documentos aplicados como Logística inversa de RCD en Colombia del Fundación Logyca Investigación, y Departamento Nacional de Planeación (2022), que aborda clasificación, recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento, disposición final e instrumentos de mejora.

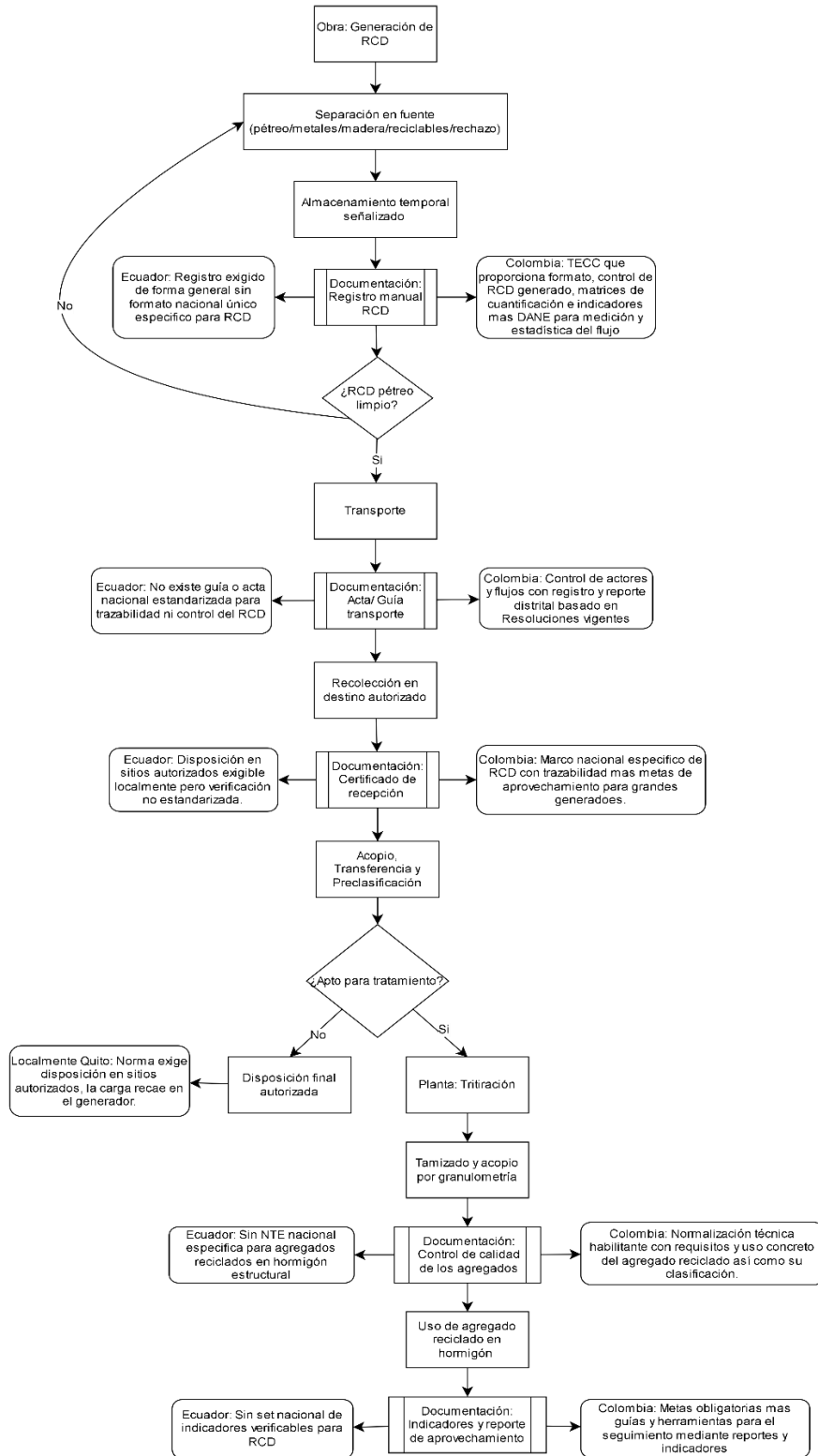
En **tratamiento y valorización**, el Ecuador carece de normalización técnica o de un equivalente que facilite el control de calidad de los áridos reciclados aplicables al hormigón. En Colombia, además de una gestión más controlable, existe normalización técnica que habilita el uso de agregados reciclados en concreto NTC 6421 de ICONTEC (2021), con requisitos de calidad; como complemento, la NTC 6422 de ICONTEC (2021), define el método para clasificar agregados gruesos reciclados.

Finalmente, en **seguimiento, control, incentivos y sanciones**, aunque el RCOA establece que la AAN debe controlar y sancionar, el régimen sancionatorio ambiental tiende a priorizar desechos peligrosos y mantiene un menor nivel de disuasión específica para RCD. Además, el incentivo económico estructural permanece débil cuando no existe un esquema

nacional de costos o tarifas. En Colombia, la exigibilidad se fortalece con el control basado en registro y reportes y, además, existe un instrumento nacional de apoyo económico que puede emplearse como referente replicable: la Guía para el cálculo de la tarifa de aprovechamiento y tipos de comercialización del Ministerio de vivienda (2020) que transparenta la lógica tarifaria y fortalece el componente de mercado al proporcionar reglas y orientación para el aprovechamiento y la comercialización de materiales. Con el fin de representar de manera verificable la cadena de gestión propuesta para RCD pétreo hasta su valorización como árido reciclado y su uso en hormigón, se elaboró el flujograma de la Figura 17. El diagrama integra fases operativas y define puntos de control documentales, lo que permite visualizar los eslabones en los que el marco ecuatoriano presenta vacíos instrumentales y, de manera comparativa, los instrumentos que Colombia utiliza para cerrar dichas brechas.

Figura 17

Flujo operativo para valorización de RCD pétreo en áridos reciclados para hormigón (Ecuador–Colombia)



Nota. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

- En el Ecuador, aunque existe evidencia experimental de que es viable sustituir parcialmente áridos naturales por áridos reciclados provenientes de RCD en hormigón, no existe una normativa técnica nacional específica que defina requisitos de calidad, límites de uso y controles para su aplicación en hormigón estructural.
- El marco normativo vigente reconoce la gestión integral de residuos y principios de economía circular; sin embargo, no desarrolla de forma suficiente la gestión de RCD cuando el objetivo es su aprovechamiento como insumo para hormigón estructural.
- La regulación se concentra en deberes y responsabilidades generales, pero carece de un sistema operativo uniforme y verificable que asegure la trazabilidad y la evidencia de cumplimiento en todas las etapas de la cadena, desde la generación hasta la disposición.
- La ausencia de estándares nacionales para la clasificación, aceptación y control de áridos reciclados constituye una barrera clave, ya que limita la confianza del sector y dificulta su estandarización e implementación.
- La aplicación real del marco actual depende de las capacidades institucionales y del territorio; en la práctica, las exigencias recaen principalmente en el generador, sin infraestructura ni control suficientes para reducir la informalidad.
- Los incentivos y sanciones actuales no resultan suficientemente efectivos para cambiar el comportamiento del sector, por lo que la disposición final (o informal) tiende a ser la opción más conveniente.
- La comparación con Colombia sugiere que la diferencia no se limita a la existencia de una norma, sino a la presencia de instrumentos con metas, registros, reportes, indicadores y control basado en datos, lo que facilita el aprovechamiento.

6. RECOMENDACIONES

- Formular un instrumento normativo nacional específico para RCD, complementario al marco general, que incluya definiciones, clasificaciones, obligaciones diferenciadas por tipo de generador y una ruta estandarizada de gestión orientada al aprovechamiento.
- Implementar un sistema obligatorio de registro de RCD para generadores, transportistas, gestores y destinos autorizados, con formatos únicos y evidencia documentada, que permita el control del flujo de los RCD.

- Desarrollar o adoptar una norma técnica para áridos reciclados aplicables a hormigón estructural, con requisitos de calidad, límites de contaminantes y criterios de aceptación para su uso en obra.
- Planificar y promover infraestructura para el aprovechamiento, con requisitos mínimos de operación; sin infraestructura, la separación en la fuente no resulta útil si los residuos terminan en disposición final sin ser valorizados.
- Diseñar un esquema de incentivos claro y aplicable que reduzca la brecha de costos entre disposición y aprovechamiento, mediante alternativas como beneficios tributarios, reducción de tasas o criterios en contratación pública, cuando sea viable.
- Fortalecer el enfoque sancionatorio hacia infracciones que afecten directamente el aprovechamiento, priorizando controles verificables mediante documentación, con el fin de mejorar la capacidad de verificación.
- Se recomienda que futuras investigaciones desarrollen un análisis cuantitativo del aprovechamiento de RCD a escala local y nacional, que identifique no solo los volúmenes gestionados, sino también qué proporción se recicla y en qué productos o aplicaciones finales se reincorpora. Esta línea es prioritaria debido a que, actualmente, no se dispone de información pública sistematizada que permita verificar destinos de valorización, tasas de aprovechamiento y trazabilidad del material reciclado.

REFERENCIAS

- Aldana, J., & Serpell, A. (2012). *Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un metaanálisis*. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-915x2012000200002&script=sci_arttext
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)*. <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente (COA)*. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE.pdf>
- Barrionuevo, F. A. (2025). *Obtención de la ecuación del módulo de elasticidad para hormigones de resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ utilizando material granular de la mina Pintag, fino del Chasqui, hormigón reciclado y cemento tipo HE*. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4cd5de60-86b6-43a2-9dc1-3634c44c2d35/content>
- Cámara Colombiana de la Construcción. (abril de 2024). *Avanzando hacia la circularidad en el sector de la construcción en Colombia: Diagnóstico de prácticas de economía circular y manejo de RCD en Colombia*. https://camacol.co/sites/default/files/2024-08/TECC_Vision_360_Circularidad_Colombia_compressed_1.pdf
- Chamba, J., Solano, J., & Paucar, J. (15 de septiembre de 2023). *Plan de manejo de residuos de construcción y demolición. Caso de estudio: Planta de asfalto de Loja-Ecuador*. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.1652-1675>
- Circular EP. (2025). *Empresa Pública Municipal de Economía Circular de Aprovechamiento, Valorización y Disposición Final de Gestión de Residuos y Desechos. Departamento de Planificación, Procesos y Proyectos. Plan Estratégico 2025-2027*. https://circularep.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03/PLAN-ESTRATEGICO-2025-2027-CIRCULAR-EP_.pdf
- Coello, K. M., & Párraga, W. E. (2024). *Residuos de la construcción y demolición empleados en la elaboración de mortero y hormigón*. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.2.2024.417-437>
- Concejo Metropolitano de Quito. (2025). *Ordenanza Metropolitana No. 095*. <https://www.cacmq.gob.ec/normativa/7.%20CODIGO%20MUNICIPAL.pdf>
- Concejo Metropolitano del Distrito Metropolitano de Quito. (2010). *Ordenanza Metropolitana No.332*. https://emgirs.gob.ec/phocadownload/juridico/MN_ORDM_332.compressed.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia. (agosto de 2020). *Primer reporte de economía circular*.

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf>

EMGIRS. (2025).

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNWQ3NzlhZDMtZDg4ZS00ZDQ2LWE4ZjUtYWU2OTM2MjEyNGU4liwidCI6IjYzMmM3NWY0LTdhMmUtNDc4Mi04ZTBjLWQ4MGIwODEzOWNlZiJ9>

Fundación Logyca Investigación, & Departamento Nacional de Planeación. (diciembre de 2022).

Logística inversa de residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia: Informe ejecutivo. <https://logyca.com/sites/default/files/documentos-recursos/Informe-Ejecutivo-RCD-DNP.pdf>

Hao, J.-l., Shen, L.-y., Devapriya, K. A., & Fan, C. N. (2008). *Construction and Demolition Waste Management in Hong Kong.*

https://www.academia.edu/63649777/A_Study_of_Construction_and_Demolition_Waste_Management_in_Hong_Kong?uc-sb-sw=16813984

Hernández, R., Fernández, C., & Pila, M. d. (2014). *Metodología de la investigación.*

https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

ICONTEC. (julio de 2021). *Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico (NTC 6421:2021).*

<https://tienda.icontec.org/gp-agregados-gruesos-reciclados-para-uso-en-el-concreto-hidraulico-ntc6421-2021.html>

ICONTEC. (julio de 2021). *Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados (NTC 6422:2021).*

<http://tienda.icontec.org/gp-ensayo-de-clasificacion-de-los-componentes-de-los-agregados-gruesos-reciclados-ntc6422-2021.html>

INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151. Cemento Hidráulico . Definición de Términos.*

https://s9eef1914bb0d0924.jimcontent.com/download/version/1289851790/module/4695653766/name/inen_151.pdf

INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 694. Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón. Terminología.*

<https://es.scribd.com/document/375611308/NTE-INEN-0694-Hormigones-y-Aridos-Para-e>

INEN. (2014). *Gestión ambiental. Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos (NTE INEN 2841).*

<http://es.scribd.com/document/657076825/NTE-INEN-2841-Servicio-Ecuatoriano-de-Normalizacion>

Iñigo, L. G. (2022). *Análisis de propiedades de hormigones con sustitución total de árido grueso por subproductos industriales y residuos de construcción y demolición.*

<https://addi.ehu.es/handle/10810/58597>

- Islam, N., Sandanayake, M., Muthukumar, S. & Navaratna, D. (2024). *Review on Sustainable Construction and Demolition Waste Management—Challenges and Research Prospects. Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16083289>
- Junior, G., Leite, J., Mendez, G., Haddad, A., & Silva, J. (2025). *A review of the characteristics of recycled aggregates and the mechanical properties of concrete produced by replacing natural coarse aggregates with recycled ones—Fostering resilient and sustainable infrastructures*. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10080213>
- Lozano, A. E. (2017). *Gestión de residuos en la construcción: plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el ecuador*. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d39373be-7177-4fab-b383-4536446b405e/content>
- MAE. (4 de mayo de 2015). *Acuerdo NO. 061 Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria*. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-ministerial-061.pdf
- MAE. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del ambiente (RCOA)*. <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>
- MAE. (2023). *Plan de gestión integral municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios del distrito metropolitano de Quito*. https://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/plan_de_gestion_integral_de_residuos_dmq_firmado.pdf
- Mejía, E., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). *Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión*. <https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/52>
- MIDUVI & CAMICON. (2014). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) & Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON). NEC-SE-HM: Norma Ecuatoriana de la Construcción – Estructuras de Hormigón Armado*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (28 de febrero de 2017). *Resolución 0472 de 2017*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (23 de noviembre de 2021). *Resolución 1257 de 2021*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). *Código orgánico de planificación y finanzas públicas*. https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/CODIGO_PLANIFICACION_FINAZAS.pdf

- Ministerio de Medio Ambiente Chile. (2022). <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Ministerio de Vivienda. (2020). *Alianza Nacional para el Reciclaje Inclusivo*. Guía para el cálculo de la tarifa de aprovechamiento y tips de comercialización de materiales. https://latitudr.org/wp-content/uploads/2019/02/07_Colombia_CEMPRE_Guia_Tarifa-y-comercializacion_2016_R-1624.pdf
- Montesdeoca, R. B. (2018). *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, análisis de costo e impacto ambiental*. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c30ffc79-5170-49d9-8292-9677ad088716/content>
- Papamichael, I. V. (21 de agosto de 2023). *Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review*. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>
- Parlamento Europeo. (24 de mayo de 2023). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Polat, G., & Ballard, G. (octubre de 2010). *Waste in turkish construction: need for lean construction techniques*. <https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/iglc-b829d656-9e49-4ca6-85ed-bdf2b5a4e169.pdf>
- Rodríguez, A., Antonio, J., & Iris, K. (2010). *Cultura de reutilización y reciclaje en estudiantes de humanidades de primer y tercer grados*. Sociogénesis, Revista Electrónica de Sociología, 4.. <http://www.uv.mx/sociogenesis>.
- Romero, N. V. (octubre de 2018). *Aplicación de un modelo ecoeficiente para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) de edificaciones residenciales en la ciudad de Cuenca – Ecuador*. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/4060/1/Villavicencio_Romero_Nataly.pdf
- Roscher, J. (24 de abril de 2023). *Impact of urbanization on construction material consumption: A global analysis*. <https://doi.org/10.1111/jiec.13392>
- Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (26 de septiembre de 2012). *Resolución 1115 de 2012*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49822>