

**PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE GESTIÓN PARA LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN EN EL MUNICIPIO DE ARAUCA**

Trabajo de grado presentado como parte de los requisitos de grado en la Maestría
en Gestión Ambiental

EDWARD MATEO CEDEÑO ALVAREZ

Director de Tesis:

DRA. VIVIAN ANDREA ULLOA MAYORGA



Pontificia Universidad Javeriana

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales

Maestría Gestión Ambiental

Bogotá D.C, 2023

ARTÍCULO 23, RESOLUCIÓN #13 DE 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vean en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Dedicatoria

A Dios y a la virgen, a mis padres les dedico este trabajo de grado con todo el amor del mundo por enseñarme el verdadero valor de la constancia, de la responsabilidad y de que en las adversidades de la vida siempre hay solución para todo.

Agradecimientos

Mis agradecimientos a:

Dra. Vivian Andrea Ulloa Mayorga

Dr. Juan David Amaya Espinel

Por el tiempo empleado en el que me ayudaron en la construcción y entrega de la investigación.

A mis amigos y compañeros de clase, Vanessa Chavarro, Armando Guerra, sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento alegrías, tristezas y muchos grandes momentos en estos 2 años, más que compañeros son mis hermanos de vida.

A mis hermanos Eduardo y Carlos por todo el apoyo brindado durante estos años de crecimiento personal y profesional.

A mis amigos Diego y Sofia por todo el apoyo brindado en los momentos más difíciles vividos en la etapa final de la maestría.

A mi amigo Miguel Enrique Gámez López por todo el apoyo brindando en mis últimos semestres de la maestría.

A mi amigo Nilson Vélez a pesar de que no estuvo presente durante este tiempo, desde la distancia me brindó todo su apoyo incondicional y motivación para culminar esta bonita etapa de mi vida.

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Descripción del Problema	10
1.2 Justificación	13
1.3 Propósito del Proyecto y Pregunta de Investigación.....	14
Planteamiento de la Pregunta de Investigación	15
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo General	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
2.3 Hipótesis	15
3. MARCOS DE REFERENCIA.....	16
3.1 Marco Conceptual	16
3.2 Marco Teórico.....	20
3.3 Marco legal	28
3.4 Antecedentes	31
4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
5.1 Método.....	36
5.2 Población Y Muestra.....	36
5.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	37
Entrevistas y encuestas estructuradas	37
Revisión documental sistemática	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
6.1.1 Resultados y análisis de entrevistas.....	38
6.1.2 Resultados y análisis de encuesta	45
6.1.3 Observación científica.....	52
6.2 Revisión documental sistemática	57
6.3 Propuesta de estrategias	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
Recomendaciones	81
REFERENCIAS CITADAS	86
ANEXOS	99

Lista de Tablas

Tabla 1: Base de datos para revisión de metodología. Fuente: Autor 2023	38
Tabla 2: ESTRATEGIA 1: Estimación y Cálculo de la Generación de RCD (De Melo, 2011), Fuente: Autor 2023.	58
Tabla 3: ESTRATEGIA 2: Jerarquización de los RCD (Zhang et al., 2022), Fuente: Autor 2023.	58
Tabla 4: ESTRATEGIA 3: Recuperación de recursos, Reutilización, Reciclar, Construcción circular (Ghaffar et al., 2020), Fuente: Autor 2023.	59
Tabla 5: ESTRATEGIA 4: Planta fija de reciclaje de RCD (Souza, 2022), Fuente: Autor 2023.	59
Tabla 6: ESTRATEGIA 5: Análisis del ciclo de vida de los RCD (Yazdanbakhsh, 2018), Fuente: Autor 2023.	60
Tabla 7: ESTRATEGIA 6: Demolición selectiva, Evaluación y costo del ciclo de vida de los RCD y sostenibilidad del uso de la tierra. (Iodice et al., 2021), Fuente: Autor 2023.	60
Tabla 8: ESTRATEGIA 7: Tratamiento y disposición de RCD no aprovechables (Amine Laadila et al., 2021), Fuente: Autor 2023.	61
Tabla 9: ESTRATEGIA 8: Potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría (Spišáková, 2021), Fuente: Autor 2023.	61
Tabla 10: ESTRATEGIA 9: Gestión y Valorización de materiales RCD mediante la economía circular (López Ruiz, 2020), Fuente: Autor 2023.	62
Tabla 11: ESTRATEGIA 10: Implementación de políticas de gestión RCD y economía circular (Ghaffar, 2020), Fuente: Autor 2023.	62
Tabla 12: ESTRATEGIA 11: Implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector público y privado (Ramos et al., 2023), Fuente Autor 2023	63
Tabla 13: ESTRATEGIA 12: Articulación de política nacional con políticas municipales (Cueva Gamero, C. A., & Mantilla Acosta, B. N.2020) Fuente Autor 2023.....	63
Tabla 14: ESTRATEGIA 13: Centro de Recepción de residuos o puntos limpios (Gangoellés, 2014, Thives et al., 2022), Fuente: Autor 2023.	64

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de economía circular, Fuente: Arroyo Morocho, F. R. (2018).	21
Ilustración 2: Clasificación RCD, Fuente: Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015	25
Ilustración 3: Principios rectores de la gestión de RCD. Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2015)	26
Ilustración 4: Perspectivas del análisis de Costo-Beneficio. Fuente: Sicha, T., & Toledo, Y. (2020).	27
Ilustración 5: Área de estudio Fuente: Google Maps 2023.....	34
Ilustración 6: Metodología Aplicada: Fuente: Autor 2023	36
Ilustración 7: Años ejerciendo actividad de la construcción. Fuente: Autor 2023	39
Ilustración 8: Conocimiento de la normatividad vigente. Fuente: Autor 2023	40
Ilustración 9: Principal Causa de la problemática RCD. Fuente: Autor 2023.....	41
Ilustración 10: Aplicaciones municipales Fuente: Autor 2023	41
Ilustración 11: Aplicación de un plan de gestión RCD Municipal. Fuente: Autor 2023	42
Ilustración 12: Cláusula para contratista. Fuente Autor 2023.....	43
Ilustración 13: Satisfacción con los procesos de reciclaje Fuente: Autor 2023	43
Ilustración 14: Evaluaciones de sitios Fuente: Autor 2023.....	43
Ilustración 15: Auditorías previa a la demolición. Fuente: Autor 2023	44
Ilustración 16: Disposición para solución RCD Fuente: Autor 2023.....	44
Ilustración 17: Conocimientos de RCD generados en obra Fuente: Autor 2023	45
Ilustración 18: Conocimiento de la normatividad vigente Fuente: Autor 2023	46
Ilustración 19: Programa de manejo RCD en la obra Fuente: Autor 2023	46
Ilustración 20: Conocimiento de gestores RCD en el municipio Fuente Autor 2023	47
Ilustración 21: Almacenamiento Temporal RCD en obra Fuente Autor 2023	47
Ilustración 22: Donación de RCD Fuente: Autor 2023	48

Ilustración 23: Depósitos de RCD en sitios autorizados y no Fuente Autor 2023	49
Ilustración 24: Clasificación de RCD Fuente Autor 2023	49
Ilustración 25: Capacitación de trabajadores en RCD Fuente Autor 2023	50
Ilustración 26: Tipos de RCD generados Fuente: Autor 2023	50
Ilustración 27: Separación y selección de RCD en obra Fuente Autor 2023	51
Ilustración 28: Tipos y cantidades de RCD generados en todas las obras durante el periodo de Enero- Junio 2022. Fuente: Autor 2023	52
Ilustración 29: Localización de obras activas Municipio de Arauca Fuente: Autor 2023	53
Ilustración 30: Almacenamiento temporal RCD en obra Fuente: Autor 2023	53
Ilustración 31: RCD Sin selección y separación Fuente Autor 2022	54
Ilustración 32: RCD depositados en lugares no autorizado en lotes para la cimentación de edificaciones unifamiliares.	54
Ilustración 33: Asentamientos irregulares municipio de Arauca Fuente: Autor 2022	55
Ilustración 34: Zonas verdes urbanas afectadas por asentamientos irregular Fuente: Autor 2022	55
Ilustración 35 Localización del relleno sanitario las Garzas. Fuente: Autor 2023.	56
Ilustración 36: Relleno Sanitarios Celdas de disposición de RCD y vía de acceso	57
Ilustración 37: Análisis costo-beneficio de la estrategia estimación y cálculo de la generación de RCD. Fuente: Autor 2023	66
Ilustración 38: Análisis costo-beneficio de la estrategia jerarquización de RCD. Fuente: Autor 2023	67
Ilustración 39: Análisis costo-beneficio de la estrategia recuperación de recursos de RCD. Fuente: Autor 2023	68
Ilustración 40: Análisis costo-beneficio de la estrategia planta fija de reciclaje de RCD. Fuente: Autor 2023 ..	69
Ilustración 41: Análisis costo-beneficio de la estrategia análisis de ciclo de vida de los RCD. Fuente: Autor 2023	70
Ilustración 42: Análisis costo-beneficio de la estrategia demolición, evolución y costo de vida de los RCD. Fuente: Autor 2023	71
Ilustración 43: Análisis costo-beneficio de la estrategia tratamiento y disposición de RCD no aprovechables. Fuente: Autor 2023.	72
Ilustración 44: Análisis costo-beneficio de la estrategia potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría ambiental. Fuente: Autor 2023	73
Ilustración 45: Análisis costo-beneficio de la estrategia gestión y valorización de materiales RCD mediante economía circular. Fuente: Autor 2023.	74
Ilustración 46: Análisis costo-beneficio de la estrategia implementación de políticas de gestión RCD y economía circular. Fuente: Autor 2023.	75
Ilustración 47: Análisis costo-beneficio de la estrategia implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector público y privado. Fuente: Autor 2023.	76
Ilustración 48: Análisis costo-beneficio de la estrategia articulación de política nacional con políticas municipales. Fuente: Autor 2023.	77
Ilustración 49: Análisis costo-beneficio de la estrategia centro de recepción de residuos o puntos limpios Fuente: Autor 2023.	78

RESUMEN

Uno de los elementos del deterioro medioambiental y paisajístico de cualquier ciudad son los residuos de construcción y demolición (RCD). La gestión inadecuada de los RCD provoca un impacto en el espacio público, la pérdida de ecosistemas estratégicos y la contaminación de recursos naturales como el aire, el agua y el suelo. Además, la eliminación inadecuada de estos residuos puede disminuir drásticamente la calidad de este recurso al afectar a las fuentes de agua, al suelo y a la calidad del suelo debido a la interacción de compuestos peligrosos con los RCD. Por ello, en este documento se describe la gestión de las empresas de construcción del municipio y las razones que subyacen a esta conducta. La metodología utilizada fue la creación de cuestionarios y entrevistas con 18 organizaciones para obtener índices precisos de gestión de RCD. Esta investigación consideró una serie de categorías y conceptos como factores fundamentales que afectan a la gestión de los RCD, como la jerarquización de los RCD, el tratamiento y la eliminación de los RCD no utilizables, la demolición selectiva y la evaluación del coste del ciclo de vida, la viabilidad de una planta de reciclaje, la gestión y la recuperación de los RCD a través de la economía circular. Estos índices se apoyaron en una revisión bibliográfica de trabajos de investigación relevantes para la gestión eficaz de los RCD. Posteriormente se propusieron una serie de estrategias para la gestión y su aplicabilidad en el contexto araucano, estos factores se discuten detalladamente a través del análisis costo-beneficio para su implementación, además se proponen estrategias frente a los hallazgos para que sean analizados con el fin de clarificar las prácticas actuales y futuras de la gestión de RCD desde perspectivas de factibilidad económica y que su implementación sea real en el municipio de Arauca tales como: fortalecimiento de la regulación y control, promoción de la educación y sensibilización ciudadana, fortalecimiento de las capacidades técnicas y humanas, promoción de la innovación e investigación, establecimiento de sistemas de recolección selectiva, estímulo al aprovechamiento de residuos, implementación de puntos limpios.

ABSTRACT

One of the factors contributing to the environmental and scenic degradation of any city is the presence of construction and demolition waste (CDW). Improper management of CDW can have a significant impact on public spaces, leading to the loss of strategic ecosystems and the contamination of natural resources such as air, water, and soil. Additionally, inadequate disposal of these wastes can drastically decrease the quality of these resources by affecting water sources, soil, and soil quality due to the interaction of hazardous compounds with CDW.

As such, this document outlines the management of construction companies in the municipality and the underlying reasons for their behavior. The methodology used involved the creation of questionnaires and interviews with 18 organizations to obtain precise indices of CDW management. This research considered several categories and concepts as fundamental factors affecting CDW management, such as the prioritization of CDW, treatment and disposal of non-reusable CDW, selective demolition, life cycle cost evaluation, the feasibility of a recycling plant, and the management and recovery of CDW through circular economy.

These indices were supported by a literature review of relevant research works for the effective management of CDW. Subsequently, a series of strategies for CDW management were proposed and their applicability in the Araucan context was analyzed using a cost-benefit analysis. Furthermore, strategies were proposed to address the findings and clarify current and future CDW management practices from economic feasibility perspectives. These strategies included strengthening regulation and control, promoting citizen education and awareness, strengthening technical and human capacities, promoting innovation and research, establishing selective collection systems, promoting waste utilization, and implementing clean points for RCD.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del Problema

El sector de la construcción está estrechamente relacionado con el desarrollo y crecimiento acelerado del municipio de Arauca, dado por la proyección del crecimiento poblacional y el desarrollo en el área urbana de industrias y otros sectores económicos (DANE, 2021). Las actividades económicas desarrolladas en el municipio han incrementado el sector de la construcción, generando la edificación de viviendas unifamiliares y plurifamiliares, zonas para espacios públicos como parques, plazoletas y vías peatonales, e infraestructuras viarias adecuadas a las necesidades del municipio. Estas actividades de construcción producen una cantidad sustancial de residuos de construcción y demolición (RCD) como resultado del movimiento de tierras, las reparaciones o remodelaciones de edificios, las nuevas construcciones y la demolición de infraestructuras. Los residuos producidos comprenden hormigón, bloques, grava, tierra, madera, madera, encofrados, marcos, tablas, restos metálicos, vidrio, amianto, tuberías, aluminio, piezas eléctricas y materiales diversos (Puerta Ortiz, 2019).

No obstante, el manejo inadecuado de grandes cantidades de RCD representa un riesgo significativo para el medio ambiente. Por ejemplo, si se depositan en lugares no autorizados, podrían contaminar el suelo, el agua y el aire, lo que a su vez puede repercutir en la salud de las personas y de la fauna y flora locales. Además, la acumulación de RCD en lugares inapropiados puede propiciar la proliferación de insectos y roedores, aumentar el riesgo de enfermedades infecciosas y agravando la situación; es importante señalar que la mala gestión de los RCD no es la única causa de riesgo para el medio ambiente; otros factores como la emisión de gases contaminantes durante el proceso de construcción, la generación de ruido y polvo y la alteración del paisaje natural, también pueden tener efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana (Marzouk & Azab, 2014).

Por lo tanto, para limitar los peligros asociados a la construcción y la demolición, es vital adoptar un enfoque holístico que aborde todas las partes del proceso de construcción, desde la planificación hasta la gestión de la basura generada. Esto incluye la aplicación de procedimientos de

construcción sostenible, la selección cuidadosa de los materiales de construcción y la adopción de prácticas adecuadas de gestión de los RCD, entre otras medidas. La problemática de los RCD en los municipios colombianos es frecuente y similar, y suele ser resultado de la inadecuada gestión de las empresas. Sin embargo, este comportamiento varía en función de la población y puede ser objeto de crítica por parte de la opinión pública y las entidades gubernamentales, especialmente en ciudades con más de 2 millones de habitantes como Bogotá, Medellín y Cali.

En municipios con menor cantidad de habitantes, la problemática de los RCD se vuelve más notoria debido al gran dinamismo del sector de la construcción y a la falta de vigilancia y monitoreo por parte de estos municipios, lo que es alarmante dado su limitado presupuesto.

Por tanto, es fundamental abordar esta situación con un enfoque participativo de manera integral y adoptar estrategias que fomenten una gestión adecuada de los RCD en todo el territorio colombiano. Esto incluye la sensibilización y educación a la población, la implementación de políticas y normativas más estrictas para la gestión de los RCD, y el fortalecimiento de la capacidad de los municipios para garantizar una gestión adecuada de los residuos. En última instancia, la gestión adecuada de los RCD puede contribuir significativamente a la preservación del medio ambiente y al desarrollo sostenible de Colombia. (Ramos et al., 2023)

El apogeo del sector de la construcción en el municipio ha traído consigo importantes cantidades de desechos, la falta de planeación es evidente y no existe un método suficiente para el manejo, mucho menos para la reducción de estos residuos, ni la disposición final es la adecuada. La falta de conocimiento, educación y cultura ambiental por parte de los constructores son algunas de las causas además de la falta de interés en el tema, lo que hace que los problemas ambientales y sociales que se derivan de esta condición sean altos con el paso del tiempo. Estos residuos generalmente han sido depositados en propiedades privadas convirtiéndose en vertederos incontrolados e ilegales; además terminan impactando áreas verdes urbanas como la sabana inundable, pantanos, acuíferos, arroyos, alterando la ecología y trayendo pérdida de biodiversidad. Por otro lado, la mayoría de estos residuos son depositados en potreros o dejados en lotes baldíos para futuros rellenos en nuevas construcciones que así lo requieran o, en el peor de los casos, estas áreas afectadas se convierten

posteriormente en zonas de asentamientos ilegales, lo que en términos de salud existe un alto riesgo de exposición a ciertos residuos que pueden ser nocivos. (Contraloría Departamental De Arauca, 2018).

En Colombia, históricamente se ha optado por verter los residuos de construcción y demolición (RCD) en escombreras, sin tener un control efectivo sobre su manejo. A pesar de ello, en la actualidad, la disposición de estos residuos en lugares no autorizados se ha vuelto una práctica común en la mayoría de los municipios del país debido a su facilidad de eliminación. Es esencial resaltar que esta forma de manejar los residuos de construcción y demolición se convierte en un problema recurrente, con consecuencias económicas y ambientales adversas. La disposición de estos residuos en lugares no autorizados es una alternativa ineficiente que no resuelve el problema a largo plazo. La falta de control y la ausencia de una estrategia de gestión adecuada lleva al agotamiento de los vertederos existentes, lo que, a su vez, aumenta la necesidad de buscar nuevos lugares para su disposición. Esto, no solo genera un mayor impacto ambiental, sino que también conlleva a un mayor costo económico para las autoridades encargadas de su gestión. Por tanto, se hace imperativo adoptar prácticas más sostenibles en el manejo de los RCD, que permitan una gestión adecuada, reduzcan su impacto ambiental y sean más rentables a largo plazo (Robayo et al., 2015).

A pesar del potencial de los residuos de construcción y demolición (RCD) de ser reutilizados, reciclados y valorizados, en la actualidad no se está recuperando una cantidad significativa de este material en Arauca (PGIRS municipal Arauca, 2016). Además, la falta de datos precisos sobre la cantidad de material generado en el municipio hace imperativo llevar a cabo un seguimiento más riguroso de la gestión de RCD para aprovechar al máximo su potencial reutilizable, reciclable y valorizable. Por lo tanto, se está perdiendo la oportunidad de aprovechar estos residuos y afectando negativamente el entorno paisajístico. Sin embargo, se están llevando a cabo actividades para fomentar la reutilización, reducción y reciclaje de los residuos aprovechables en línea con la normatividad vigente (MADS 1257 de 2021).

1.2 Justificación

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son residuos o materiales de desechos generados por la industria de la construcción que tienen carácter público y privado (Resolución 0472 de 2017, Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible). El mal manejo y gestión de estos residuos y los grandes volúmenes de estos materiales influyen de manera directa a la transformación del paisaje.

En la actualidad existe un plan de gestión de estos residuos por parte de la administración del departamento de Arauca y del municipio de Arauca, pero se encuentra desactualizado debido a que toma como referencia los decretos 2981 de 2013 y Decreto 1077 de 2015 (PGIRS del municipio de Arauca, 2016) y no con la normatividad vigente resolución 1257 de 2021.

Esta situación se agrava puesto que al no tener un centro de aprovechamiento estos residuos terminan en zonas verdes urbanas, lo cual conlleva a la pérdida de la biodiversidad y a la creación de zonas de asentamientos ilegales (Contraloría Departamental De Arauca, 2018).

El municipio de Arauca como ciudad que está en constante crecimiento demográfico, económico se ve obligada a atender necesidades básicas como vivienda, industria, entre otras. Desde un punto de vista económico, los RCD implican altos costos de recolección, transporte y disposición final; socialmente representan un alto riesgo en términos de salud y medio ambiente, lo que sin duda afecta a toda la comunidad. De la misma manera, esta problemática es el efecto de la falta de conciencia, educación y cultura ambiental. (Espinosa M, 2005).

El municipio de Arauca cuenta con una población de más de 101.457 habitantes (DANE 2018). Además, dispone de ingresos corrientes de libre destinación (ICLD) que pueden ser utilizados para gastos de funcionamiento (Resolución 314 de 2022, Contaduría General de la Nación), establecidos en la mencionada resolución. Estos datos certifican la categorización del municipio de Arauca como municipio de cuarta categoría. En Colombia existen 1.222 entidades de administración local (DANE 2018), de las cuales 15 tienen la misma categorización que el municipio de Arauca (Resolución 314 de 2022, Contaduría General de la Nación), es decir el 3,2 % de los habitantes de todo el país.

Las características demográficas del municipio de Arauca y su ICLD son una referencia importante respecto a los municipios con igual categorización, ya que muchas de las problemáticas ambientales y de gestión de RCD que enfrenta el municipio también son comunes en los otros municipios. Por lo tanto, conocer las características de Arauca puede ser útil para entender mejor las dinámicas de los otros municipios y proponer estrategias de gestión de residuos que puedan ser replicadas en otras regiones.

Con base a lo expuesto, resulta fundamental realizar un estudio que permita identificar, caracterizar, evaluar y analizar la gestión actual de los residuos de construcción y demolición (RCD) a lo largo de su ciclo de vida en el municipio de Arauca. Esto, con el objetivo de proponer estrategias de gestión de los RCD que permitan generar beneficios económicos y ambientales para la región, tales como la generación de empleo en la industria del reciclaje y la reducción de los impactos ambientales negativos asociados con la generación de grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición.

1.3 Propósito del Proyecto y Pregunta de Investigación

El propósito de esta investigación es presentar una propuesta de estrategias para mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en el municipio de Arauca. Para ello, se partirá de una observación científica de la situación actual en el área de influencia y se realizará una revisión sistemática de información a nivel internacional, nacional y local para potenciar los procesos de gestión desde una perspectiva económica y socioambiental, basada en la premisa teórica de la economía circular. La revisión sistemática permitirá identificar, valorar y determinar la importancia de los procesos, lineamientos y estrategias que se han implementado a nivel nacional e internacional para la gestión adecuada de los RCD, con el objetivo de recolectar, filtrar y organizar la información existente. Asimismo, se identificarán las brechas y oportunidades en la gestión desarrollada por la administración municipal para proponer estrategias ajustadas que transformen los procedimientos ejecutados.

Planteamiento de la Pregunta de Investigación

¿Qué estrategias de gestión necesita un municipio con las características del municipio de Arauca para mitigar los efectos negativos de los RCD, potenciando los beneficios socioambientales?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Proponer estrategias de gestión que permitan el manejo adecuado de los Residuos de Construcción y Demolición en el municipio de Arauca con el fin de mejorar las prácticas existentes en el sector y minimizar los impactos ambientales.

2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar el manejo de los residuos de construcción y demolición provenientes de obras civiles y sus impactos al municipio de Arauca.

Analizar a escala global estrategias de gestión relacionadas con los Residuos de Construcción y Demolición que minimicen sus impactos negativos ambientales y que a su vez impulsen sus beneficios a nivel social y ambiental.

Proponer la implementación de las estrategias de gestión ambiental basándose en el criterio Costo/ Beneficio que incentiven al aprovechamiento de los RCD.

2.3 Hipótesis

La implementación de estrategias adecuadas de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en el municipio de Arauca, basadas en el análisis de estrategias a escala global permitirá minimizar los impactos ambientales negativos y fomentar los beneficios socioambientales, desde el punto de vista costo/beneficio.

3. MARCOS DE REFERENCIA

En el siguiente capítulo se expone el marco de referencia para la investigación, que se divide en cuatro elementos fundamentales: el marco conceptual y teórico, el marco legal y los antecedentes. El marco teórico se enfoca en explicar las bases conceptuales que sustentan la temática de los RCD, desde su desarrollo y construcción hasta su clasificación y la aplicación de la economía circular y el análisis costo-beneficio. Por otro lado, el marco legal contiene toda la normatividad histórica y vigente relacionada con el manejo de los RCD. Los antecedentes incluyen una revisión de investigaciones existentes en diferentes partes del mundo y en Colombia sobre la gestión de los RCD. En conjunto, estos elementos proporcionan una visión completa y detallada sobre la temática de los RCD y su gestión adecuada, lo que es esencial para el desarrollo de la investigación.

3.1 Marco Conceptual

En el siguiente apartado se presentan algunos conceptos clave para comprender los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), su clasificación, aprovechamiento y estrategias para su gestión sostenible.

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Son aquellos residuos sólidos provenientes de la actividad de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas o de otras actividades conexas se conocen como RCD (Resolución MADS 0472 de 2017).

Los RCD se clasifican en:

Residuos aprovechables son productos resultantes de la excavación y la adecuación de terreno, tales como: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación entre otros. También se incluyen productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás. Dentro de los materiales pétreos se encuentran el hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillo y bloques, cerámicas y sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros. Los materiales no pétreos incluyen vidrios, metales acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como PVC,

polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón-yeso(drywall) entre otros. (Resolución MADS 0472 de 2017).

Existen los residuos No aprovechables que incluyen aquellos materiales que contienen contaminantes peligrosos, debido a su estado o características que no pueden ser aprovechados. Estos residuos se rigen por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión, en la cual se establecen medidas específicas para garantizar el manejo y minimizar su impacto (Resolución MADS 0472 de 2017).

Aprovechamiento de RCD

El aprovechamiento de RCD es una estrategia fundamental para la sostenibilidad de la industria de la construcción, ya que no solo permite la reducción de costos en la gestión, sino que contribuye a la conservación de recursos naturales. Este proceso implica diversas actividades como demolición selectiva y tratamiento, además incluye actores para su realización. Es un proceso que abarca la reutilización y reciclaje de los RCD, con el fin de realizar su reincorporación al ciclo económico. La demolición selectiva es la actividad planeada de desmantelamiento que busca obtener el aprovechamiento de los residuos de una demolición. Por su parte el tratamiento consiste en una serie de operaciones y procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, las cuales posibilitan la reincorporación del nuevo material a ciclos productivos (Resolución MADS 0472 de 2017). Para el aprovechamiento existen instalaciones pertinentes que permiten desarrollar la actividad; según la resolución MADS 0472 de 2017, existen dos tipos de plantas de aprovechamientos: las fijas, que operan de manera permanente en un predio determinado, e incluyen edificaciones, maquinaria y equipo; y las móviles, que son instalaciones transitorias acondicionadas en el sitio de generación y que incluyen maquinaria y equipo; además, los puntos limpios son sitios establecidos para que el gestor realice la separación y almacenamiento temporal de los RCD antes de su traslado a las plantas de aprovechamiento.

Por otra parte, los sitios de disposición final de RCD son lugares técnicamente seleccionados, diseñados y operados para la disposición final controlada de los residuos, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería para su confinamiento y aislamiento. Por

último, el almacenamiento se refiere a la ubicación temporal de los RCD en recipientes, contenedores, sitios de acopio temporal y/o depósitos, antes de su recolección y transporte para su aprovechamiento o disposición final, según lo establecido en la Resolución MADS 1257 de 2021. Es fundamental tener en cuenta estos conceptos para un adecuado manejo de los RCD y su contribución al cuidado del medio ambiente.

La simbiosis industrial se presenta como una estrategia colaborativa para el intercambio de flujos físicos de materiales, energía y agua, así como el compartir de servicios entre diferentes actores, lo que permite contribuir al uso eficiente de recursos y a la reducción de impactos ambientales de los sistemas industriales (MADS 0472 de 2017).

Por otro lado, la Resolución MADS 0472 de 2017 define el impacto ambiental como la alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, mientras que el desempeño ambiental se refiere a los resultados medibles de la gestión ambiental de una organización en relación con sus aspectos ambientales. La simbiosis industrial y el uso eficiente de recursos pueden contribuir significativamente a mejorar el desempeño ambiental de una organización, reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular.

Gestión ambiental

Es el proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio (Resolución MADS 0472 de 2017).

Según Arteta et al. (2015), "la gestión ambiental o gestión del medio ambiente es el conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental" (p. 196). Estos autores sostienen que la gestión ambiental abarca un concepto integrador superior al del manejo ambiental, ya que incluye tanto las acciones operativas como las directrices, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, que terminan mediando la implementación" (como se citó en Vidal & Asuaga, 2021).

Estrategias

Según Contreras Sierra (2013), la palabra estrategia es la determinación de las metas y objetivos de una empresa a largo plazo, las acciones a emprender y la asignación de recursos necesarios para el logro de dichas metas. La estrategia es un término que se utiliza en muchos ámbitos, en los negocios, la política, cultura y religión. A menudo, se relaciona con otros términos como la planeación estratégica, la administración y la evaluación estratégicas, pero se utilizan de manera indiscriminada sin saber cuándo y cómo aplicarlos. La complejidad de la estrategia radica en que existen múltiples opciones, caminos y resultados, lo que hace difícil su diseño e implementación. Muchas organizaciones han implementado estrategias que las han alejado de sus objetivos.

Auditoría ambiental

La auditoría ambiental es definida por varios autores como una herramienta de gestión con la finalidad de evaluar el desempeño ambiental de una empresa u organización. Según García Gómez (2002, citado en Alaña Castillo, Morán Molina y Sanmartín Ramón, 2017) se trata de una estrategia de evaluación y control de la calidad, la eficacia y la rentabilidad de los procesos y productos de un determinado organismo, institución o empresa" (p. 144).

Franklin (2015, citado en Alaña Castillo, Morán Molina y Sanmartín Ramón, 2017) define la auditoría ambiental como "un examen analítico de las operaciones de una organización relacionadas con la contaminación y el riesgo ambiental que conllevan, grado de cumplimiento de la legislación medio ambiental y de los parámetros internacionales, con el objeto de mejorar la eficiencia y eficacia de sus procesos en su desempeño ambiental e implementar medidas preventivas y correctivas para proteger el medio ambiente". (p.145).

Según Sánchez (2015), la auditoría ambiental se considera la herramienta clave para evaluar el Sistema de Gestión Ambiental de una empresa y obtener información sobre la efectividad de su gestión ambiental. Este proceso también permite identificar problemas en materia de seguridad y ambiente laboral, anticipar nuevos desafíos ambientales, proponer medidas preventivas y mitigadoras, y, en conjunto con una revisión contable ambiental, contribuir a la formación de una empresa ecológica.

Análisis del ciclo de vida

La técnica del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) trata de identificar, medir y explicar los posibles efectos medioambientales que puedan estar relacionados con cualquier etapa del ciclo de vida de un producto concreto. Dado el carácter finito de los recursos naturales y energéticos, que tienden a consumirse a un ritmo más rápido que su sustitución o la creación de nuevas alternativas, esta metodología se centra en la optimización del diseño de los productos (Romero Rodríguez, 2003).

3.2 Marco Teórico

En este trabajo se abordará el marco teórico relacionado con la economía circular, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) y el análisis costo-beneficio. Se revisarán los principales conceptos y teorías de estos temas con el fin de comprender cómo la economía circular y la gestión adecuada de los RCD pueden contribuir a la sostenibilidad económico ambiental y cómo el análisis costo-beneficio puede ser una herramienta útil para evaluar la eficacia de las estrategias y políticas en este ámbito; se identificarán las variables clave que pueden influir en el éxito de estas prácticas y se analizarán casos prácticos para ilustrar su implementación en diferentes contextos.

Economía Circular

Una economía circular es reconstituyente y regenerativa por diseño, y propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos. El concepto distingue entre ciclos biológicos y ciclos técnicos. Tal como fue previsto por sus creadores, una economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando recursos finitos y flujos renovables. Funciona de manera efectiva a cualquier escala (Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., & Ormazabal-Goenaga, M. 2017).

Según Arroyo Morocho, F. R. (2018), la economía circular representa una transformación significativa de los sistemas actuales de producción y consumo, cuyo objetivo es evitar la generación de residuos y reducir los impactos negativos que estos pueden ocasionar en el medio ambiente, el clima y la salud humana. Al promover un enfoque holístico y sostenible, se busca mitigar las

externalidades negativas asociadas con los modelos lineales de producción, alentando la reutilización, la reparación y el reciclaje de los materiales y productos, y fomentando el uso eficiente de los recursos naturales. La idea de RRR (Reducir, Reutilizar y Reciclar) puede ser replanteada como un sistema en el que todos los participantes son considerados como nutrientes de diferentes tipos que generan impactos positivos. Este enfoque promueve el estudio de cada paso dentro del proceso desde una perspectiva global de prevención, y la comprensión de todas las fases dentro de un todo. Se propone un uso infinito y eficiente de los recursos, desde su concepción hasta su reintegración en el ciclo productivo, y el cierre del ciclo de vida de los productos de la cadena para lograr un proceso retroalimentado.

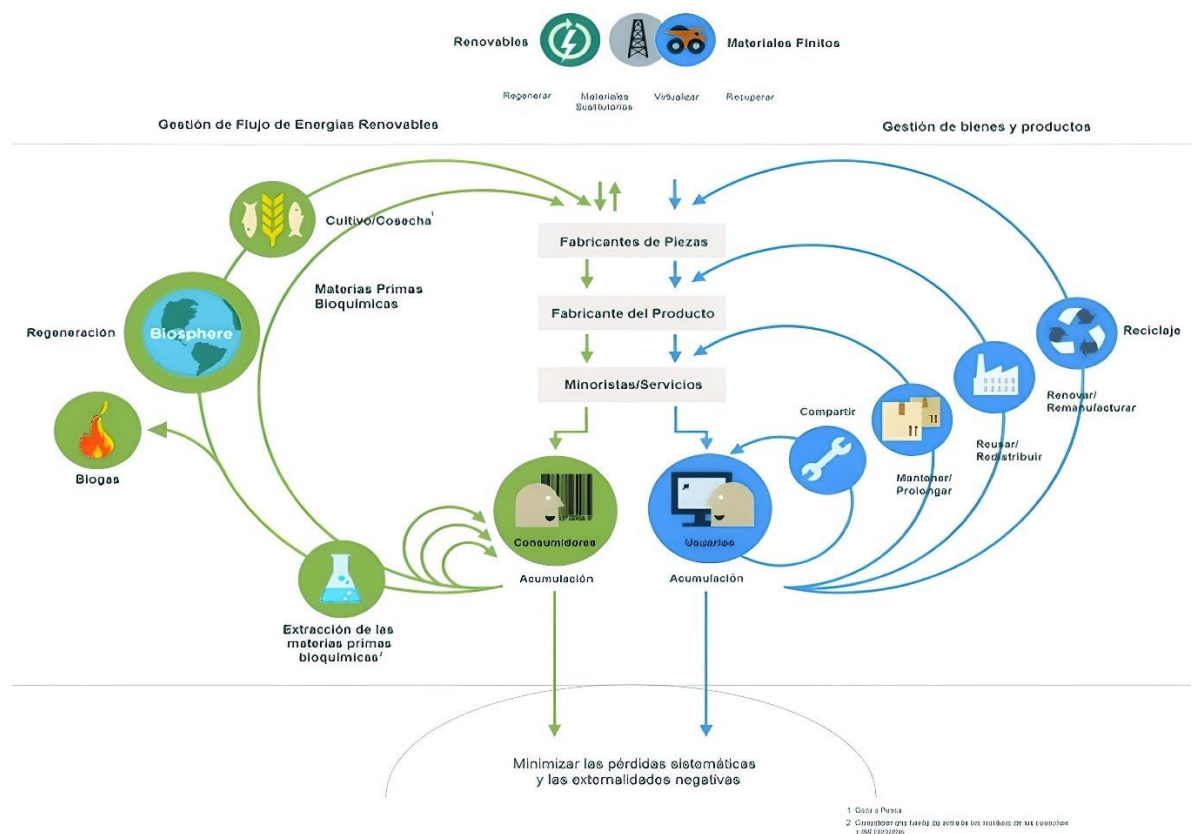


Ilustración 1: Esquema de economía circular, Fuente: Arroyo Morocho, F. R. (2018).

Gestión de RCD

Russo (2003, citado en Fazenda y Tavares-Russo, 2016) define la gestión de residuos como una disciplina que abarca el control, producción, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento, tratamiento y destino final de los residuos sólidos, en línea con los principios de

preservación de la salud pública, economía, ingeniería, conservación de recursos, estética y otros principios ambientales. Además, la gestión de residuos implica una interrelación de los aspectos administrativos, financieros, legales, de planificación e ingeniería, y requiere soluciones interdisciplinarias basadas en diversas ciencias y tecnologías, como la ingeniería, economía, sociología, geografía, planificación regional, salud pública, demografía, comunicación y conservación (Fazenda y Tavares-Russo, 2016, p. 3).

La gestión de los RCD implica el reconocimiento de los roles y responsabilidades de los actores involucrados en su generación, manejo y disposición final. Su gestión integral busca prevenir, reducir, aprovechar y disponer adecuadamente los RCD, con el objetivo de reducir su impacto ambiental y fomentar su aprovechamiento. Para lograr una gestión adecuada, es esencial conocer los diferentes tipos de instalaciones y sitios utilizados en el manejo de estos residuos, así como sus funciones y características, lo que permite diseñar estrategias y acciones efectivas para su gestión y contribuir al cuidado del medio ambiente (Resolución MADS 0472 de 2017).

Los actores presentes en la gestión de RCD son:

Los gestores de RCD que es la persona encargada de recolectar, transportar, almacenar, aprovechar y/o disposición finalmente los de RCD generados. También está presente el generador de RCD que es la persona natural o jurídica que, como parte de su actividad constructiva genera estos residuos. Es importante destacar que existen diferentes tipos de generadores, entre ellos, el gran generador de RCD que es el generador de RCD que cumple con las siguientes condiciones: 1) requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público. 2) la obra tenga un área construida igual o superior a 2.000 m² y el pequeño generador de RCD que es aquel que cumple con las siguientes condiciones: 1) no requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público. 2) la obra tenga un área construida inferior o igual a 2.000 m² (Resolución MADS 0472 de 2017).

Es importante resaltar la relevancia de otro agente igualmente significativo en la gestión de RCD, que son los individuos u organizaciones que reciben y utilizan los residuos como materia prima

dentro de sus procesos productivos, también conocidos como receptores de RCD. De acuerdo con la Resolución MADS 1257 de 2021, los receptores se definen como personas naturales o jurídicas que aprovechan los RCD a través de la simbiosis industrial en proyectos, obras o actividades propias o de terceros dentro del territorio nacional. Es esencial considerar a estos actores en la gestión integral de los RCD, ya que su participación permite maximizar el aprovechamiento y reducir el impacto ambiental de estos residuos.

Demolición selectiva

La demolición selectiva es la actividad que realiza la separación minuciosa de materiales con potencial de reciclaje o reutilización durante una demolición, lo que permite reducir la cantidad de residuos generados y aprovechar los residuos, a su vez también para evitar la contaminación y la mezcla de materiales. Es decir, se hace la separación de materiales simultáneamente con la demolición de la obra. La demolición selectiva resulta más rentable y efectiva que los métodos tradicionales de demolición, ya que esto significa una mayor calidad de los materiales de demolición y elimina la necesidad de hacer la selección en una planta de reciclaje. Además, se ahorran costos de transporte y tasa de disposición final, lo que aumenta los ahorros económicos (secretaría de ambiente de Bogotá 2014).

Clasificación de residuos de construcción y demolición

Los sobrantes de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparaciones de las obras civiles, o de otras actividades conexas complementarias o análogas, son conocidos como los RCD.

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) aprovechables son aquellos materiales que pueden ser reutilizados, reciclados o valorizados en su totalidad o en parte, con el fin de minimizar su impacto ambiental y reducir la cantidad de residuos que se generan. Estos materiales incluyen, entre otros, hormigón, ladrillos, cerámicas, vidrios, madera, plásticos, metales y textiles, los cuales pueden ser recuperados y transformados en materiales nuevos o utilizados en la producción de energía. La recuperación y el aprovechamiento de estos residuos son importantes ya que contribuyen a la reducción del consumo de materias primas, ahorran energía y reducen la emisión de gases de efecto

invernadero en su disposición final. Además, su gestión adecuada puede generar beneficios económicos y sociales, como la creación de empleos y la generación de ingresos por la venta de materiales recuperados.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) no aprovechables son aquellos materiales que no pueden ser reutilizados, reciclados o valorizados debido a su naturaleza o su estado de contaminación. Estos residuos pueden incluir materiales como la cerámica sanitaria, vidrios rotos, plásticos no identificables, material aislante contaminado, entre otros. Estos materiales no son adecuados para su uso en nuevos proyectos de construcción debido a su deterioro, fragilidad o contaminación, lo que limita su valorización y reduce la posibilidad de recuperación económica. Por lo tanto, la gestión adecuada de estos residuos implica su disposición final en sitios adecuados, como rellenos sanitarios, y su adecuada gestión ambiental para minimizar su impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública.

Las normas de clasificación de RCD son un conjunto de directrices que estandarizan la identificación y manejo de los residuos de construcción y demolición. Estas normas establecen criterios claros para la clasificación de los residuos según su origen, composición y características, lo que permite su correcta gestión y disposición final. Su cumplimiento es obligatorio en muchos países y su aplicación implica la identificación de los diferentes tipos de materiales, la separación en origen, el transporte y almacenamiento adecuado, y la disposición final en lugares autorizados. Las normas son importantes porque reducen el impacto ambiental de los RCD, maximizan su potencial de reciclaje y reutilización, y contribuyen a la conservación de recursos naturales y a la mitigación del cambio climático.

En la siguiente ilustración (Ver ilustración 2), se presenta la clasificación de los residuos generados durante el desarrollo de una obra. Estos residuos se dividen en diferentes categorías según su grupo y clase, lo que permite una adecuada gestión y disposición final de los mismos.

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
A. RCD APROVECHABLES	I- Residuos mezclados	1. Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosin, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría ⁽¹⁾ .
	II-Residuos de material fino	1. Residuos finos no expansivos	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría ⁽¹⁾ .
		2. Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría ⁽¹⁾⁽²⁾ .
	III- Otros Residuos	1. Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, cartones, papel, siliconas, vidrios, cauchos.
		2. Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio, estaño y zinc.
		3. Residuos orgánicos de pedones	Residuos de tierra negra.
		4. Residuos orgánicos de cespedones	Residuos vegetales y otras especies bióticas.
B. RCD NO APROVECHABLES	IV-Residuos peligrosos	1. Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos, patógenos (biológicos)	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, y los residuos o desechos incluidos en el Anexo I y Anexo II o que presenten las características de peligrosidad descritas en el Anexo III del Decreto 4741 de 2005.
Categoría	Grupo	Clase	Componentes
B. RCD NO APROVECHABLES	V-Residuos especiales	No definida	Poliestireno - Icopor, cartón-yeso (drywall), llantas entre otros
	VI- Residuos contaminados con otros residuos	1. Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos.
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento.
	VII- Otros residuos	No definido	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reuso en las obras.

Ilustración 2: Clasificación RCD, Fuente: Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015

Jerarquización RCD

La jerarquización de gestión de residuos indica un orden de prioridad para las acciones destinadas a reducir y gestionar los residuos. La jerarquía de residuos se representa como una pirámide invertida, ya que el principal objetivo de la política es impedir que se generen residuos en primer lugar reducir, reciclaje, conversión de residuos y por último eliminación (United Nations

Environment Programme, 2013). La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de la ciudad de Bogotá establece tres principios rectores en la jerarquización del manejo de los RCD, que son la máxima reducción, la optimización del aprovechamiento y la mínima disposición final. Estos principios se aplican en estricto orden y aseguran una gestión ambiental adecuada de la obra, como se ilustra en la ilustración 3.



Ilustración 3: Principios rectores de la gestión de RCD. Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2015)

La planificación del proyecto constructivo debe priorizar la reducción en la generación de los residuos de construcción y demolición (RCD) como primer principio rector. Para lograrlo, se deben promover la formulación e implementación efectiva de los planes de gestión de RCD en la obra, y su divulgación. Además, es fundamental aplicar el segundo principio rector: el aprovechamiento de los RCD mediante el reciclaje y la reutilización de materiales. En este sentido, se destacan tres conceptos importantes: valorización, que implica evaluar y caracterizar los RCD para establecer su potencial de reutilización o reciclaje; reutilización, que consiste en prolongar la vida útil de los RCD recuperados sin necesidad de transformación adicional; y reciclaje, que se refiere al proceso de procesar y transformar los RCD para obtener nuevos productos. La disposición final sigue siendo una opción en la pirámide, pero se debe minimizar su uso, especialmente para aquellas fracciones de RCD que no se pueden aprovechar. En todo caso, se debe garantizar una disposición adecuada y controlada, en cumplimiento de la normatividad ambiental y de ordenamiento del territorio vigente para cada caso, tal como establece la Secretaría Distrital de Ambiente (2016).

Análisis Costo-Beneficio

El análisis costo-beneficio (ACB) es una metodología para evaluar de forma exhaustiva los costes y beneficios de un proyecto (programa, intervención o medida de política), con el objetivo de

determinar si el proyecto es deseable desde el punto de vista del bienestar social y, si lo es, en qué medida. Para ello, los costos y beneficios deben ser cuantificados, y expresados en unidades monetarias, con el fin de poder calcular los beneficios netos del proyecto para la sociedad en su conjunto (Aguaza, 2012).

La metodología del ACB muestra además quién gana y quién pierde (y por cuánto) como resultado de la ejecución del proyecto. El ACB se utiliza en la evaluación ex ante como una herramienta para la selección de proyectos alternativos o para decidir si la implementación de un proyecto concreto es socialmente deseable. También puede ser empleado ex post para cuantificar el valor social neto de un proyecto previamente ejecutado (Aguaza, 2012).

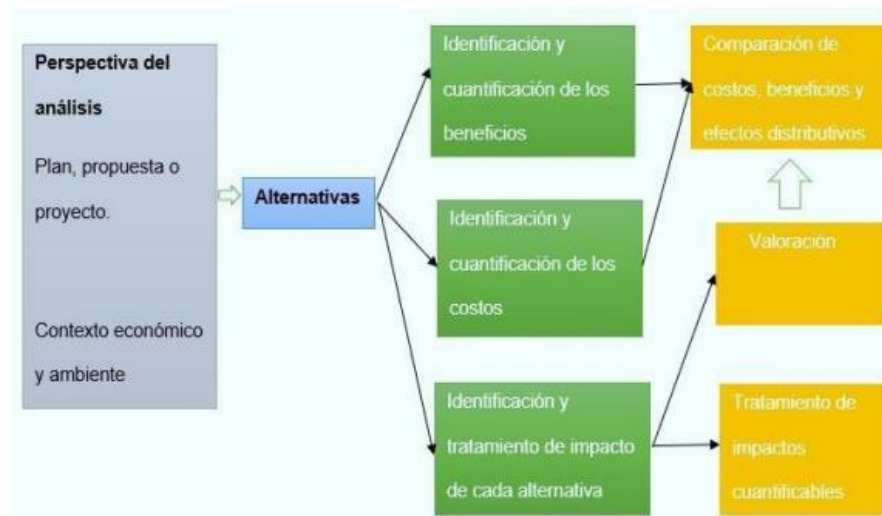


Ilustración 4: Perspectivas del análisis de Costo-Beneficio. Fuente: Sicha, T., & Toledo, Y. (2020).

Para Lara y franco (2017), “el análisis costo beneficio (ACB) consiste en crear un marco para valorar si en un momento específico en el tiempo, el costo de una medida específica es mayor en relación a los beneficios procedentes de la misma. El costo beneficio permite pronosticar cual decisión es la más apropiada en términos económicos en un proyecto específico”. (p.2).

Ansari y Anderson (2011), señalaron que “en economía los costos y beneficios no necesariamente se miden en términos monetarios, pero los políticos prefieren usar medidas monetarias debido a que son más comparables”. En su obra, estos autores explican que existen diferentes enfoques para los análisis económicos, entre ellos, se encuentran el costo-beneficio, el

costo de la rentabilidad y el análisis de minimización de costos. De estos enfoques, el análisis costo-beneficio es considerado el “patrón oro” porque permite comparar los costos y beneficios de diferentes opciones al expresarse en términos monetarios. En contraste, en el análisis de rentabilidad los costos se expresan en términos monetarios y los beneficios en términos no monetarios, mientras que en el análisis de minimización de costos solo se miden los costos y no se busca medir los beneficios (Lara y Franco, 2017).

3.3 Marco legal

En Colombia, la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) está respaldada por un marco normativo completo y jerarquizado que se compone de leyes, normas, decretos y resoluciones tanto a nivel nacional como municipal. Esta normatividad es esencial para garantizar el manejo adecuado de los RCD y su intervención en el territorio colombiano y en el municipio de Arauca:

La constitución Política de Colombia de 1991

No hace una mención explícita a los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Sin embargo, establece en su artículo 79 que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Además, en el artículo 80 se establece que el Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, y en el artículo 95 se establece la obligación de todos los colombianos de proteger los recursos naturales y velar por la conservación del patrimonio ecológico.

El artículo 49 de la Constitución de Colombia establece la responsabilidad del Estado en la provisión de servicios de atención de la salud y saneamiento ambiental, y aunque no se refiere específicamente a los RCD, su gestión adecuada es importante para la protección de la salud pública y el medio ambiente

A partir de estas disposiciones, se puede inferir que la Constitución de Colombia de 1991 reconoce la importancia de la protección del medio ambiente y la necesidad de una gestión adecuada de los recursos naturales, incluyendo los RCD. En este sentido, la normatividad ambiental que regula

la gestión de los RCD se enmarca en los principios constitucionales de protección del medio ambiente y desarrollo sostenible.

Ley 99 de 1993

Los artículos 2, 10 y 11 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993, que establecen los principios de desarrollo sostenible, precaución y participación, respectivamente, se aplican en general a todas las acciones y decisiones relacionadas con el medio ambiente y el desarrollo en Colombia. En ese sentido, también se aplican a la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el país.

Artículo 2: El principio de desarrollo sostenible implica que la gestión de los RCD debe buscar la satisfacción de las necesidades actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. En la gestión de los RCD se debe considerar la minimización de residuos, la reutilización, el reciclaje y la valorización de estos, con el fin de reducir su impacto ambiental y promover la conservación de los recursos naturales.

Artículo 10: El principio de precaución se aplica en la gestión de los RCD en situaciones en las que existen incertidumbres acerca de los riesgos ambientales que puedan asociarse con la disposición final de los mismos. En este sentido, se deben adoptar medidas de prevención y mitigación de los posibles impactos ambientales y sanitarios asociados con la gestión de los RCD.

Artículo 11: El principio de participación implica que la sociedad debe tener un papel activo en la gestión de los RCD. Se debe garantizar el acceso a la información ambiental relacionada con la gestión de los RCD y se deben promover espacios de participación ciudadana en la planificación y toma de decisiones relacionadas con la gestión de los RCD.

Resolución 541 de 1994

Establece el reglamento técnico para el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en el país. Algunos de los puntos más importantes de esta resolución son los siguientes:

Define qué son los residuos de construcción y demolición y establece su clasificación, establece las obligaciones de los generadores de RCD, establece los procedimientos para la gestión y disposición final de los RCD, establece las obligaciones de las autoridades ambientales y de los

entes territoriales en la gestión de los RCD, establece las sanciones aplicables en caso de incumplimiento de la normativa.

Decreto 948 de 1995

En su artículo 22 decreta la prohibición a los particulares, depositar o almacenar en las vías públicas o en zonas de uso público, materiales de construcción, demolición o desecho que puedan originar emisiones de partículas al aire.

Decreto 1713 de 2002

En resumen, el Decreto 1713 de 2002 modifica el Decreto 948 de 1995 y establece nuevas disposiciones para la gestión de los RCD en Colombia, incluyendo medidas para minimizar la cantidad de residuos generados, garantizar la adecuada disposición final de los mismos, fomentar el reciclaje de los residuos y establecer sanciones para los incumplimientos de la norma.

Decreto 4741 de 2005

El decreto regula la gestión integral de residuos, incluyendo los residuos de construcción y demolición (RCD). Entre las principales disposiciones del Decreto 4741 de 2005 sobre RCD, se encuentran: Definición de los RCD, obligaciones de los generadores, prohibiciones, responsabilidad de los transportadores, obligaciones de los gestores.

El Decreto 4741 de 2005 también establece un régimen sancionatorio para los infractores de las disposiciones establecidas en la norma, con multas que pueden ir desde 50 hasta 50.000 salarios mínimos legales mensuales vigentes, dependiendo de la gravedad de la infracción.

Resolución 0472 De 2017

La norma cuyo objetivo es establecer los requisitos y especificaciones técnicas para la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en el territorio colombiano. Establece herramientas técnicas como:

Clasificación de los RCD según su origen, composición y peligrosidad, obligaciones y responsabilidades de los generadores de RCD, criterios para el transporte y almacenamiento de los

RCD. Además, plantea procedimientos y estándares para el manejo y disposición final de los RCD. Por último, dictamina disposiciones de planes de manejo de residuos de construcción y demolición (PMRCD) que deben ser elaborados y presentados por los generadores de RCD ante las autoridades competentes

También establece la necesidad de que las autoridades ambientales competentes implementen planes de seguimiento y control para garantizar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones técnicas establecidos en la norma.

Resolución 1257 De 2021

Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y se adoptan otras disposiciones. Es de las últimas disposiciones en materia de RCD Vigentes en el territorio nacional, el cual tiene como base actualizar la estrategia nacional de economía circular potenciando el aprovechamiento de los RCD, metas y acciones para cerrar ciclos de vida de subproductos.

PGIRS del municipio de Arauca: Conforme a la Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos, en el año 2005 el municipio de Arauca formuló el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS con un horizonte de planificación a dos años (2005 – 2007), adoptado por el concejo municipal y fue actualizado mediante Resolución No. 0974 de 23 de noviembre de 2011 de para un horizonte de planificación a quince (15) años de acuerdo a la metodología establecida en la Resolución 1045 de 2003 (2012 – 2026).

3.4 Antecedentes

En América latina la urbanización ha llevado a un aumento en la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y la falta de planificación en su gestión, tratamiento y disposición final adecuada ha generado problemas ambientales. Se llevó a cabo una investigación retrospectiva en Argentina, Brasil, Colombia y México para analizar la gestión de RCD en estos países. Los resultados muestran que Brasil y Colombia tienen normativas específicas para la gestión de RCD, mientras que México solo la tiene en su capital y Argentina no tiene una normativa específica. Los

principales temas de investigación en torno a los RCD son las alternativas a la disposición final y la gestión de estos residuos. La investigación es importante porque los RCD pueden ser procesados y reincorporados como materia prima en obras de construcción, lo que puede reducir los impactos ambientales negativos asociados con la extracción de materias primas naturales para la industria de la construcción (Rodríguez Álzate A, 2022).

La producción de residuos de construcción y demolición (RCD) está estrechamente vinculada a la actividad del sector de la construcción, ya que se generan cuando se demuelen edificios e infraestructuras obsoletas o se construyen nuevas obras. Es fundamental que se pueda realizar un seguimiento de los RCD desde su origen hasta su eliminación definitiva. En la ciudad de Córdoba, la actividad de construcción y demolición está regulada por el ayuntamiento a través de sus órganos de gobierno. Sin embargo, actualmente, solo se exige la identificación del tipo, volumen, transporte y destino final de los RCD en casos de demolición total, sin haber regulación alguna para otras situaciones. De acuerdo con los hallazgos obtenidos, se puede observar que la gestión de los RCD generados por la mayoría de las empresas no gestionan los RCD que generan, evidenciando una falta de planificación en este ámbito. A pesar de ello, estas empresas reconocen la importancia de gestionar los residuos, lo que sugiere la posibilidad de establecer regulaciones al respecto. (Capdevila, J. A., Nasser, J. J., Salomón, J. E., Odebrecht, A. M., Harada, R. G., & Sabaini, 2018)

En Argentina se realizó un análisis de la gestión de los RCD en España y se comparó con la situación actual en Argentina. A pesar de que España y Argentina tienen una organización jurídica similar, en España existe un marco normativo adicional de la Unión Europea debido a su integración regional. Los planes nacionales de gestión de residuos tienen objetivos diferentes. El PEMAR en España establece objetivos cuantitativos y cualitativos para cada tipo de residuo, incluyendo los RCD. En cambio, el ENGIRSU en Argentina establece objetivos generales aplicables a todos los tipos de RSU sin distinguir entre ellos. La falta de regulación y disciplina en la gestión de RCD en países en desarrollo como Argentina genera diversas problemáticas, incluyendo la pérdida de recursos económicos y la creación de vertederos que tienen un gran impacto medioambiental (Valoni, N. A. 2018).

En el ámbito colombiano, se ha prestado atención al estudio y caracterización de los RCD. En Montería (Colombia), se llevó a cabo un análisis y estudio para promover una cultura de conservación del medio ambiente mediante la reutilización y reciclaje de los desechos de construcción, lo cual representa un ahorro económico significativo para las empresas y un valor añadido. Este enfoque busca renovar las estrategias de disposición final de los RCD en Montería, generando empleos y contribuyendo a la descontaminación de la ciudad desde una perspectiva ambiental y visual. Aunque es común encontrar RCD en diversos lugares de la ciudad debido a la falta de conciencia por parte de los generadores para depositarlos en lugares adecuados con niveles de contaminación bajos, como riberas de ríos, humedales, lotes baldíos, entre otros. (López, M 2020)

En Tunja (Boyacá), se desarrolló un modelo de gestión de residuos de construcción y demolición que establece directrices que la ciudad puede aplicar. Para obtener información sobre los métodos utilizados por las constructoras para la gestión de los residuos y los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de los RCD, se realizaron visitas a las obras civiles de la ciudad y se inspeccionaron los sitios no aptos para la disposición final de los residuos. Además, se definen las obligaciones de los generadores y gestores para garantizar la protección ambiental y el uso adecuado de los recursos naturales para las futuras generaciones. La disposición adecuada de los RCD en los sitios autorizados y la gestión integral a través de actividades de reciclaje, aprovechamiento y reincorporación a la cadena productiva son fundamentales. Es importante destacar que existen opciones tanto internas como externas para aprovechar los residuos de construcción y demolición. Estos incluyen la creación de puntos limpios para el acopio, la separación adecuada de los residuos reciclables en la fuente y la implementación de rutas de recolección selectiva, lo que generará beneficios económicos y ambientales significativos para la ciudad. (Urquijo Fajardo, 2021).

A pesar de que existen numerosas investigaciones sobre este tema a nivel mundial y nacional, no ha habido estudios previos que aborden esta problemática específicamente en el área de investigación, lo que ha dejado un vacío en el conocimiento sobre cómo se manifiesta.

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolla en el municipio de Arauca, ubicado sobre los llanos orientales, capital del departamento de Arauca (Ilustración 5) en las siguientes coordenadas geográficas: N 07° 05' 25" W 70° 45' 42" a una altura promedio de 125 metros sobre el nivel del mar.

La capital del departamento de Arauca tiene una extensión de 5.721 km² de territorio. Además, tiene una temperatura promedio de 26,8 °C, que puede oscilar entre los 21,7 °C y los 32 °C (IDEAM, 2022) y cuenta aproximadamente con un número de 96.814 habitantes (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2020).

Limita por el Norte con la República de Venezuela que lo separa por el río Arauca, por el Este con la República de Venezuela, por el Sur con los municipios de Cravo norte y Puerto rondón y por el Oeste con el municipio de Arauquita.

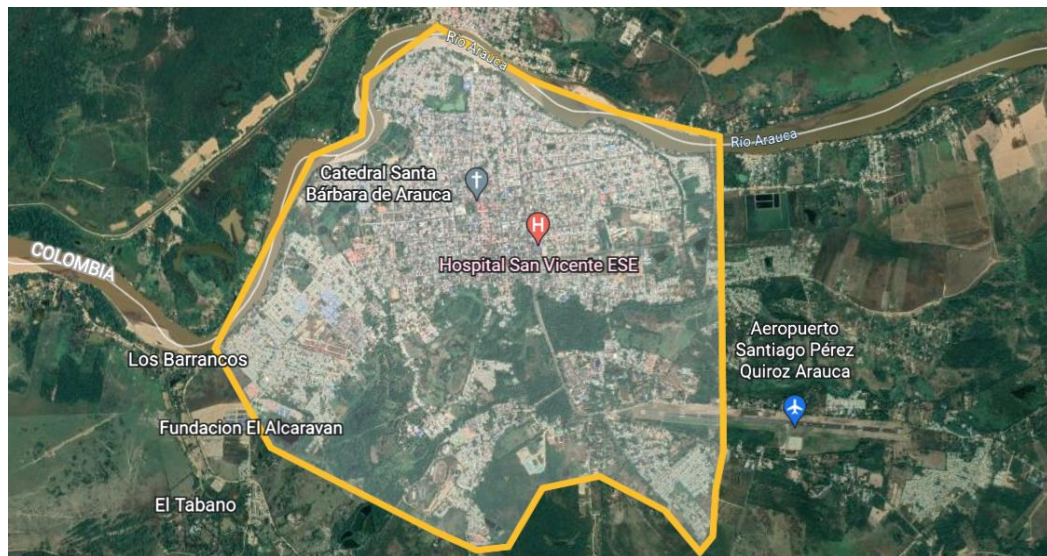


Ilustración 5: Área de estudio Fuente: Google Maps 2023

El municipio de Arauca tiene una dinámica socioeconómica muy activa, ya que por su localización en la zona limítrofe entre Colombia y Venezuela ha permitido que existan fuertes vínculos con el país vecino más exactamente con los estados Apure y Táchira. El cual ha permitido que se resalte su comercio binacional, entre los productos que más se destacan está el petróleo y la ganadería. La divisa oficial en Colombia es el peso colombiano y por ende es la de circulación oficial; sin embargo, y debido a su proximidad con Venezuela, el bolívar y el dólar es aceptado por la gran mayoría de establecimientos comerciales.

Por otra parte la economía del municipio depende de la ganadería y la agricultura, que por tradición se ha implementado desde la colonización de estas tierras, exportando insumos de la canasta básica familiar a otros municipios y departamentos del país e incluso exportando a otros países; otra fuente importante de ingreso es la explotación de hidrocarburos en diferentes campos petroleros ubicados en diferentes puntos del municipio, siendo Caño Limón quizás el más importante, el cual, al inicio de su explotación en 1985, evitó que Colombia pasara por la enfermedad holandesa. Este campo petrolero opera en sociedad conjunta de Ecopetrol y la OXY USA. La explotación de hidrocarburos ha representado para el municipio el renglón de mayor relevancia dentro de la actividad económica; luego que genera la mayoría de los empleos a la población; incrementando el ingreso per cápita de sus habitantes y mejoras en otras industrias como infraestructura vial; apoyo a saneamiento básico, educación y salud del municipio específicamente en la zona de influencia. (Gobernación de Arauca, 2016)

El municipio de Arauca se caracteriza por su imponente río Arauca, el cual conforma una red de biodiversidad. En el área de estudio se diferenciaron de manera general dos grandes ecosistemas: 1) la sabana inundable, que a su vez está conformado por “raudales” (humedales), esteros, bajos, bancos y matas de monte, y 2) los bosques remanentes de las “Selvas de la lipa”. El Instituto Humboldt realizó muestreos para plantas, peces, mamíferos, anfibios, reptiles y aves. Se registraron en 822 especies de fauna y flora, así: 330 especies de plantas, 232 especies de aves, 198 especies de peces, 31 especies de mamíferos, 13 especies de anfibios y 18 de reptiles. La base de datos de los registros fue incorporada en la Infraestructura Institucional de Datos del Instituto Humboldt (Mijares-S, F. y Pérez-Buitrago, N. 2019).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto sigue un enfoque de investigación descriptiva, ya que se presenta una explicación detallada y sistemática del tema de los residuos de construcción y demolición, sustentada en un análisis profundo de la literatura académica, normativa y política pública colombiana.

Con el fin de presentar la metodología a desarrollar, detallado en los objetivos específicos, se

presentará en el diagrama de flujo (ilustración 5), las diferentes actividades a realizar para la elaboración de las propuestas de estrategias de gestión de los RCD, sosteniendo las etapas en el orden: diagnóstico, revisión y formulación.

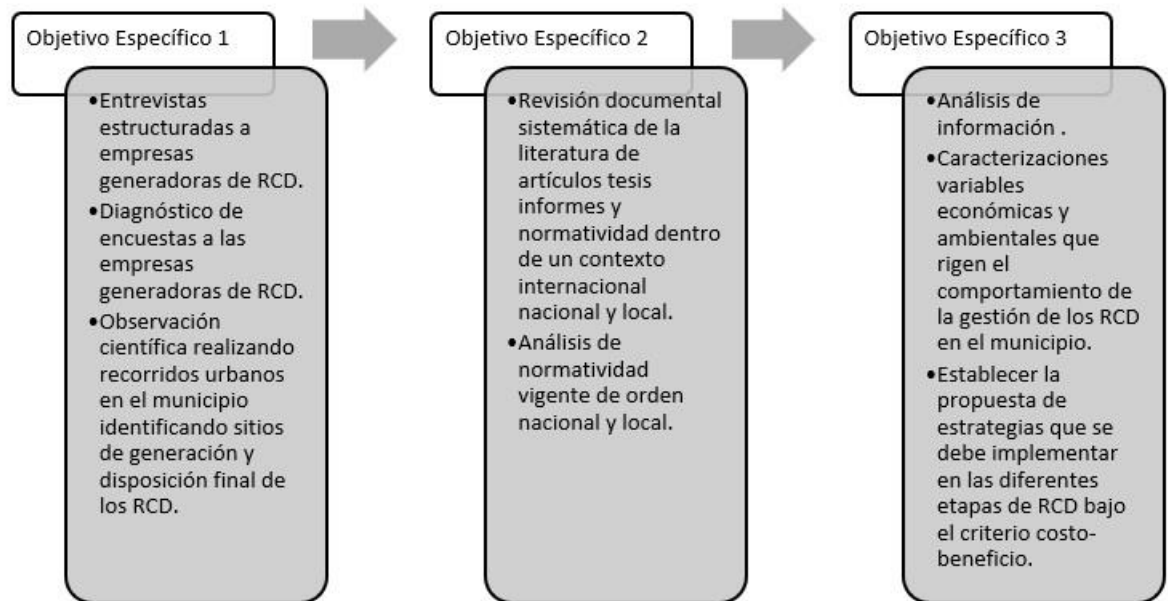


Ilustración 6: Metodología Aplicada: Fuente: Autor 2023

5.1 Método

Esta tesis adoptó un enfoque metodológico inductivo. A partir del diagnóstico realizado, se recolectaron datos que permitieron al investigador comprender la perspectiva de los constructores con respecto a los posibles lineamientos ambientales utilizados en los proyectos de infraestructura urbana en el municipio de Arauca. Estos datos fueron analizados para desarrollar una gestión urbana más efectiva que permita la reutilización de los RCD.

5.2 Población Y Muestra

El presente estudio tiene como población todas las obras de infraestructura activas en el municipio de Arauca, incluyendo tanto proyectos públicos como privados. Con el fin de garantizar la confidencialidad de las empresas y proyectos, se evitará brindar detalles específicos en el trabajo de grado. Se realizó una selección rigurosa de la muestra, que está compuesta por un total de 18 proyectos donde se encontraron diferentes fases constructivas como: descapote y excavación,

demolición y desmonte, cimentación, mampostería, entre otras; el análisis de la información se realizó en el periodo comprendido entre enero y junio del 2022; el tipo de proyecto que se tuvo en cuenta fueron viviendas unifamiliares, multifamiliares y mejoramiento de la malla vial; en promedio el área de metros construidos para las viviendas fue de 400 m²; de igual manera la malla vial representó el mejoramiento de 400 m. Se utilizaron técnicas estadísticas apropiadas para garantizar la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación como se describe en la sección a continuación, con el objetivo de proporcionar una visión precisa y completa del manejo de los RCD en el municipio de estudio.

5.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos, se emplearon diversas técnicas como la técnica de fichas, fichas fotográficas, entre otras. Además, se utilizó la ficha mixta, ficha resumen y ficha personal. Para la revisión documental sistemática, se examinó la literatura académica, normativa e institucional de orden público, identificada a través de bases de datos electrónicas académicas. La información obtenida fue categorizada dentro del contexto teórico para la gestión ambiental urbana. Entrevistas y encuestas estructuradas

Entrevistas y encuestas estructuradas

Entrevistas y encuestas estructuradas a empresas generadoras de los residuos, observación científica realizando recorridos urbanos describiendo del manejo de los residuos urbanos en el municipio (Orellana López, D. M., & Sánchez Gómez, M. C. 2006).

Revisión documental sistemática

La revisión sistemática es una investigación retrospectiva, secundaria e integrativa que combina estudios que investigan la misma pregunta. Además, hay dos tipos de revisión sistemática: cuantitativa o metaanálisis y cualitativa (Beltrán G., Ó. A., 2005).

Las revisiones sistemáticas proveen una síntesis racional de la investigación básica. Supera las limitaciones de las revisiones narrativas al aplicar estándares rigurosos a la investigación

secundaria (donde la unidad del estudio son otros estudios de investigación) como si fueran aplicados a estudios de investigación primaria (estudios originales) (Beltrán G., Ó. A., 2005).

Se determinó una serie de criterios para la selección de documentos para su revisión teniendo, además filtrando tipo de estrategia, título del documento, país y ciudad, descripción, año, análisis de la metodología, aplicabilidad en Arauca y viabilidad costo-beneficio. (ver Tabla 1).

Estrategia	Título	País/Ciudad	Descripción	Url	Año	Análisis De Metodología	Aplicabilidad Contexto Arauca Si, No, ¿Por Qué?	Viabilidad Relación Costo-Beneficio
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1: Base de datos para revisión de metodología. Fuente: Autor 2023

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1.1 Resultados y análisis de entrevistas

Con el fin de evaluar el manejo de los residuos de construcción y demolición en las obras civiles y sus efectos en el municipio de Arauca, se llevó a cabo una investigación mediante encuestas y entrevistas dirigidas a los actores principales involucrados en la gestión de los RCD, incluyendo generadores y entidades. Para garantizar que el tamaño de la muestra en las encuestas fuera adecuado, se aplicó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 N P Q}{(N - 1)E^2 + Z^2 P Q}$$

(Bencardino, C. 2012).

En esta investigación, el valor de N se refiere al tamaño de la población o universo de posibles encuestados, que en este caso fue de 18, correspondiendo a la población de obras ejecutadas por entidades públicas y privadas que intervienen en el manejo o gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), así como generadores de estos residuos, es decir, constructoras. Por otro lado, la constante Z, que depende del nivel de confianza asignado, también fue considerada en el estudio. Los valores k más utilizados y sus respectivos niveles de confianza fueron evaluados en el análisis de

datos.

Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%

La presente investigación utilizó un valor de $k = 1.65$ y se fijó un margen de error muestral del 10% (e). La proporción de individuos que poseen la característica de estudio en la población (p) se supuso en un 50%, al igual que la proporción de individuos que no la poseen (q). Cabe mencionar que el tamaño de la muestra utilizado en este estudio fue de 18 encuestas (n), ya que este fue el tamaño de la población de obras ejecutadas por entidades públicas y privadas involucradas en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en el momento de la realización del estudio.

La Secretaría de Planeación Municipal proporcionó los datos necesarios para determinar el tamaño de la muestra. Las empresas participantes en la investigación se ofrecieron voluntariamente para responder las encuestas y llevar a cabo las entrevistas, tal como se detalla en los anexos 1 y 2. Durante el transcurso de la investigación, se llevó a cabo una entrevista con un representante autorizado de una empresa que tenía conocimientos sobre temas ambientales. El propósito de esta entrevista fue obtener información detallada sobre el manejo de los RCD. Se empleó un cuestionario estructurado para dirigir la conversación y garantizar que se abordaran todos los temas relevantes.

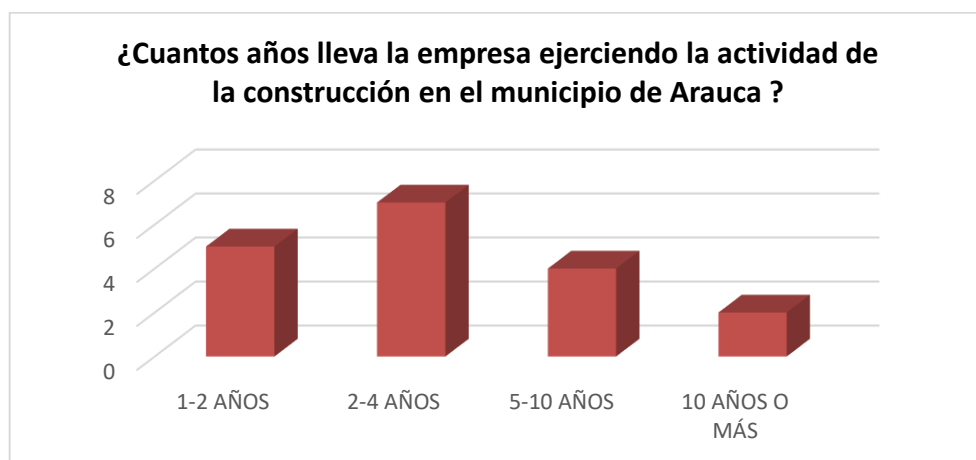


Ilustración 7: Años ejerciendo actividad de la construcción. Fuente: Autor 2023

De las 18 empresas entrevistadas el 38,88 % lleva ejerciendo la actividad de la construcción entre 2-4 años y el 27,77% ejerce la actividad entre 1-2 años (ilustración 7), esto significa que en el

municipio de Arauca las nuevas empresas son el motor de la economía en el sector de la construcción.

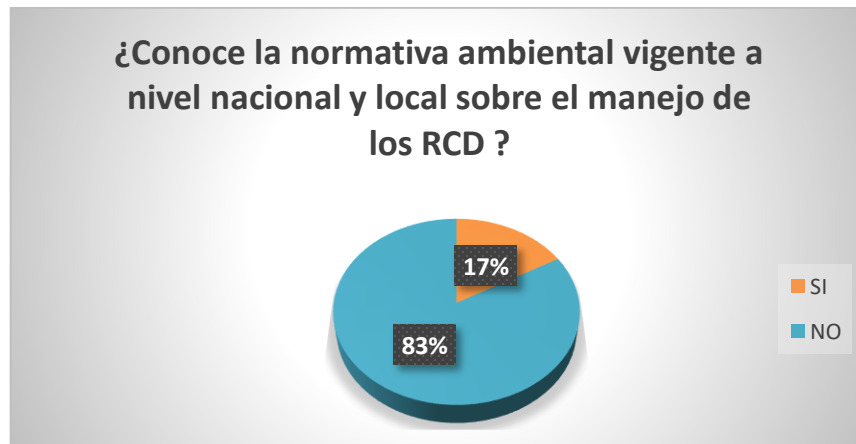


Ilustración 8: Conocimiento de la normatividad vigente. Fuente: Autor 2023

De acuerdo con las 18 empresas entrevistadas el 83% (Ver Ilustración 8), tiene desconocimiento sobre la normatividad vigente a nivel nacional y local sobre los RCD, Lo que indica que es necesario mejorar la difusión y divulgación de la normativa para que las empresas puedan cumplir con sus obligaciones en cuanto a la gestión de los residuos de construcción y demolición. Es importante que se realicen campañas informativas y de sensibilización dirigidas a las empresas y a la población en general para que conozcan la importancia de la gestión adecuada de los RCD y cómo pueden contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Además, el resultado de la entrevista sugiere que las empresas necesitan más orientación y apoyo técnico para poder cumplir con la normativa. El 56% de las empresas encuestadas no tienen un plan de gestión de RCD (Ver Ilustración 19), lo que indica que pueden carecer de los conocimientos y herramientas necesarios para implementar medidas efectivas de gestión de residuos. La implementación de un plan de gestión de RCD puede ser un factor clave para garantizar que las empresas cumplan con la normativa y reduzcan su impacto ambiental.

En resumen, la entrevista muestra la importancia de mejorar la divulgación y el apoyo técnico en cuanto a la gestión de RCD. Es necesario aumentar la conciencia sobre la normativa y proporcionar orientación práctica para que las empresas puedan cumplir con sus obligaciones en cuanto a la gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición.

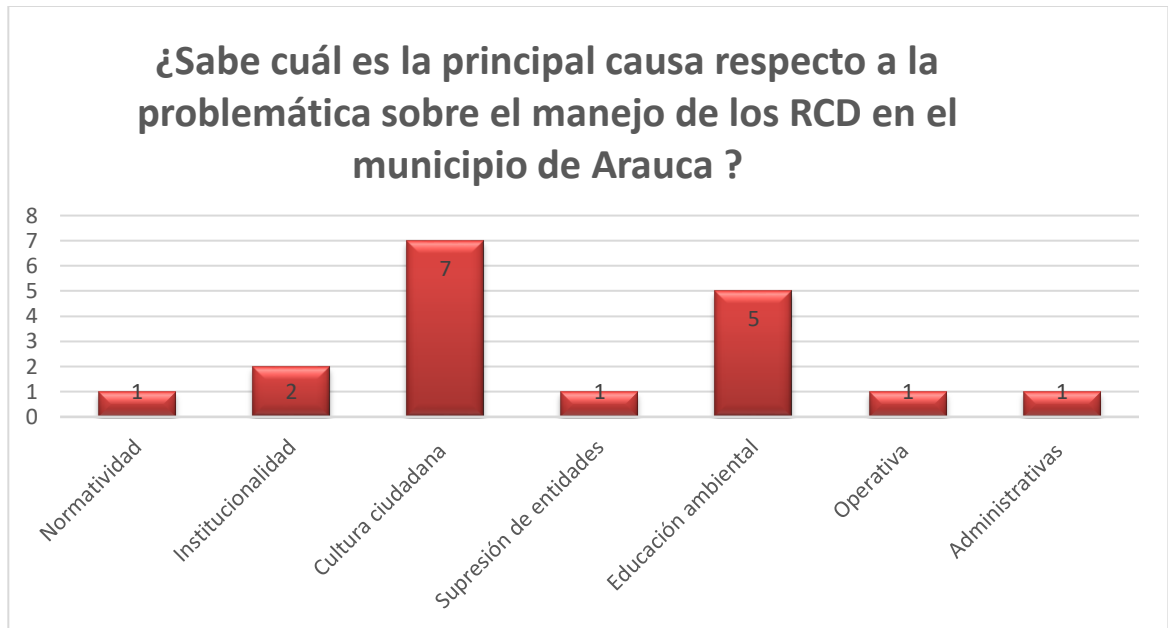


Ilustración 9: Principal Causa de la problemática RCD. Fuente: Autor 2023

El 38,88% de las empresas entrevistadas toman como causa principal la falta de cultura ciudadana sobre la problemática del manejo del RCD (Ver Ilustración 9), en cambio 5,55 % de las empresas asume que el manejo administrativo de sus empresas no es causante de la problemática de los RCD a pesar de que la mayoría de las empresas desconocen la normatividad vigente.



Ilustración 10: Aplicaciones municipales Fuente: Autor 2023

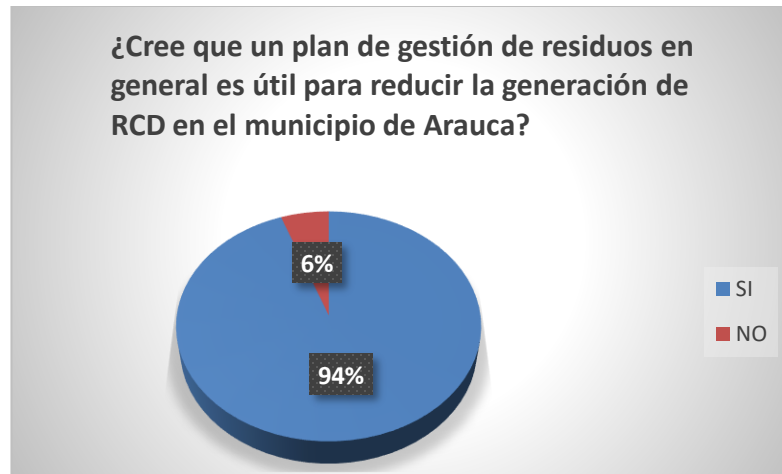


Ilustración 11: Aplicación de un plan de gestión RCD Municipal. Fuente: Autor 2023

Es importante tener en cuenta que el 83% de las empresas entrevistadas pueden no estar al tanto de la Resolución 1257 de 2021 y de la importancia del aprovechamiento de los RCD. Por ello, la administración municipal debe trabajar en la divulgación de la normativa y ofrecer canales de diálogo y colaboración con las empresas para construir un enfoque conjunto y abordar los problemas en conjunto (Ver ilustración 10). Además, el 94% de las empresas considera fundamental la aplicación de un plan de gestión municipal para los RCD (Ver ilustración 11), lo que muestra la importancia de la colaboración entre el sector público y privado para promover la sostenibilidad, la responsabilidad compartida y el bienestar de la comunidad.

Es importante resaltar que la Resolución 1257 de 2021 establece que los generadores de RCD deben dar un aprovechamiento mínimo del 5% en peso de los residuos generados en municipios de cuarta categoría como lo es Arauca. Esta normativa es importante para garantizar la gestión adecuada de los RCD, sin embargo, también es importante tener en cuenta que las autoridades ambientales pueden fijar objetivos superiores a este porcentaje, dependiendo de las condiciones particulares de cada región. Además, los gestores de RCD deben cumplir con una serie de requisitos técnicos y ambientales para garantizar la gestión adecuada de estos residuos, lo que implica un compromiso tanto del sector público como del sector privado para alcanzar los objetivos de la normativa y promover la sostenibilidad en el manejo de los residuos.

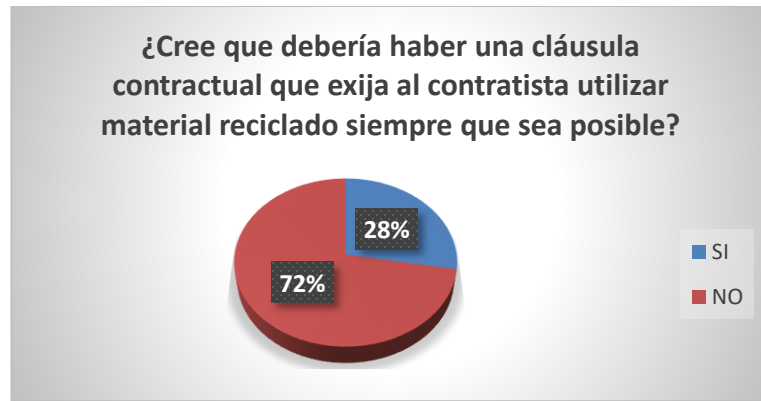


Ilustración 12: Cláusula para contratista. Fuente Autor 2023



Ilustración 13: Satisfacción con los procesos de reciclaje Fuente: Autor 2023

El 72% de las empresas entrevistadas consideran que no es pertinente implementar una cláusula que les exija utilizar material reciclado siempre y cuando sea posible (Ver Ilustración 12), consideran que es muy prematuro tomar esta medida en el municipio o a su vez claridad respecto a si nuevos materiales hechos de reciclaje o reutilizar materiales in situ. Por otra parte, el 89% de estas empresas no están satisfechas con los procesos de reciclaje de RCD en el municipio (Ver Ilustración 13), puesto que no existe mercado, ni políticas ni nada para tomar acciones y medidas al respecto.



Ilustración 14: Evaluaciones de sitios Fuente: Autor 2023

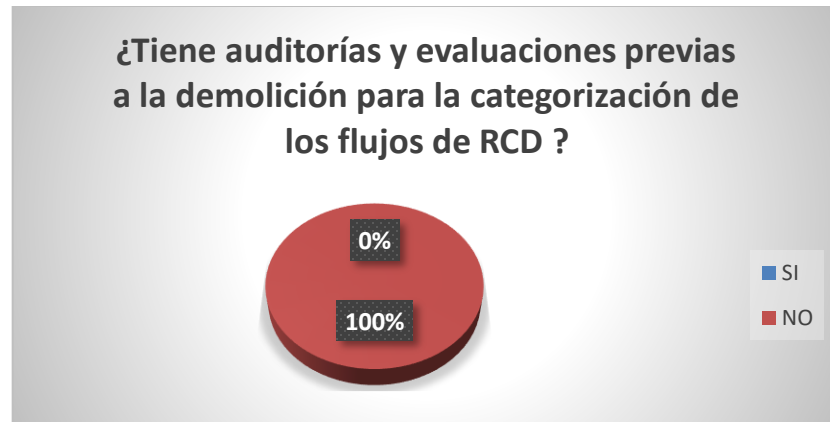


Ilustración 15: Auditorías previa a la demolición. Fuente: Autor 2023

El 100% de las empresas entrevistadas no cuentan con evaluaciones de sitios dedicados a la planificación y valoración de los RCD (Ver Ilustración 14), de igual manera el 100% de las empresas no tienen auditorías previas a la demolición para la categorización de los flujos de RCD (Ver Ilustración 15), significa que la actividad de la construcción se hace de manera tradicional, sin contar fases y etapas posteriores, cumpliendo estrictamente lo ambiental, pero sin miras a un posterior beneficio económico y ambiental, dado por el contexto municipal y/o falta articulación de los actores.

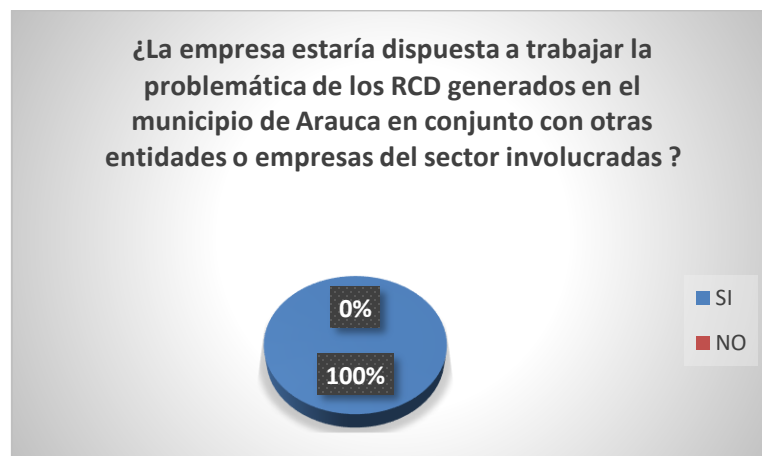


Ilustración 16: Disposición para solución RCD Fuente: Autor 2023

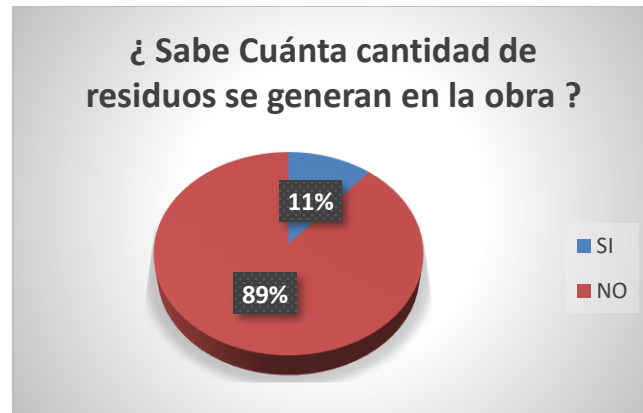


Ilustración 17: Conocimientos de RCD generados en obra Fuente: Autor 2023

El 100% de las empresas están dispuestas a trabajar con la problemática de los RCD (Ver Ilustración 16), Da a entender que a pesar de no conocer y/o manejar ciertos procesos frente a los residuos de RCD, existe una disposición de estas empresas por trabajar en conjunto con todos los actores involucrados en el municipio de Arauca. Por otra parte, el 89% no saben que residuos de RCD se generan en la obra (Ver Ilustración 17), es preocupante que el 89% de las empresas no sepan qué residuos de RCD se generan en sus obras porque esto podría tener un impacto negativo en el medio ambiente, llevar al incumplimiento de la normativa, generar pérdida de oportunidades y promover una falta de responsabilidad en la gestión de los residuos. Es importante que las empresas sean conscientes de los residuos de RCD que se generan en sus obras y colaboren activamente en la gestión sostenible de sus residuos.

6.1.2 Resultados y análisis de encuesta

Se realizó un cuestionario en sitio de la obra, en el cual el representante de la empresa fue informado y aclarado sobre las preguntas antes de iniciar y pudo contestar sin ningún límite de tiempo. El cuestionario incluyó finalmente 2 secciones A y B. La parte A consta de 10 preguntas, las cuales reflejan el conocimiento y/o manejo como generador de RCD que tienen. La parte B busca poder cuantificar que materiales y cantidades de RCD se generan en la obra. La encuesta se llevó a cabo con el fin de verificar la información proporcionada a través de la entrevista de la sección 6.1.1.



Ilustración 18: Conocimiento de la normatividad vigente Fuente: Autor 2023



Ilustración 19: Programa de manejo RCD en la obra Fuente: Autor 2023

Los resultados de las encuestas realizadas indican que realmente si existe una falta de conocimiento y aplicación de la Resolución 1257 del 2021 por parte de la mayoría de las empresas encuestadas en obra, con un 83% de las mismas indicando que no tienen conocimiento ni aplican esta normativa. Esto puede indicar fallas de muchos orígenes entre ellas: falta de información y formación en cuanto a la gestión adecuada de los RCD y la necesidad de implementar prácticas efectivas de gestión de residuos en el sector de la construcción.

Además, se observó que el 56% de las empresas encuestadas no cuentan con un plan de gestión de RCD. Esto puede ser una señal de falta de compromiso y de una gestión inadecuada de los residuos generados por las empresas constructoras. En consecuencia, la implementación de planes de gestión de RCD puede ser una medida efectiva para garantizar que las empresas cumplan

con las normas y regulaciones ambientales y reduzcan su impacto en el medio ambiente.

En general, estos resultados sugieren la necesidad de una mayor sensibilización y educación sobre la importancia de la gestión adecuada de los RCD, así como la implementación de planes y prácticas efectivas de gestión de residuos en el sector de la construcción.

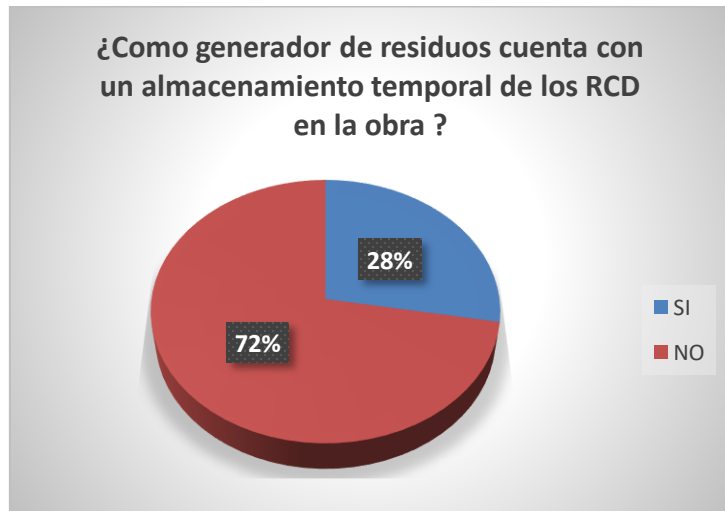


Ilustración 20: Conocimiento de gestores RCD en el municipio Fuente Autor 2023

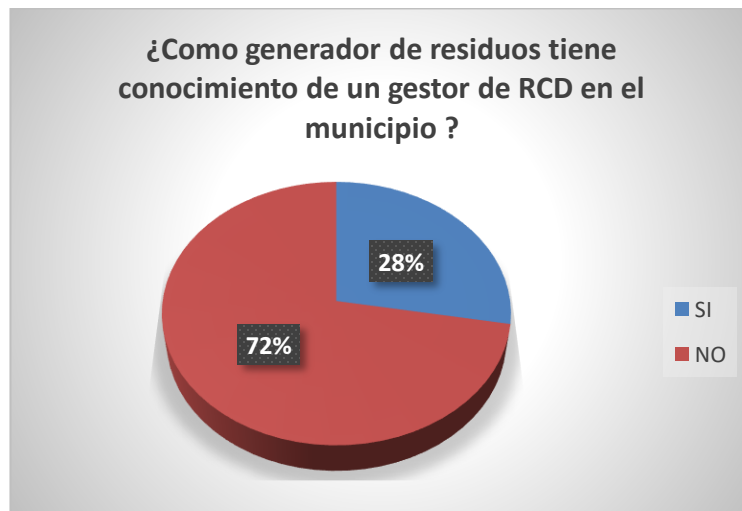


Ilustración 21: Almacenamiento Temporal RCD en obra Fuente Autor 2023

Se determinó que el 72 % de las empresas no tienen conocimiento sobre gestores de RCD en el municipio (Ver Ilustración 20), es preocupante que el 72% de las empresas no tenga conocimiento sobre gestores de RCD en el municipio porque esto podría tener un impacto negativo en el medio

ambiente, llevar al incumplimiento de la normativa, generar pérdida de oportunidades y promover una falta de responsabilidad en la gestión de los residuos. Es importante que las empresas implementen la normatividad 1257 del 2021 para que tengan herramientas y así colaboren activamente con los gestores de RCD en el municipio en una gestión sostenible. Igualmente, el 72 % no tienen un almacenamiento temporal (Ver Ilustración 21). Se evidenció que el 72% de las empresas no tengan un almacenamiento temporal de RCD en sus obras, esto es alarmante porque esto trae impactos negativos en el medio ambiente, llevar al incumplimiento de la normativa, generar pérdida de oportunidades y promover una falta de responsabilidad en la gestión de los residuos. Es importante que las empresas adopten e instalen almacenamiento temporal de RCD en sus obras para clasificar y gestionar adecuadamente sus residuos.



Ilustración 22: Donación de RCD Fuente: Autor 2023



Ilustración 23: Depósitos de RCD en sitios autorizados y no Fuente Autor 2023

El 83% de las empresas han donado los RCD a terceros o a la comunidad (Ver Ilustración 22), por otra parte, el 50 % han depositado los RCD en sitios no autorizados. (Ver Ilustración 23). Se ha evidenciado que la contribución por parte de las empresas a la problemática es alarmante puesto que en el contexto cultural de Arauca estos RCD se usan como material de relleno para viviendas, lotes. Es por lo que las empresas para no tener gastos o costes de transporte y/o recolección de RCD a gestores prefieren donarlo o depositarlos en sitios no autorizados es decir en lotes y predios privados.



Ilustración 24: Clasificación de RCD Fuente Autor 2023



Ilustración 25: Capacitación de trabajadores en RCD Fuente Autor 2023

El 89% de las empresas no saben o no tienen conocimiento de la clasificación de los RCD (Ver Ilustración 24), es importante que las empresas se familiaricen y clasifiquen los RCD para colaborar activamente en la gestión sostenible de los residuos en el municipio ya que la falta de clasificación aumentaría problemas medio ambientales, llegar a incumplir la norma y por ende sanciones.

Además, el 67 % de las empresas no han capacitado a sus trabajadores sobre la gestión y generación de los RCD (Ver Ilustración 25). La capacitación de los trabajadores es fundamental para asegurar una adecuada gestión de los residuos, ya que estos pueden estar en contacto directo con los RCD durante sus actividades comerciales. Por lo tanto, es importante que las empresas proporcionen capacitación adecuada y recursos a sus trabajadores para garantizar una gestión sostenible de los residuos y reducir el impacto ambiental de sus actividades comerciales.

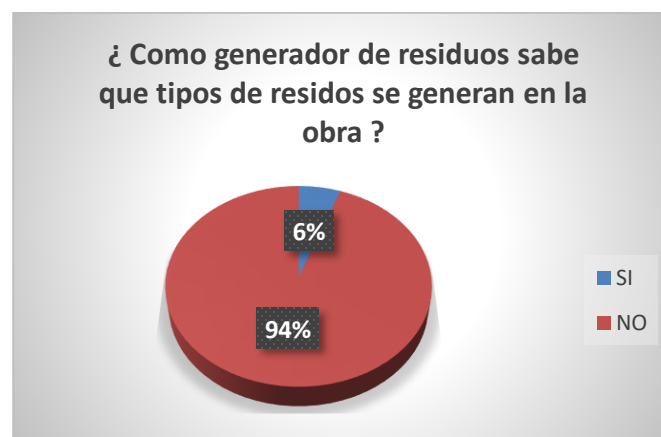


Ilustración 26: Tipos de RCD generados Fuente: Autor 2023



Ilustración 27: Separación y selección de RCD en obra Fuente Autor 2023

Por otra parte, se pudo diagnosticar que el 94% de las empresas no saben que tipos de RCD son generados en obra (Ver Ilustración 26), además, el 83 % de las empresas no realizan separación y selección de los RCD (Ver Ilustración 27). Esto conlleva a que en el municipio los gestores tengan una mala o nula gestión de los RCD haciendo que estos se mezclen con otros residuos ya sean ordinarios o de carácter peligroso terminando en las celdas de disposición final del relleno sanitario a fin de que la problemática se incremente sin tomar acciones pertinentes.

Así mismo, con el fin de determinar cuáles materiales de RCD se generaban en obras y cuántas cantidades eran entregadas a gestores o en su disposición final, se realizó una observación para clasificar los RCD en cada una de las obras (ver ilustración 28). Es importante aclarar para la ilustración 28 que la cantidad de RCD son aproximados, ya que en las obras ninguna empresa cuenta con herramientas, equipos y registro de datos para llevar control de los volúmenes, sin embargo los volúmenes representados fueron entregadas al gestor el cual se verificó en los registros del relleno sanitario.

Los RCD no susceptibles de aprovechamiento por su estado, por sus características de peligrosidad y contaminados no fueron generados por ninguna de las 18 empresas. (ver ilustración 28). Por otra parte, un total de 5 Toneladas (t) de RCD no pétreos fueron generadas por todas las 18 empresas de las cuales 4 Toneladas (t) fueron entregada al gestor es decir el 80% del total de los residuos, el otro 20 % termino en disposición final en el relleno sanitario mezclado con otros residuos. (ilustración 27). En una sumatoria total las 18 empresas encuestadas producen 56 Toneladas (t) de

RCD pétreos, pero solo el 8,9% de los RCD son entregadas a un gestor, el 91,1% son donadas a la comunidad. (ilustración 28).

El 4,3 % de los residuos producto de excavación son entregadas a gestores es decir 2 Toneladas (t) de igual manera el 95,7% de estos son regaladas a la comunidad que la soliciten. (ilustración 28). Finalmente, cabe destacar que la mayoría de los residuos generados por la cimentación son utilizados en terrenos y lotes para futuras construcciones, siendo solo el 20% de estos residuos, es decir, 20 Toneladas (t), entregadas a gestores autorizados (ver ilustración 28).

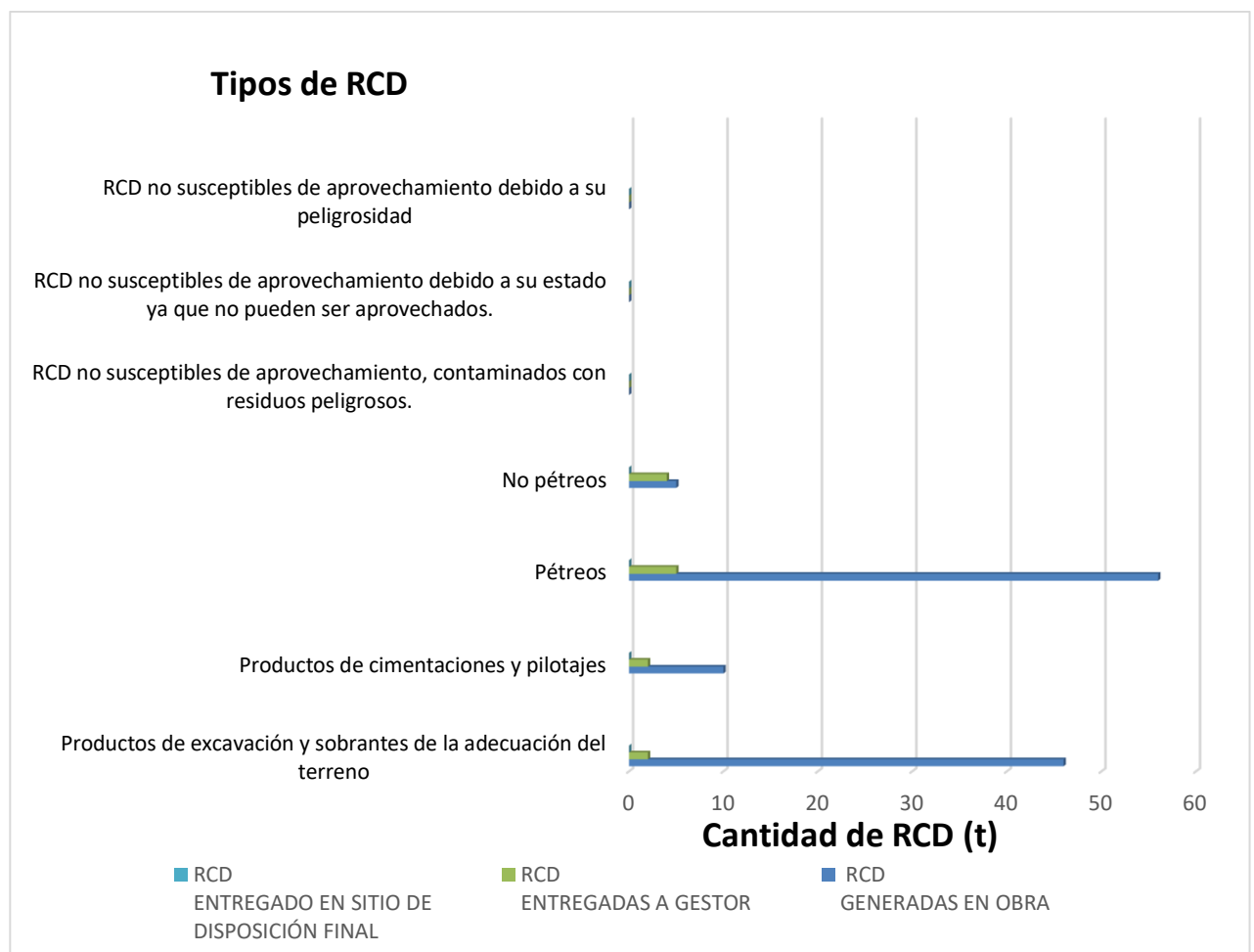


Ilustración 28: Tipos y cantidades de RCD generados en todas las obras durante el periodo de Enero- Junio 2022. Fuente: Autor 2023

6.1.3 Observación científica

Se realizó mediante la observación científica, recorridos dentro del área municipal con el fin de poder comprobar el análisis hecho a través de las entrevistas y encuestas. Primero se ubicó las 18 obras en el casco urbano, posteriormente se detalló lo que hacen en la obra con la generación, gestión

y depósitos de los residuos. (Ver ilustración 29).

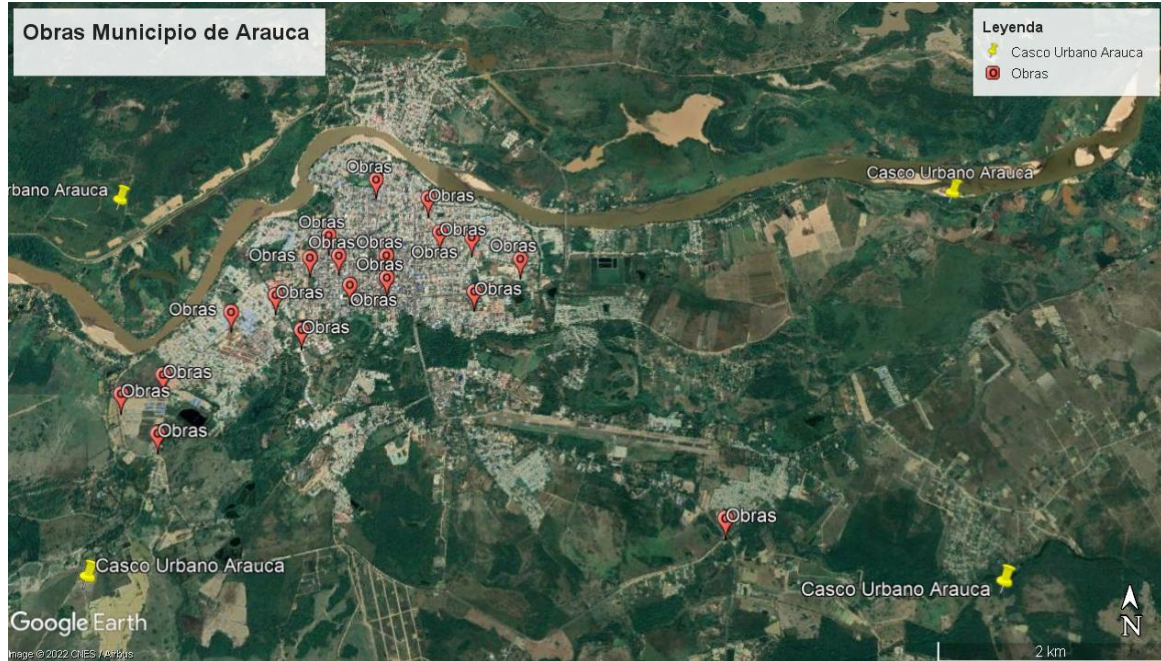


Ilustración 29: Localización de obras activas Municipio de Arauca Fuente: Autor 2023

Se evidenció que en muy pocas obras cuenta con un almacenamiento temporal de los RCD los cuales se encontraban en un espacio muy cercano a uno de los accesos de la obra sin señalización debida, (Ver ilustración 30).



Ilustración 30: Almacenamiento temporal RCD en obra Fuente: Autor 2023

Además, en ciertas obras los RCD no estaban clasificados, ni separados, acumulado en una montaña, mezclados con residuos ordinarios, (Ver ilustración 31).



Ilustración 31: RCD Sin selección y separación Fuente Autor 2022

También se pudo identificar en ciertas zonas del municipio los RCD, son dejados en los andenes obstruyendo el paso peatonal, posteriormente la comunidad es la encargada de la recolección de los RCD y son utilizadas para rellenar terrenos, (Ver ilustración 32).



Ilustración 32: RCD depositados en lugares no autorizado en lotes para la cimentación de edificaciones unifamiliares.

Durante los recorridos por el casco urbano, se pudo observar que muchos de los RCD son dispuestos de manera final en las zonas verdes urbanas del municipio, lo que ha resultado en la invasión de estas áreas verdes y su transformación en asentamientos irregulares. Esta situación se ha visto agravada por la expansión urbana descontrolada, en parte debido a la migración venezolana. La consecuencia de esta situación es la amenaza al equilibrio medioambiental y social del municipio. Para abordar esta problemática, se ha realizado un mapeo de estas zonas invadidas (ver ilustración 33).

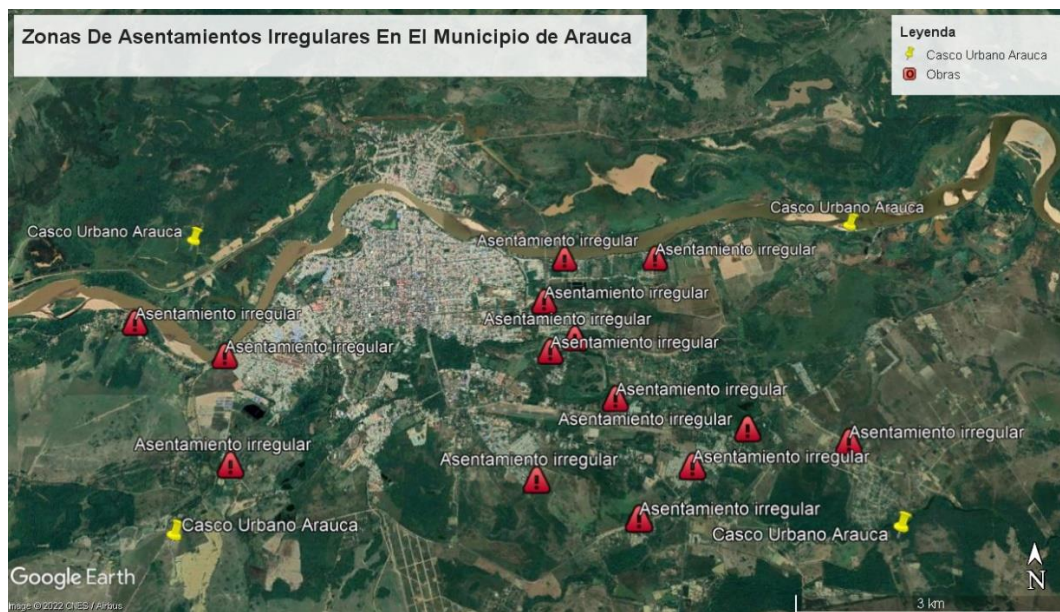


Ilustración 33: Asentamientos irregulares municipio de Arauca Fuente: Autor 2022



Ilustración 34: Zonas verdes urbanas afectadas por asentamientos irregular Fuente: Autor 2022

La empresa privada de Aseo de Arauca SA ESP (EMAAR SA ESP) es el único gestor de residuos en el municipio de Arauca, encargada de la recolección y transporte de los RCD. A pesar de que la tarifa de la empresa varía en función de las toneladas a depositar, se ha establecido una política de tarifas fijas para todos los clientes, independientemente de la cantidad de RCD que se depositen. Este enfoque busca incentivar a los generadores de residuos a reducir la cantidad de RCD que producen, fomentando prácticas sostenibles y responsables. Los RCD recolectados son depositados en el relleno sanitario LAS GARZAS, operado por EMAAR SA ESP, garantizando una gestión adecuada y segura de los residuos en cumplimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias aplicables.

El relleno sanitario cuenta con licencia ambiental aprobada mediante Resolución No. 700.41.14.020, expedida por CORPORINOQUIA el 03 de marzo de 2014, el cual Tiene una vigencia de 15 años a partir de su expedición, (Ver ilustración 35).

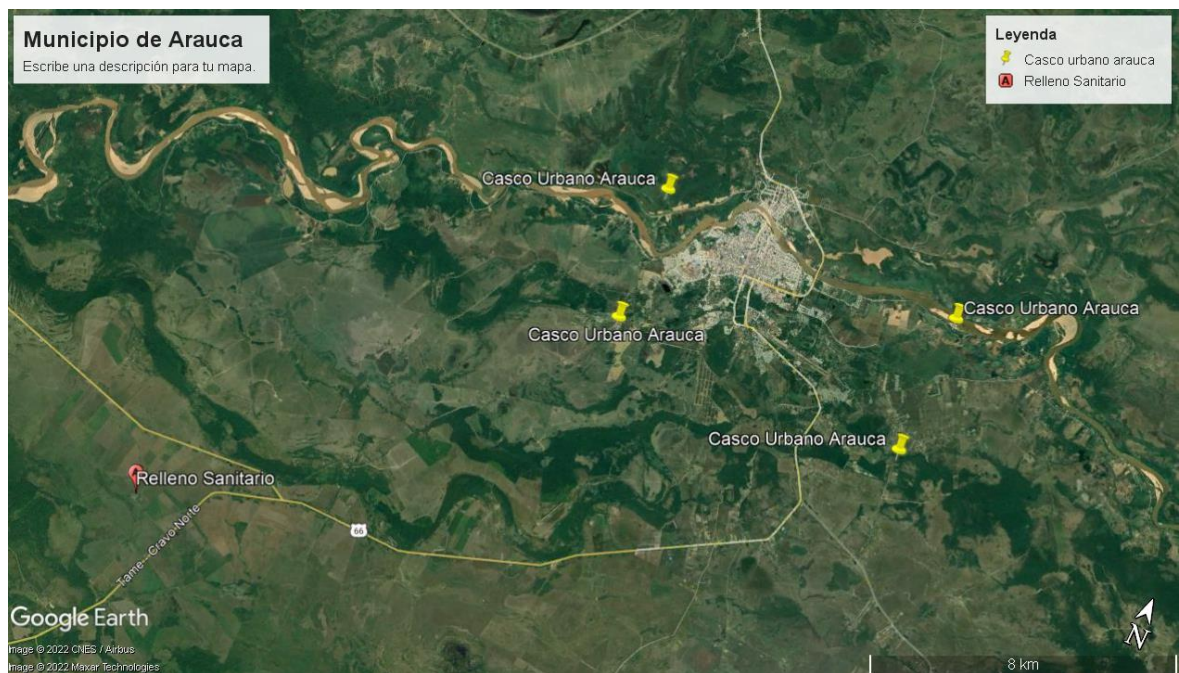


Ilustración 35 Localización del relleno sanitario las Garzas. Fuente: Autor 2023.

Durante la visita al relleno sanitario se preguntó en qué sector se hacía el depósito o almacenamiento de los RCD. Se ha encontrado que no existe una zona designada para el tratamiento, almacenamiento, almacenamiento y disposición de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que es sorprendente. Además, se ha observado que los pocos RCD que llegan al sitio son empleados para mejorar la carretera de acceso, (Ver ilustración 36). Ya que, en épocas de lluvia, se vuelve un problema para la movilidad de los carros compactadores y la maquinaria a disposición. En dado caso que llegue a existir volúmenes considerados de RCD la Disposición de estos RCD son aprovechados anteriormente mencionados ya que en las celdas del relleno sanitario la licencia vigente contempla solo ordinarios y convencionales. También se pudo verificar que el relleno sanitario cuenta con una báscula que pesa tanto volquetas como camiones compactadores para llevar el registro de cuantas toneladas de residuos sólidos son depositadas, esta bascula a su vez se utiliza cuando llegan volquetas con RCD.



Ilustración 36: Relleno Sanitarios Celdas de disposición de RCD y vía de acceso

6.2 Revisión documental sistemática

En las siguientes tablas se exponen los resultados de una revisión documental sistemática que ha identificado conceptos, metodologías y estrategias de gestión de RCD. Se ha llevado a cabo una contextualización de estas estrategias en el municipio de Arauca, analizando y seleccionando cuidadosamente aquellas que se ajustan al marco internacional actual para comprender cómo los países manejan esta problemática y los beneficios socioambientales que se derivan de sus procesos. Además, se ha evaluado la viabilidad de estas estrategias específicamente en el contexto del municipio de Arauca.

Tabla 2: **ESTRATEGIA 1:** Estimación y Cálculo de la Generación de RCD (De Melo, 2011), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>Durante los años 2006 y 2007, en el Área Metropolitana de Lisboa (AML), se emplearon tres fuentes de datos para estimar la cantidad de RCD generados. Estas fuentes incluyeron la actividad constructiva, desglosada en dos grupos según el tipo de obra, el movimiento de carga de residuos por empresas de recolección y transporte, y la disposición de desechos en vertederos ilegales como indicador parcial de la disposición ilegal. Con el objetivo de obtener una estimación certera de la generación de RCD, se emplearon referencias teóricas y se realizaron cálculos para cada ubicación geográfica.</p>	<p>Una estrategia viable para la gestión eficaz de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es la Estimación y Cálculo de su Generación a lo largo de un periodo determinado, ya que ha demostrado ser útil para la elaboración de estimaciones de generación de RCD según el tipo de proyecto. Además, permitiría determinar la presencia significativa de RCD en la región bajo estudio.</p> <p>En el municipio de Arauca, se desconoce el volumen de RCD generado mensualmente y los resultados de las encuestas (ver ilustración 17, 22 y 23) indican que la mayoría de las empresas (89%) no sabe qué tipos de RCD generan, el (83%) ha donado sus residuos a terceros y el (50%) ha depositado sus RCD en lugares no autorizados. Esto sugiere que la ciudad no está debidamente preparada para hacer frente a estos residuos, lo que a su vez indica una transformación en entornos urbanos debido a la gran cantidad de RCD en el municipio.</p> <p>Por lo tanto, la implementación de la estrategia de Estimación y Cálculo de la Generación de RCD permitiría obtener datos más precisos sobre la intensa generación de RCD, lo que permitiría un seguimiento y control del proceso desde la identificación del indicador de generación de residuos según el tipo de obra (nueva o remodelación), los movimientos de carga hasta la recolección, transporte y disposición final de los residuos.</p> <p>En resumen, el objetivo de la estrategia sería la zonificación de los espacios urbanos propensos a la invasión o vertederos ilegales. Asimismo, impulsaría la participación del sector privado (agentes de transporte, recepción y tratamiento) que ve en las actividades de gestión de RCD una oportunidad de negocio.</p>

Tabla 3: **ESTRATEGIA 2:** Jerarquización de los RCD (Zhang et al., 2022), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>La finalidad de la investigación consistió en realizar una evaluación exhaustiva del concepto de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y sus problemas de gestión de manera sistemática. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de 97 estudios de investigación relevantes que se enfocaron en la gestión efectiva de RCD. Durante la revisión, se identificaron categorías principales que afectan la gestión de RCD: la jerarquía de gestión de RCD y los factores efectivos que contribuyen a la gestión de RCD. Estos</p>	<p>La gestión eficaz de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en el municipio de Arauca implica extraer el mayor beneficio práctico posible de los productos y generar la menor cantidad de residuos. Aunque muchas empresas no conocen la cantidad de residuos que generan en sus obras (ver ilustración 26), se deben considerar la jerarquía de gestión de RCD y los factores efectivos que contribuyen a su gestión, como las estrategias de reducción, reutilización y reciclaje. No obstante, en el contexto municipal pueden surgir superposiciones, como la necesidad de contar con un plan de gestión de RCD</p>

factores se examinaron detalladamente y los resultados obtenidos se analizaron para aclarar las prácticas actuales y futuras de la gestión de RCD desde una perspectiva tanto académica como práctica.	en cada obra (ver ilustración 19) o la identificación de los residuos generados (ver ilustración 26). En última instancia, la estrategia de jerarquización permitiría determinar el tipo de tratamiento que debe darse a cada residuo, teniendo en cuenta las exigencias legales, ambientales, económicas, sociales, de salud y otras variables que afectan directa o indirectamente al tratamiento de los residuos.
--	--

Tabla 4: **ESTRATEGIA 3: Recuperación de recursos, Reutilización, Reciclar, Construcción circular** (Ghaffar et al., 2020), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
En este estudio se utilizó un enfoque de método mixto para investigar las prácticas actuales de gestión de RCD y la construcción circular en el Reino Unido, a través de encuestas y entrevistas a partes interesadas. La investigación se centró en obtener la opinión de los encuestados sobre la gestión de RCD, la existencia de directivas gubernamentales, programas de investigación e innovación en RCD, impuestos sobre vertederos, entre otros aspectos. También se analizaron conceptos como la construcción de bucle y la economía circular, y se centraron en problemas de procesamiento y clasificación de RCD. El objetivo de la investigación fue establecer visiones comunes y fomentar el comportamiento sostenible en todo el sector para mejorar la circularidad en cada nuevo proyecto. Este enfoque es necesario en Arauca para adoptar prácticas sostenibles y reducir los residuos en la construcción.	En Arauca, la implementación de la economía circular es necesaria debido a la falta de planes de gestión de RCD por parte de las empresas constructoras y la falta de conocimiento sobre la generación y manejo de estos residuos (ver ilustración 19, 20, 23, 26). Es importante establecer colaboraciones efectivas entre los formuladores de políticas municipales, la alcaldía y las empresas constructoras para implementar estrategias de gestión de RCD (ver ilustración 10, 13). La aplicación de la jerarquía de gestión de RCD (reducir, reutilizar o reciclar) y la iniciativa 7R (rediseñar, reducir, reutilizar, reparar, renovar, recuperar y reciclar) puede disminuir significativamente los residuos generados y mejorar la eficiencia energética a mediano y largo plazo en la construcción de edificios.

Tabla 5: **ESTRATEGIA 4: Planta fija de reciclaje de RCD** (Souza, 2022), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
El presente estudio investiga la cantidad y composición de los RCD generados en el área urbana de Rio Branco y propone una planta de reciclaje para la ciudad. Se realizaron visitas periódicas y sistemáticas a obras para formular índices representativos para la generación y composición del RCD. Estos índices apoyaron un análisis de factibilidad económica para la planta de reciclaje, así como una discusión sobre el impacto ambiental de esta planta en el vertedero inerte utilizado actualmente en Rio Branco.	La metodología propuesta busca determinar la viabilidad de una planta fija de reciclaje de RCD en Arauca. Para lograrlo, es necesario analizar los índices de generación de RCD y determinar si son adecuados para reutilizar o reciclar mediante ensayos de laboratorio. Además, se debe cuantificar las fases de construcción practicadas en la ciudad para tener una imagen realista de la situación (Ilustración 17). Sin embargo, en Arauca no se tienen datos exactos sobre la generación de RCD y no existe cantera, lo que dificulta acondicionar plantas existentes de material virgen. A pesar de esto, una planta de tratamiento sería una oportunidad económica y de negocio, generando empleo y ayudando a minimizar los efectos negativos del RCD en el medio ambiente. Aunque el alto costo de una planta nueva y su puesta en marcha son recursos que el municipio no dispone, es necesario tomar medidas para impulsar la economía y fomentar la sostenibilidad en la ciudad.

Tabla 6: **ESTRATEGIA 5:** *Análisis del ciclo de vida de los RCD (Yazdanbakhsh, 2018), Fuente: Autor 2023.*

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>El presente trabajo se centra en cómo deben definirse los sistemas de productos en los estudios de reciclaje de análisis de ciclo de vida (ACV) y qué procesos deben estar dentro de los límites del sistema. Se presenta un marco de ACV de dos niveles para modelar enfoques alternativos de gestión de residuos en los que los impactos se miden y comparan en dos escalas de estrategia y toma de decisiones. Se definen diferentes unidades funcionales para cada nivel, todas las cuales corresponden al mismo flujo de RCD en una cascada de sistemas de productos. Con el único propósito de demostrar cómo se implementa el marco, se presenta un ejemplo ilustrativo, basado en datos reales y una serie de supuestos simplificadores, que compara los impactos de una serie de posibles estrategias de gestión de RCD en la ciudad de Nueva York.</p>	<p>La implementación de un marco de ACV en Arauca es esencial para evaluar cuantitativamente si una estrategia de gestión de RCD es ambientalmente beneficiosa y comparar los impactos de diferentes opciones de gestión. La comparación de alternativas permite visualizar las ventajas ambientales del reciclaje frente al vertido incontrolado (ver ilustración 34). Además, considerar el uso del suelo modifica los resultados obtenidos al evaluar categorías tradicionales de impacto ambiental. Sin embargo, los resultados deben considerar aspectos socioeconómicos y técnicos antes de adoptar una estrategia determinada. En el contexto actual de Arauca, donde los RCD son abandonados cerca de la ciudad, la planificación de la gestión de RCD es crucial para evitar la desertificación y minimizar los efectos negativos en el medio ambiente.</p>

Tabla 7: **ESTRATEGIA 6:** *Demolición selectiva, Evaluación y costo del ciclo de vida de los RCD y sostenibilidad del uso de la tierra. (Iodice et al., 2021), Fuente: Autor 2023.*

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>El estudio se centra en las implicaciones socioeconómicas y ambientales de la gestión de dichos residuos en la región de Campania (Italia), con el objetivo de documentar los beneficios de las acciones de reciclaje y evitar los vertederos. Mediante el uso de datos primarios locales, y complementándolos con datos de la literatura y conjuntos de datos, se han investigado tres escenarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Status Quo, es decir, un escenario de referencia que presenta la gestión actual de los residuos de construcción y demolición en la región; ii) Un escenario de Economía Lineal, considerando el flujo total eliminado en vertederos <p>Un escenario de Mejores Prácticas basado en la implementación de prácticas de demolición selectiva y aumento del reciclaje para la producción de agregados reciclados de alta calidad.</p>	<p>La evaluación de la sostenibilidad de la gestión de RCD en Arauca es esencial para entender el contexto. Investigar tres escenarios diferentes permitiría una evaluación comparativa para determinar cuál sería la mejor opción para el municipio. La implementación de la demolición selectiva y el aumento del reciclaje de materiales generaría beneficios ambientales y sociales, aunque también aumentaría los costos convencionales. Sin embargo, el ahorro por tonelada puede aumentar significativamente en relación con el statu quo, lo que justifica la implementación de herramientas como la contratación pública ecológica y los nuevos objetivos legislativos para fomentar prácticas de gestión más circulares en el sector de la construcción. (Ver ilustración 30)</p>

Tabla 8: **ESTRATEGIA 7: Tratamiento y disposición de RCD no aprovechables** (Amine Laadila et al., 2021), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>Esta revisión analiza las características de los residuos de RCD, los diferentes métodos de tratamiento y mejora tanto para los residuos de RCD como para los residuos de yeso extraídos (RCD no pétreos). El pretratamiento basado en la separación del tamaño de las partículas es el paso más fundamental en el proceso de extracción de residuos de yeso de los relaves finos de RCD. La aplicación posterior de un enfoque de descontaminación física, química o biológica en los residuos de yeso podría mejorar significativamente su calidad en comparación con el yeso natural. La calidad del yeso obtenido afecta su potencial de valorización en diferentes sectores, como la fabricación de cemento, el secuestro de dióxido de carbono y nutrientes.</p>	<p>En Arauca, la implementación de la metodología de recuperación de residuos de construcción y demolición (RCD) no pétreos resulta viable para minimizar su impacto ambiental. Sin embargo, se debe tener en cuenta la complejidad del contexto local en cuanto a la identificación de los tipos de residuos generados (ver ilustración 24) y la ubicación adecuada para su disposición (ver ilustración 23).</p> <p>Es necesario considerar la aplicación de nuevas técnicas, como el pretratamiento físico para extraer residuos de yeso y lograr su descontaminación. Esto mejorará su calidad y permitirá su utilización como aditivo de cemento o para la eliminación de CO² y amoníaco. De esta manera, se puede contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y producir subproductos útiles para la agricultura.</p> <p>Al aplicar esta estrategia, se limitan los impactos asociados con la transformación del yeso en H₂S en vertederos, lo que representa una alternativa sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental.</p>

Tabla 9: **ESTRATEGIA 8: Potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría** (Spišáková, 2021), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>El objetivo del artículo era confirmar el potencial económico del procesamiento de auditoría de residuos de construcción y demolición a través de un estudio de caso. Se procesó una auditoría previa a la demolición de residuos para un edificio de centro comercial no utilizado en la ciudad de Snina en Eslovaquia. Posteriormente, se realizó una comparación de parámetros económicos (costes de eliminación de residuos y costes de transporte) de la gestión recomendada de RCD.</p>	<p>La ejecución de una auditoría de RCD en el municipio de Arauca puede ser una metodología viable para definir un plan de acción o medidas correctivas para implementar un programa específico de protección ambiental por parte de las empresas auditadas, dado que en la actualidad ninguna de ellas cuenta con una auditoría y evaluación de RCD (ver ilustración 15). Este tipo de evaluación sistemática y documentada permitiría obtener evidencia objetiva para determinar si las actividades ambientales específicas evaluadas se están llevando a cabo con suficiencia y eficacia en el marco normativo vigente (ver ilustración 8 y 18), algo de lo que actualmente las empresas carecen de conocimiento. La evaluación debe estar debidamente documentada y abordar la necesidad de realizar posibles ajustes en la política, objetivos y metas medioambientales, así como aspectos de la auditoría para asegurar el compromiso de la organización con la mejora continua.</p>

Tabla 10: **ESTRATEGIA 9: Gestión y Valorización de materiales RCD mediante la economía circular** (López Ruiz, 2020), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>El principal objetivo de este estudio era identificar las características que podrían influir en la adopción del concepto de Economía Circular en el sector de la construcción y la demolición, para representar posibles perspectivas económicas. La técnica realizada fue una revisión sistemática de la literatura para comprender las principales tácticas implicadas en el desarrollo de estrategias circulares integrales. La contribución fundamental de este documento es una base teórica para la Economía Circular en el sector de la construcción y la demolición. El marco se compone de 14 técnicas dentro de las cinco etapas del ciclo de vida de las operaciones de construcción y demolición. En particular, el marco hace hincapié en la gestión de residuos y la recirculación de recursos recuperados para su uso como materiales de construcción secundarios. Se descubren estrategias clave para la EC en la CDM y se agrupan en cinco etapas del ciclo de vida. Se ofrece una estrategia marco integradora para la adopción de la EC en el sector de los RCD.</p> <p>En este contexto, la idea de Economía Circular (EC) es una solución viable en muchos sectores, ya que indica un uso más eficaz de los recursos y la energía, lo que conduce a la minimización de los residuos y la reducción de las consecuencias medioambientales de los ciclos de los productos.</p>	<p>Las estrategias para la gestión de los RCD en las etapas de pre-construcción/demolición son las que más influyen en el funcionamiento de la Economía Circular. Sin embargo, el desarrollo de economía circular no ha sido abordado sustancialmente en el sector de la construcción en Colombia. La investigación en este sector se ha concentrado principalmente en aspectos relacionados con la reutilización y el reciclaje desde el punto de vista del desempeño ambiental. Son muy pocos los estudios que evalúan una variedad más amplia de principios de la EC para la industria de la construcción y la demolición, y no se han documentado enfoques completos que consideren el despliegue de medidas preventivas y operativas antes, durante y después de las operaciones de construcción y demolición. Además, la integración de criterios económicos es actualmente limitada. Por lo tanto, se necesita un marco completo que oriente y ayude a la implantación de la EC en el sector de los RCD de forma sostenible (véase la ilustración 10), ya que el 94% de las empresas indican que un plan integral de gestión de RCD sería ventajoso para minimizar los residuos en el municipio.</p>

Tabla 11: **ESTRATEGIA 10: Implementación de políticas de gestión RCD y economía circular** (Ghaffar, 2020), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>En este estudio, se utilizó un enfoque de método mixto para investigar las prácticas actuales de gestión de RCD y la percepción del concepto de construcción circular en el Reino Unido. Para ello, se seleccionaron partes interesadas relevantes de la industria de la construcción y se les solicitaron sus puntos de vista sobre la construcción circular para establecer visiones comunes y fomentar el comportamiento sostenible. Los resultados revelaron que la legislación del gobierno sobre el umbral de reutilización y reciclaje para cada nuevo proyecto puede mejorar sustancialmente la circularidad en el entorno construido. El estudio también enfatizó la importancia del desmantelamiento inteligente de edificios y la optimización de los procesos rentables para lograr una competencia justa entre las partes interesadas.</p>	<p>La implementación de políticas es una estrategia necesaria y viable para optimizar la gestión de RCD en Arauca. A través de políticas y decretos a nivel municipal se puede reducir la producción de residuos y fomentar la reutilización y el reciclaje de materiales (ver ilustraciones 10, 11 y 20). Esto impulsaría a las empresas a invertir en proyectos de investigación enfocados en la reutilización y reciclaje de materiales, aumentando la competencia en la industria y mejorando la eficiencia en la gestión de residuos. La implementación de políticas también aseguraría que los clientes aprovechen al máximo la reutilización y reciclaje de materiales cuando sea posible, lo que a su vez reduciría la cantidad de residuos producidos. En resumen, la implementación de políticas es una estrategia necesaria para mejorar la gestión de RCD en Arauca y promover una economía circular en la industria de la construcción.</p>

Tabla 12: **ESTRATEGIA 11:** Implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector público y privado (Ramos et al., 2023), Fuente Autor 2023

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>Este párrafo describe la metodología utilizada en un estudio que evaluó la relación entre diferentes factores y el tamaño de la empresa constructora en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Portugal. Los investigadores utilizaron un cuestionario estructurado que contenía preguntas sobre diferentes variables relacionadas con la gestión de RCD, como el número de trabajadores asignados a la gestión ambiental de la empresa, el registro de las cantidades de RCD generados y su destino, el compromiso de incorporar materiales reciclados en las obras públicas de construcción, los procedimientos de gestión de RCD en regímenes de subcontratación y las acciones de inspección y vigilancia de las obras de construcción. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las micro, pequeñas y grandes empresas constructoras en términos de la gestión de RCD. Los autores recomiendan que se consideren estas diferencias al reevaluar las políticas de gestión de RCD además la capacitación y educación en el sector privado en temas de RCD.</p>	<p>La creación de programas, espacios de educación ambiental sobre los RCD es fundamental en un nivel sectorial y municipal. Ya que permite generar conciencia y soluciones pertinentes a los problemas, además es un mecanismo pedagógico que determina capacidades para actuar individual o colectivamente. Es necesario abordar la temática de la gestión en el nivel publico privado ya que se puede crear cultura ambiental, reflejando además las practicas orientadas y bien planeadas que se desarrollen en el municipio para el cuidado y preservación del medio ambiente. Estas metas se definirán de igual forma gradual y concertada con todos los actores involucrados en cada uno de los casos particulares y serán lo suficientemente flexibles para ajustarse en el tiempo. El proceso de construcción de estas metas será prioridad de esta política en el corto plazo y mediano plazo. La ejecución de estos programas lo contemplaría la disponibilidad presupuestal de la secretaria de agricultura municipal que es la encargada del tema ambiental del municipio.</p>

Tabla 13: **ESTRATEGIA 12:** Articulación de política nacional con políticas municipales (Cueva Gamero, C. A., & Mantilla Acosta, B. N.2020) Fuente Autor 2023

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>La investigación sugiere una modificación normativa del Reglamento para la Gestión y el Manejo de los Residuos de las Actividades de Construcción y Demolición (RGMRC) con una perspectiva de análisis de impacto regulatorio. Esta modificación debe ser propuesta por un Grupo de Trabajo Multisectorial temporal liderado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), el cual cuenta con la capacidad normativa, política y técnica necesaria para llevar a cabo la sensibilización, seguimiento y monitoreo correspondiente.</p>	<p>La implementación de políticas integrales y eficaces es esencial para una gestión adecuada de los RCD en Arauca. Es imperativo adoptar herramientas y protocolos existentes en la resolución 1257 del 2021 para garantizar que todas las partes involucradas en la gestión de los residuos adopten las mejores prácticas y aumenten su conciencia sobre el manejo adecuado de los mismos. El municipio tiene la obligación de ajustar sus programas de PGIRS municipal en conformidad con las disposiciones establecidas en las resoluciones. Asimismo, se debe desarrollar una política pública municipal para el manejo y disposición final de los RCD generados, y se deben establecer mecanismos efectivos de seguimiento y control por parte de las autoridades competentes para garantizar la correcta ejecución de las actividades.</p>

Tabla 14: **ESTRATEGIA 13: Centro de Recepción de residuos o puntos limpios** (Gangoellés, 2014, Thives et al., 2022), Fuente: Autor 2023.

Descripción metodológica	Aplicabilidad en el contexto de Arauca. sí, no, ¿por qué?
<p>En este estudio se evaluó la efectividad de las prácticas de gestión de residuos en proyectos y sitios de construcción, a partir de una encuesta realizada a empresas constructoras con sede en Cataluña. Los resultados revelaron que las prácticas más comunes incluyen el mantenimiento de la limpieza y el orden en el lugar de trabajo, el almacenamiento adecuado de los materiales y la priorización de los gestores de residuos autorizados más cercanos. En contraste, las prácticas menos comunes son el uso de trituradores móviles en el sitio, la creación de planes personalizados para cada sitio y la difusión del contenido del plan de gestión de residuos a todos los trabajadores. Estos hallazgos son de gran relevancia para comprender la situación actual de la gestión de residuos de construcción y demolición en proyectos y sitios de construcción. Por lo tanto, pueden ser utilizados por los responsables políticos y otros actores involucrados en el sector de la construcción para cumplir con el objetivo de la UE de recuperar el 70% de los residuos de construcción y demolición en el año 2020.</p>	<p>Se requiere la implementación de un sistema efectivo de recogida selectiva de residuos de construcción y demolición (RCD), con el fin de lograr una separación adecuada de los materiales y un manejo adecuado y sostenible de los mismos. Esto puede lograrse a través de la instalación de puntos limpios y la promoción del reciclaje y la reutilización de los materiales en los mismos. Es crucial fomentar el desarrollo de empresas y proyectos que promuevan la economía circular, y establecer alianzas entre el gobierno, la sociedad civil y la academia para garantizar la implementación efectiva de estas políticas. De esta manera, se logrará maximizar el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos y promover un modelo de gestión de residuos sostenible y eficiente.</p>

6.3 Propuesta de estrategias

La gestión adecuada de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es una prioridad ambiental en muchas regiones del mundo debido al gran volumen de residuos que se generan en la actividad constructiva y su impacto negativo en el medio ambiente si no se gestionan correctamente. En el municipio de Arauca, Colombia, la generación de RCD es significativa debido a la cantidad y frecuencia con la que se generan estos residuos como resultado de la actividad constructiva en la región. Si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias efectivas de gestión de RCD para minimizar su impacto ambiental y optimizar su aprovechamiento, lo que a su vez puede contribuir al desarrollo sostenible del municipio.

Para lograr estos objetivos, se han seleccionado una serie de estrategias de gestión de RCD en el municipio de Arauca, que buscan reducir su generación, mejorar su gestión y promover su valorización. Entre las prácticas seleccionadas se encuentran la reutilización de materiales de construcción, el reciclaje y el procesamiento de RCD para obtener materiales y energía. Estas estrategias de gestión de RCD son esenciales para abordar los desafíos ambientales y de sostenibilidad del municipio de Arauca.

El objetivo principal de esta selección de estrategias es evaluar su viabilidad costo-beneficio en su implementación, es decir, determinar si los beneficios que se pueden obtener al implementarlas son mayores que los costos asociados con su implementación y gestión. Para ello, se analizarán los costos de inversión, operación y mantenimiento de cada estrategia, así como los beneficios económicos, ambientales y sociales que se pueden obtener al implementarlas.

En última instancia, la implementación de estas estrategias permitirá reducir significativamente los volúmenes de RCD que se generan en el municipio de Arauca, mitigar su impacto ambiental y mejorar la gestión de estos residuos, contribuyendo así a la sostenibilidad y el desarrollo de la región. Así mismo se fomentará el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de RCD.

Estrategia : Estimación y cálculo de la generación de RCD

Identificación de beneficios

La estimación y cálculo de la generación de RCD traería beneficios como:

La minimización en la generación de residuos de RCD y determinación de volumen y peso de los RCD.

Verificar responsabilidades a los actores implicados para fomentar y desarrollar el reciclaje como actividad económica en una integración público-privada, impulsando oportunidades de empleo y negocio.

Facilitación de implementar medios destinados a la eliminación autorizada es decir (un sistema de recogida de RCD dentro de la red urbana) y la total separación de los residuos recogidos.

Identificación de costos

Por otro lado, entre los costos asociados con la implementación de la estrategia de estimación y cálculo de la generación de RCD, se pueden considerar:

- Costos de recolección de datos: La recolección de datos sobre la generación de RCD puede requerir recursos financieros y de tiempo, como el diseño y la implementación de encuestas o la realización de estudios de campo.

- Costos de análisis de datos: Una vez que se han recolectado los datos, es necesario analizarlos para estimar y calcular la generación de RCD, lo que puede requerir recursos financieros y humanos.

- Costos de actualización y mantenimiento: Es posible que sea necesario actualizar y mantener los datos recolectados y los modelos de cálculo utilizados, lo que puede requerir recursos financieros y humanos.

Viabilidad costo- beneficios

Los beneficios en el contexto araucano ayudarían a solucionar parte de la problemática, ya que son beneficios tangibles que incluyen mejorar el proceso de gestión de RCD en sus tomas de decisiones, Además de servir para una zonificación de los espacios urbanos propensos a invasión o vertederos ilegales también impulsarían la participación del sector privado (agentes de transporte, recepción y tratamiento) que ve en las actividades de gestión de RCD como una oportunidad de negocio y empleo. Con la identificación de los costos se deduce que es una estrategia que no solo queda en un ámbito de la teoría, sino que es viable en su implementación.

Ilustración 37: Análisis costo-beneficio de la estrategia estimación y cálculo de la generación de RCD. Fuente: Autor 2023

((Yuan et al., (2011), Limoli et al., (2019), Coronado et al., (2011), Ding y Xiao, (2014))

Estrategia : Jerarquización del RCD

Identificación de beneficios

Beneficios sociales:

Generación de empleo: la jerarquización del RCD implica la separación de los residuos en distintas categorías, lo que puede dar lugar a la creación de empleos en el sector de la gestión de residuos.

Reducción de costos: el reciclaje y la reutilización de materiales pueden generar importantes ahorros de costos para empresas y consumidores, lo que puede traducirse en precios más accesibles para los consumidores y mayor rentabilidad para las empresas.

Mejora de la salud pública: una gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición puede reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo, lo que a su vez puede contribuir a mejorar la salud pública y reducir los costos de atención médica.

Beneficios ambientales:

Reducción del consumo de recursos naturales: el reciclaje y la reutilización de materiales pueden reducir la necesidad de extraer nuevos recursos naturales, lo que puede ayudar a conservar la biodiversidad y reducir el impacto ambiental de la extracción de recursos.

Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero: la gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de nuevos materiales, lo que puede contribuir a mitigar el cambio climático.

Reducción de la cantidad de residuos enviados a vertederos: la reutilización y el reciclaje de materiales puede reducir la cantidad de residuos que se envían a vertederos, lo que puede contribuir a reducir la contaminación del suelo y el agua y extender la vida útil de los vertederos existentes.

Identificación de Costos

Por otro lado, entre los costos asociados con la implementación de la jerarquización del RCD en una ciudad, se pueden considerar:

- Costos de inversión en infraestructura: Es posible que se requiera inversión en infraestructura, como la instalación de contenedores de clasificación de residuos en obras de construcción y la construcción de instalaciones de reciclaje y compostaje.

- Costos de capacitación y educación: Es posible que sea necesario capacitar y educar a los trabajadores de la construcción y a los gestores de residuos sobre los procedimientos de clasificación de residuos y la importancia de la jerarquización. Esto puede requerir recursos financieros y de tiempo.

- Costos de transporte y almacenamiento: Una vez que los residuos se han clasificado, es posible que deban ser transportados a instalaciones de reciclaje o compostaje, lo que puede aumentar los costos de transporte y almacenamiento.

Viabilidad costo- beneficios

En general, los beneficios de la implementación de la jerarquización del RCD en una ciudad pueden superar los costos asociados con su implementación a largo plazo, especialmente si se considera el impacto positivo que tiene en el medio ambiente y la salud pública. Además, es importante destacar que los costos pueden ser mitigados mediante la implementación de políticas públicas efectivas y la búsqueda de financiamiento externo.

Ilustración 38: Análisis costo-beneficio de la estrategia jerarquización de RCD. Fuente: Autor 2023

((Kabirifar et al., (2020), Li et al., (2022), Chen et al., (2019), Gálvez- Martos et al., (2018))

Estrategia : Recuperación de recursos

Identificación de beneficios

Reducción de costos de eliminación de residuos: La estrategia de recuperación de recursos de RCD puede reducir los costos asociados con la eliminación de los residuos en vertederos, ya que los residuos pueden ser reciclados o reutilizados.

Reducción del impacto ambiental: La estrategia de recuperación de recursos de RCD puede reducir el impacto ambiental asociado con la eliminación de residuos. La reducción de la cantidad de residuos que terminan en vertederos puede ayudar a prevenir la contaminación del suelo y del agua. Además, la recuperación de materiales y recursos puede reducir la necesidad de extracción de materias primas, lo que también reduce el impacto ambiental.

Generación de empleo y crecimiento económico: La estrategia de recuperación de recursos de RCD puede generar empleo y crecimiento económico a través de la creación de nuevas empresas y oportunidades de negocio en la industria de la gestión de residuos.

Mejora de la imagen de la empresa: La implementación de la estrategia de recuperación de recursos de RCD puede mejorar la imagen de la empresa ante los clientes, inversores y la comunidad en general. Esto puede tener un impacto positivo en la reputación y la confianza en la empresa.

Identificación de Costos

Costos de infraestructura: La implementación de la estrategia de recuperación de recursos de RCD puede requerir la construcción o modificación de infraestructuras para el almacenamiento, transporte y procesamiento de los residuos. Estos costos pueden ser significativos, dependiendo de la magnitud del proyecto y de las necesidades específicas.

Costos de capacitación: La implementación de la estrategia de recuperación de recursos de RCD también puede requerir la capacitación del personal involucrado en el proceso. Estos costos pueden incluir la contratación de capacitadores externos o la asignación de personal interno para desarrollar y dictar los programas de capacitación.

Costos de seguimiento y monitoreo: Es necesario realizar un seguimiento y monitoreo de la estrategia de recuperación de recursos de RCD para asegurar su efectividad y cumplimiento. Esto puede requerir la inversión en tecnología de monitoreo y personal especializado para realizar las inspecciones.

Viabilidad costo- beneficios

En general, la implementación de la estrategia de recuperación de recursos de RCD puede ser una inversión rentable tanto para las empresas como para la sociedad en su conjunto. La reducción de costos de eliminación de residuos y la mejora del impacto ambiental son beneficios directos, mientras que la generación de empleo y el crecimiento económico son beneficios indirectos. Además, la estrategia de recuperación de recursos puede ayudar a impulsar la economía circular al reducir la necesidad de extraer nuevas materias primas y prolongar la vida útil de los materiales existentes. En resumen, la implementación de la estrategia de recuperación de recursos de RCD no solo puede beneficiar a las empresas en términos de rentabilidad y reputación, sino que también puede contribuir a un futuro más sostenible y responsable desde el punto de vista ambiental y social.

Ilustración 39: Análisis costo-beneficio de la estrategia recuperación de recursos de RCD. Fuente: Autor 2023

((Begum et al., (2006), Habert et al., (2020), Véliz et al., (2023), Niyibuhungiro y schenck (2021), Ramos y Martinho,(2022)).

Estrategia : Planta fija de reciclaje de los RCD

Identificación de beneficios

Una planta de reciclaje de RCD implica una selección previa de los residuos y el reciclaje de muchos materiales.

Generación de nuevos empleos con personal capacitado.

Permite recuperar y dar valor a los terrenos que se consideran improductivos.

Impulsa a la salud pública y genera un impacto positivo en el medio ambiente al reducir los desechos en las calles o lotes para la construcción de vivienda.

Uso eficiente de los recursos por parte de las empresas es decir consumir y reducir materiales necesarios para el desarrollo de la actividad.

Identificación de Costos

El costo de construcción de una planta de reciclaje en América Latina puede variar significativamente dependiendo del país, la ubicación y el tamaño de la planta. A continuación, se presentan algunos costos estimados para la construcción de una planta de reciclaje en algunos países de la región, aunque se debe tener en cuenta que estos costos pueden variar en función de múltiples factores y es recomendable obtener un presupuesto específico para cada caso:

En Colombia, el costo de construcción de una planta fija de reciclaje con tecnología de trituración puede rondar los 1,5 millones de dólares estadounidenses.

Es importante destacar que estos costos solo corresponden a la construcción de la planta y no incluyen los costos de operación y mantenimiento, ni otros costos asociados como los permisos y licencias necesarios para su funcionamiento.

Costos de operación: La operación de una planta de reciclaje de RCD requiere personal capacitado y calificado, así como una inversión continua en mantenimiento y reparación de equipos.

Costos de transporte: El transporte de los RCD desde los sitios de construcción hasta la planta de reciclaje puede ser un costo significativo dependiendo de la distancia y el volumen de los residuos.

Viabilidad costo- beneficios

Para una planta de reciclaje de RCD en Arauca, el vertedero debe contar aproximadamente con 50 hectáreas, el precio de la tierra en el municipio está en 10 millones de pesos aproximadamente, lo que equivaldría un total de 500 millones de pesos la sola localización del terreno de la planta. La maquinaria necesaria para la trituración, bandas rodadoras, instalación 1.5 millones de dolares, la operación y el mantenimiento de estos equipos costaría alrededor de 1.700 millones de pesos. Unas cifras totalmente desbordadas para la administración municipal o entidades privadas.

Ilustración 40: Análisis costo-beneficio de la estrategia planta fija de reciclaje de RCD. Fuente: Autor 2023

((Pesce et al., (2020), Oliveira Neto et al., (2019), Noguiera et al., (2022), Hossain et al., (2020))

Estrategia : Análisis del ciclo de vida de los RCD

Identificación de beneficios

Mejora la sostenibilidad de los edificios y reduce los impactos ambientales de la construcción y demolición.

Permite la identificación de los impactos ambientales y económicos a lo largo del ciclo de vida de los RCD, lo que permite la toma de decisiones más informadas sobre la selección de materiales y procesos de construcción.

Facilita la comparación de las opciones de diseño y construcción para reducir los impactos ambientales y económicos.

Promueve la transparencia y la responsabilidad en el proceso de construcción y demolición.

Permite el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios.

Identificación de Costos

El análisis del ciclo de vida puede requerir una inversión inicial en tecnologías y software para llevar a cabo el análisis de manera efectiva.

También puede ser necesario contratar a un experto en ACV para garantizar la calidad del análisis y los resultados.

El proceso de recopilación y análisis de datos puede ser complejo y consumir tiempo y recursos adicionales.

Viabilidad costo- beneficios

En resumen, el análisis del ciclo de vida de los residuos de construcción y demolición es una herramienta eficaz para mejorar la sostenibilidad de la industria de la construcción y reducir los impactos ambientales y económicos. Aunque puede haber costos asociados con su implementación, los beneficios a largo plazo justifican la inversión inicial. Además, el análisis del ciclo de vida se está convirtiendo cada vez más en un requisito legal en muchos países, lo que hace que la inversión en ACV sea una necesidad. En consecuencia, es importante para la industria de la construcción considerar seriamente la implementación del análisis del ciclo de vida en sus procesos y decisiones de construcción y demolición.

Ilustración 41: Análisis costo-beneficio de la estrategia análisis de ciclo de vida de los RCD. Fuente: Autor 2023

((Borghi et al., (2018), Frias-Gutiérrez et al. (2022), Santos et al, (2019))

Estrategia : Demolición, evaluación y costo del ciclo de vida de los RCD

Identificación de beneficios

La evaluación del ciclo de vida de los RCD se refiere al análisis de los impactos ambientales, sociales y económicos de los materiales de construcción a lo largo de su vida útil, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación final. La evaluación del ciclo de vida puede ayudar a identificar los impactos ambientales y sociales de los RCD, así como a determinar las mejores prácticas para el manejo de residuos y la gestión de materiales.

La demolición selectiva ofrece varios beneficios ambientales, sociales y económicos. Por un lado, permite recuperar materiales y recursos valiosos, reduciendo así la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y disminuyendo la huella de carbono de la demolición. Además, puede ser más seguro y saludable para los trabajadores y la comunidad local al minimizar la liberación de polvo y materiales peligrosos. Por último, la demolición selectiva también puede generar oportunidades de empleo y negocios locales, fomentando así la economía circular y sostenible.

Identificación de Costos

La demolición de un edificio puede ser costosa, pero en algunos casos puede ser más rentable que la rehabilitación. La demolición puede permitir la construcción de un edificio más moderno y eficiente energéticamente, lo que puede resultar en un ahorro significativo de costos a largo plazo. Además, la demolición puede eliminar cualquier problema estructural o de seguridad que pueda existir en un edificio antiguo o dañado. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la demolición también puede tener costos ambientales y sociales, como la eliminación de materiales de construcción y la posible pérdida de patrimonio histórico y cultural.

costo de la extracción de materias primas, la producción, el transporte, la construcción, la demolición y la eliminación de residuos.

Viabilidad costo- beneficios

La implementación del análisis de ciclo de vida de los RCD puede presentar desafíos y limitaciones dependiendo de la capacidad técnica, financiera y administrativa del municipio, así como de la disponibilidad de datos y recursos. Además, puede requerir un cambio en las políticas y prácticas existentes en el manejo de residuos de construcción y demolición en el municipio. Por lo tanto, se deben considerar los recursos disponibles y los desafíos que pueden surgir al implementar el análisis de ciclo de vida de los RCD en un municipio antes de tomar una decisión.

Ilustración 42: Análisis costo-beneficio de la estrategia demolición, evolución y costo de vida de los RCD. Fuente: Autor 2023

((Brennan et al., (2014), Blaisi,(2019), Al-Otaibi et al.,(2022), Lockrey et al., (2018))

Estrategia : Tratamiento y disposición de RCD no aprovechables

Identificación de beneficios

Si los RCD no se tratan adecuadamente, pueden causar impactos ambientales negativos, como la degradación del suelo, la deforestación, la erosión y la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, el tratamiento y la disposición adecuada de los RCD no aprovechables pueden reducir estos impactos ambientales y promover la protección y conservación del medio ambiente.

El tratamiento y la disposición adecuada de los RCD no aprovechables también pueden tener un costo beneficio social, pueden garantizar que los riesgos y peligros asociados con los RCD se manejen de manera segura y responsable, promoviendo así la seguridad y el bienestar de las personas.

Identificación de Costos

El tratamiento y la disposición adecuada de los RCD no aprovechables pueden resultar en un costo beneficio económico a largo plazo. Si los RCD no se tratan adecuadamente, pueden causar daños ambientales, sociales y económicos, como la contaminación del agua, la emisión de gases de efecto invernadero, la pérdida de recursos y la salud pública. Por otro lado, el tratamiento y la disposición adecuada de los RCD no aprovechables pueden reducir estos costos indirectos y garantizar que los recursos se utilicen de manera más efectiva y eficiente.

Viabilidad costo- beneficios

A pesar de que el análisis del costo beneficio es una herramienta útil para evaluar la implementación de un tratamiento y disposición adecuada de los RCD no aprovechables, existen algunas limitaciones a considerar: Complejidad de la evaluación: Estos factores incluyen los costos directos e indirectos, los impactos ambientales y sociales, y los beneficios a largo plazo, lo que puede hacer que la evaluación sea difícil y requiera un alto grado de especialización. Limitaciones en la disponibilidad de datos: Puede ser difícil recopilar y obtener datos precisos y confiables debido a la falta de información y de registros adecuados. Dificultad para cuantificar los beneficios ambientales y sociales: puede ser difícil asignar un valor monetario a la conservación del medio ambiente o a la protección de la salud pública, lo que puede dificultar la medición de los beneficios a largo plazo. Limitaciones presupuestarias: puede requerir una inversión significativa en infraestructura y recursos, lo que puede ser limitante en términos presupuestarios para algunos municipios y empresas.

Ilustración 43: Análisis costo-beneficio de la estrategia tratamiento y disposición de RCD no aprovechables. Fuente: Autor 2023.

((Lopez Ruiz et al., (2020), Perumal et al., (2020), Panagiotopoulou y otros, (2007), Bui, Satomi Y Takahashi, (2018))

Estrategia : Potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría

Identificación de beneficios

Los datos obtenidos de una auditoría ambiental podrían ser utilizados para establecer cambios, implementación de nuevas estrategias e iniciativas y toma de decisiones de los mismos, traería consigo una serie de beneficios como:

Prevención y disminución de los niveles de contaminación, minimización de residuos.

Mayor conciencia medioambiental.

Aumento de eficiencia en la administración de los recursos utilizados por las empresas.

Ahorro económico en costos de producción debido a la eficiencia en la utilización de los recursos.

Incremento de la competitividad de la empresa debido a la optimización de los procedimientos de operación.

Cumplimiento de la normatividad ambiental.

Ahorros de costos por remediación o sanciones ambientales por incumplimiento de ley

Identificación de Costos

Contratación de personal especializado en la materia, así como del uso de equipos de medición y análisis para obtener resultados precisos. Asimismo, la auditoría puede requerir un análisis detallado de la legislación y regulación ambiental aplicable, lo que puede requerir la contratación de consultores legales.

Entre los costos que se pueden incurrir se incluyen los gastos relacionados con la identificación y evaluación de los impactos ambientales generados por el procesamiento de RCD, la determinación del potencial económico del proceso y la evaluación de las prácticas y medidas de control que se pueden implementar para reducir los impactos y maximizar el potencial económico.

Viabilidad costo- beneficios

En términos de viabilidad una auditoría de RCD en el municipio de Arauca disminuiría niveles de contaminación de estos residuos, los datos obtenidos establecerían cambios para implementar y ejecutar nuevas acciones o iniciativas para la toma de decisiones en la gestión y disposición. Además, aportaría una mejora a la imagen pública. Los costos de una auditoría dependen del volumen de trabajo o el tamaño del área. Los costos son asequibles para cualquier generador de RCD en el municipio. Los costos de la auditoría tendrían un ahorro económico de producción como consecuencia de una mayor eficiencia en la utilización de recursos y energía.

Ilustración 44: Análisis costo-beneficio de la estrategia potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría ambiental. Fuente: Autor 2023

((ISO (International Organization for Standardization). (2018), Liu, L., Li, J., Lu, W., Li, X., & Hu, Y. (2020)).

Estrategia : Gestión y valorización de materiales RCD mediante economía circular

Identificación de beneficios

La valorización de residuos es verdaderamente beneficiosa para cualquier ciudad en desarrollo, debido a:

Reducción de la cantidad de residuos (es menor la cantidad de basura que acaba en los vertederos).

Ventajas económicas para las empresas (pues se reducen los costes de la materia prima)

Creación de nuevas plazas de trabajo (ya que se ha aumentado la inversión en las plantas de reciclaje).

Hoy en día, las estrategias de diseño brindan un enfoque de minimización de desechos y facilitan la recuperación de materiales al final de la vida útil de los edificios.

La valorización de residuos tiene beneficios ambientales y económicos muy grandes, además se ha convertido en una acción de vital importancia, para el mantenimiento de la vida y del planeta aplicada en otras partes del mundo. Sin embargo, la implementación de esta estrategia asume un gran reto en todos los actores presentes, por la dificultad que representa dado el contexto del municipio de Arauca. dependen significativamente de aspectos específicos como factores técnicos, operativos y gerenciales.

Identificación de Costos

La implementación de la economía circular en la gestión de materiales RCD puede requerir una inversión inicial en infraestructuras y tecnologías especializadas.

Es posible que se requiera la contratación de personal capacitado en economía circular para garantizar la calidad del análisis y los resultados.

El proceso de identificación, selección y separación de materiales para su valorización puede ser complejo y consumir tiempo y recursos adicionales.

Viabilidad costo- beneficios

Las Barreras económicas y de acceso a la financiación para gestores de RCD en el municipio sería un problema gigante por la falta de tecnología para realizar interacciones con cada uno de los ciclos de vida del RCD y con la presencia de residuos que son difíciles de reciclar y transformar que requieren de procesos muy complejos y costosos.

Ilustración 45: Análisis costo-beneficio de la estrategia gestión y valorización de materiales RCD mediante economía circular. Fuente: Autor 2023.

((Álvarez, A., y Díaz, S. (2021), Di Maria, F., Micale, C., y Moretti, N. (2020), European Commission. (2018), Faleschini, F., Zanetti, M. C., y Traverso, M. (2019), Gessa, A. L., y Vidal, R. (2020), Rostami, R., Piantanakulchai, M., y Siriwardena, M. (2021)).

Estrategia : Implementación de políticas de gestión RCD y economía circular

Identificación de beneficios

Reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos y, por lo tanto, disminuir el impacto ambiental y la contaminación asociada. Además, la recuperación y reciclaje de materiales de RCD puede reducir la demanda de recursos naturales y disminuir los costos de extracción y producción.

Además, la implementación de políticas de economía circular puede generar nuevas oportunidades económicas, como la creación de empleos en la industria de la recuperación y el reciclaje de RCD. También puede aumentar la eficiencia y la competitividad de las empresas al reducir los costos y mejorar la sostenibilidad.

Identificación de Costos

Los costos de implementar políticas de gestión de RCD y economía circular pueden variar significativamente según el país y las características específicas de cada municipio. En general, se requiere la asignación de recursos financieros para la elaboración de planes, programas y proyectos relacionados con la gestión de RCD a nivel nacional y local. Además, también puede implicar costos asociados a la creación de estructuras administrativas, como unidades especializadas en la gestión de RCD, y la capacitación del personal encargado de implementar las políticas.

Los costos también pueden estar asociados con la adquisición de tecnologías y equipos para el procesamiento de RCD, la construcción de instalaciones de reciclaje y tratamiento de RCD, y la implementación de programas de sensibilización y educación para la población.

Un estudio realizado en España estimó que el costo de la gestión de RCD puede variar desde 3,50 €/tonelada para el depósito controlado hasta 81,27 €/tonelada para la valorización energética. Otro estudio realizado en Brasil estimó que el costo de la gestión de RCD puede variar desde 5,50 US\$/tonelada para el vertido controlado hasta 55,00 US\$/tonelada para la valorización de materiales.

Viabilidad costo- beneficios

En conclusión, la implementación de políticas de gestión de RCD y economía circular puede implicar una inversión importante en infraestructura, tecnología y capacitación, cuyos costos pueden variar según el país y las características específicas de cada municipio. Sin embargo, los beneficios a largo plazo pueden ser significativos, incluyendo la reducción de la cantidad de residuos que terminan en vertederos, la recuperación y reciclaje de materiales de RCD, la generación de nuevas oportunidades económicas y la mejora de la imagen y reputación de los municipios y empresas que las adoptan. Además, al reducir la demanda de recursos naturales y disminuir los costos de extracción y producción, la implementación de estas políticas puede tener un impacto positivo en el medio ambiente y en la economía municipal.

Ilustración 46: Análisis costo-beneficio de la estrategia implementación de políticas de gestión RCD y economía circular. Fuente: Autor 2023.

((Oluleye et al., (2022), Oliveira et al., (2021), Murray et al., (2017))

Estrategia : Implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector publico y privado

Identificación de beneficios

Aumentar la conciencia sobre la importancia de una gestión adecuada de los RCD y sus impactos ambientales y económicos, tanto en el corto como en el largo plazo.

Identificar y separar los RCD en las fuentes de generación y para seleccionar los métodos más adecuados de tratamiento y disposición final.

Reducción en la cantidad de residuos enviados a vertederos, un aumento en la cantidad de materiales reciclados y reutilizados, y una disminución en la emisión de contaminantes.

Mayor eficiencia y productividad en el sector, al tiempo que disminuye los costos asociados con la eliminación de RCD y la necesidad de importar materiales y recursos.

Mejorar la reputación y la imagen del sector público y privado, demostrando su compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente.

Identificación de Costos

Elaboración de los programas, la contratación de capacitadores y formadores especializados, y la realización de sesiones de capacitación y talleres para los trabajadores.

Además, también puede ser necesario invertir en la adquisición de equipos y tecnologías para el tratamiento y disposición final adecuada de los RCD, así como en la implementación de infraestructuras para su gestión.

Un estudio realizado en España estimó que el costo de la gestión de RCD puede variar desde 3,50 €/tonelada para el depósito controlado hasta 81,27 €/tonelada para la valorización energética. Es posible que una parte de estos costos estén asociados con la capacitación y educación necesarias para una gestión adecuada y sostenible de los RCD.

Viabilidad costo- beneficios

En conclusión, la implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD es una inversión necesaria para el sector público y privado. Aunque los costos pueden variar, los beneficios son significativos e incluyen una mayor conciencia ambiental, una reducción en la cantidad de residuos enviados a vertederos, un aumento en la cantidad de materiales reciclados y reutilizados, una disminución en la emisión de contaminantes, una mayor eficiencia y productividad y una mejora en la imagen y reputación del sector. En definitiva, la gestión adecuada y sostenible de los RCD es esencial para un futuro más limpio y sostenible.

Ilustración 47: Análisis costo-beneficio de la estrategia implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector público y privado. Fuente: Autor 2023.

((García-Martínez, A., Azapagic, A., & Clift, R. (2019),), Hossain, M. S., & Li, B. (2020), Rodríguez, G. D., Álvarez, R. R., Pérez, M. C., & Olivares, A. R. (2017), Zhang, Q., & Liu, G. (2020)).

Estrategia : Articulación de política nacional con políticas municipales

Identificación de beneficios

Reducción de la contaminación ambiental: Una gestión adecuada de los RCD puede ayudar a reducir la contaminación del suelo, agua y aire, y disminuir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Aprovechamiento de los recursos: Los RCD pueden contener materiales valiosos que pueden ser reutilizados, reciclados o recuperados para generar nuevos recursos y reducir la demanda de materias primas.

Generación de empleo: La gestión adecuada de los RCD puede crear empleos en la recolección, transporte, clasificación, procesamiento y comercialización de los residuos.

Cumplimiento de la legislación ambiental: La implementación de políticas nacionales y municipales sobre RCD puede ayudar a cumplir con la normativa ambiental vigente y evitar sanciones y multas por incumplimiento.

Mejora de la imagen del municipio: Una gestión adecuada de los RCD puede mejorar la imagen del municipio y contribuir al desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente.

Reducción de costos: Una gestión adecuada de los RCD puede reducir los costos asociados con el transporte y disposición final de los residuos, y generar ahorros a largo plazo.

Identificación de Costos

Asignación de recursos financieros para la elaboración de planes, programas y proyectos relacionados con la gestión de RCD a nivel nacional y local. Además, también puede implicar costos asociados a la creación de estructuras administrativas, como unidades especializadas en la gestión de RCD, y la capacitación del personal encargado de implementar las políticas.

Otro factor que influye en el costo es la magnitud del problema de los RCD en el país y la capacidad de los municipios para abordar el tema. Si ya existen políticas y prácticas exitosas en algunos municipios, esto puede reducir el costo de la implementación de políticas similares en otros municipios.

Viabilidad costo-beneficios

En resumen, la implementación o articulación de una política nacional con políticas municipales sobre RCD en Colombia puede generar beneficios ambientales, económicos y sociales significativos, contribuyendo al desarrollo sostenible del país y mejorando la calidad de vida de la población.

Ilustración 48: Análisis costo-beneficio de la estrategia articulación de política nacional con políticas municipales. Fuente: Autor 2023.

((Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018), Jaramillo, L., & Vásquez, M. (2019), D' amato et al., (2018)).

Estrategia : Centro de Recepción de residuos o puntos limpios

Identificación de beneficios

Fomento de la economía circular: El reciclaje y la reutilización de los RCD en los puntos limpios pueden contribuir a la economía circular, donde los residuos se convierten en recursos.

Mejora de la imagen del municipio: Los puntos limpios pueden mejorar la imagen del municipio demostrando su compromiso con el medio ambiente y la sostenibilidad.

Manejo adecuado a los residuos, contribuyendo a la preservación de los recursos naturales.

Evita los vertederos ilegales, permite la separación de desechos ilegales, disminuye contaminación de agua, suelo y aire.

Reduce el riesgo de toxicidad, reduce el riesgo de salud para la población.

Genera conciencia social y respeto al ciudadano para la protección del medio ambiente.

Identificación de Costos

Construcción y operación del punto limpio: Los costos iniciales de construcción del punto limpio puede ser significativos, incluyendo la adquisición de terrenos, construcción de edificios o hangares, instalación de equipos para el pesaje, instalación de equipos para el procesamiento de los residuos.

Costos en la operación y mantenimiento del punto limpio, como el personal, los suministros, la electricidad y el agua

Transporte de los residuos al punto limpio: Los usuarios deben transportar los residuos hasta el punto limpio, lo que puede generar costos adicionales, como combustible, tiempo y mano de obra.

Viabilidad costo-beneficios

En resumen, la implementación de puntos limpios genera un costo significativo dependiendo de la tecnología a utilizar, se podría implementar paulatinamente en plazos y adecuando el sitio limpio de acuerdo a la capacidad presupuestal del municipio, además se realizarían alianzas publico- privadas con los demás actores e instituciones para el fortalecimiento de estos puntos limpios, ya que traería beneficios intangibles positivos como la mejora de la imagen del municipio, además del fomento de la economía circular, promoviendo la cultura del reciclaje.

Ilustración 49: Análisis costo-beneficio de la estrategia centro de recepción de residuos o puntos limpios Fuente: Autor 2023.

((Zhao et al., (2011), Nunes et al., (2007), Ali, (2023))

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró caracterizar el manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de obras civiles en el municipio de Arauca, y se identificó que la gestión de los generadores de RCD es deficiente debido a causas como:

1. El desconocimiento de la normatividad vigente.
2. El desconocimiento de gestores existentes en el municipio.
3. Ausencia de un plan de gestión de RCD en las obras.
4. Falta de un sitio de almacenamiento temporal en obra para la clasificación de material.
5. Ausencia de institucionalidad por parte de Corporinoquia, secretaria de agricultura y desarrollo económico, secretaria de infraestructura municipal.
6. Fallo de la operatividad por parte de las empresas sobre la capacitación de los trabajadores para el manejo de los RCD.
7. Falta de educación y cultura ambiental por parte de la comunidad para la disposición final de los RCD.

Se evidenció una alta informalidad con respecto a la disposición final de los RCD en sitios no autorizadas y donación de estos para la cimentación de edificaciones unifamiliares y multifamiliares; Esta práctica está arraigada dentro del contexto cultural de la región y contribuye a lo mencionado en el punto 7 de la anterior conclusión.

Una de las principales limitaciones de este estudio fue el cálculo del volumen, clasificación y composición de los RCD, debido a que los residuos generados en obra no son entregados en su totalidad al único gestor autorizado en el municipio, si no que ocurren fenómenos como el descrito en el párrafo anterior.

Es evidente que dentro del marco cultural araucano no se ha desarrollado una educación ambiental efectiva por parte de los generadores de los RCD, así como de las autoridades encargadas (Corporinoquia, secretaria de infraestructura y agricultura desarrollo económico) de supervisar, vigilar y controlar este tema, aunque existen herramientas legales disponibles para regular el manejo de los RCD (resolución 1257 del 2021).

Es necesario implementar herramientas y protocolos existentes en la resolución 1257 del 2021, que articulen a todas las partes involucradas a adoptar mejores prácticas de gestión y aumentar su conciencia sobre el manejo adecuado de los residuos. Aunque estas herramientas y protocolos implicarían costos en su implementación, estos costos traerían beneficios a corto y mediano plazo que justificarían la inversión inicial.

A partir de la bibliografía se identifican diversas prácticas y tecnologías disponibles para la gestión, tratamiento, aprovechamiento y disposición de los RCD, que pueden ser adaptadas y aplicadas en el contexto del municipio de Arauca como las reflejadas en la sección 6.2.

La inclusión del análisis de costo-beneficio ha permitido evaluar la viabilidad económica de cada alternativa propuesta y seleccionar la que maximizará los beneficios ambientales y socioeconómicos, a la vez que minimizará los costos asociados. De esta manera, se puede asegurar que la estrategia propuesta sea sostenible y viable en su implementación; esto es especialmente relevante en ocasiones en las que las estrategias ambientales pueden ser percibidas como costosas y poco viables desde el punto de vista económico.

En resumen, se puede concluir que el estudio permitió obtener información relevante sobre el manejo de los RCD en el municipio de Arauca, identificando los impactos negativos y proponiendo estrategias de gestión adecuadas para minimizarlos. Además, las estrategias propuestas podrán ser de utilidad para otros municipios con categorización similar. Se espera que estas propuestas contribuyan a impulsar el desarrollo sostenible de la región a corto y mediano plazo mediante la divulgación a los actores involucrados (Emaar SA.E.S. P, Corporinoquia, Cámara de comercio de Arauca), promoviendo una gestión más responsable y eficiente de los RCD en el sector de la construcción en el municipio.

Recomendaciones

Recomendaciones	Actores involucrados	Estrategia
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la información de la obra: planos, especificaciones y detalles sobre el tipo de obra que se llevará a cabo. • Identificar los materiales a utilizar: Analizar los materiales que se utilizarán en la obra y estimar las cantidades necesarias. • Consultar datos históricos: Si es posible, consulta información de obras similares realizadas anteriormente para tener una referencia de la generación de RCD. • Considerar los porcentajes de recuperación: Tomar en cuenta los porcentajes de recuperación o reciclaje de los materiales en tu región o país. • Calcular la generación de RCD: Multiplica las cantidades estimadas de cada material por los factores de conversión y los porcentajes de recuperación correspondientes. • Realizar ajustes y seguimiento: A medida que avance la obra, realiza mediciones y ajustes en la estimación para tener un seguimiento más preciso de la generación de RCD. 	<ul style="list-style-type: none"> •Empresas Generadoras de RCD •EMAAR SA ESP 	<p>Estimación y cálculo de la generación de RCD</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer la jerarquía de gestión de residuos: Familiarízate con la jerarquía de gestión de residuos, que generalmente se organiza en orden descendente de preferencia: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, valorización energética y disposición final. Comprende los principios y beneficios asociados con cada nivel. • Planificación previa: Integra la jerarquía de RCD en la etapa de planificación de la obra. Considera los objetivos y metas de gestión de residuos que deseas lograr y cómo se pueden aplicar en cada fase de la construcción o demolición. • Prevención: Prioriza la prevención de residuos desde el principio. Evalúa si es posible reducir la generación de RCD mediante prácticas de diseño más eficientes, selección de materiales con menor impacto ambiental y minimización de sobrantes o excesos. • Preparación para la reutilización: Identifica los componentes o materiales que pueden ser reutilizados en la obra o en futuros proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Empresas Generadoras de RCD •EMAAR SA ESP 	<p>Jerarquización de los RCD</p>

Recomendaciones	Actores involucrados	Estrategia
<p>Establece un sistema para separar y almacenar estos elementos de manera adecuada, para facilitar su reutilización y evitar su mezcla con otros residuos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje: Promueve la separación selectiva de los diferentes tipos de RCD en la obra. Establece áreas de acopio específicas y claramente identificadas para materiales como el concreto, madera, metal, plástico, etc. Contrata servicios de reciclaje adecuados para procesar estos materiales y asegurar su reintegración en la cadena productiva. 		
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación inicial: Realiza una evaluación exhaustiva de la estructura que se va a demoler. Identifica los componentes que podrían ser reutilizados, reciclados o que contengan materiales peligrosos. Esto te ayudará a establecer un plan adecuado de demolición selectiva. • Planificación detallada: Desarrolla un plan detallado que incluya los pasos a seguir, los componentes a seleccionar, los métodos de demolición y el manejo de los residuos. Considera la secuencia en la que se llevarán a cabo las demoliciones y establece metas y objetivos claros para la reutilización y el reciclaje de materiales. • Inspecciones especializadas: Realiza inspecciones especializadas para identificar materiales peligrosos como asbesto, plomo u otros contaminantes. Contrata a profesionales capacitados en la identificación y manejo de estos materiales para asegurarte de cumplir con las regulaciones y normas de seguridad aplicables. • Contratación de especialistas: En caso de que no cuentes con el conocimiento y la experiencia necesarios, considera contratar a empresas especializadas en demolición selectiva. Ellos pueden proporcionar el personal capacitado y los equipos adecuados para llevar a cabo la demolición de forma segura y eficiente. • Separación de materiales: Durante la demolición, separa los materiales identificados para su 	<ul style="list-style-type: none"> • Corporinoquia • Empresas Generadoras de RCD 	<p>Análisis del ciclo de vida de los RCD</p>

Recomendaciones	Actores involucrados	Estrategia
<p>reutilización o reciclaje. Establece áreas designadas en el sitio de demolición para almacenar y clasificar los diferentes materiales, como madera, metal, concreto, plástico, etc.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de residuos: Asegúrate de contar con un plan de gestión de residuos adecuado. Identifica los destinos finales para los materiales que no se puedan reutilizar o reciclar, y asegúrate de que se realice su disposición de acuerdo con las regulaciones ambientales vigentes. Implementar sistemas de monitoreo: Promueve el uso de sistemas de monitoreo y control en la empresa, como tecnología de punta y sistemas de gestión ambiental. Estos sistemas pueden ayudar a la empresa a realizar un seguimiento de sus propias operaciones y detectar posibles incumplimientos antes de que sean identificados durante una inspección. • Supervisión y control: Establece un sistema de supervisión y control durante todo el proceso de demolición selectiva. Realiza inspecciones periódicas para asegurarte de que se están cumpliendo los objetivos establecidos y de que se están siguiendo los procedimientos adecuados. • Documentación y seguimiento: Mantén registros detallados de todas las actividades relacionadas con la demolición selectiva, incluyendo la cantidad de materiales reutilizados o reciclados, los volúmenes de residuos generados y su disposición final. Esto te permitirá evaluar el éxito de la implementación y realizar mejoras en futuros proyectos • Implementar sistemas de monitoreo: Promueve 	<ul style="list-style-type: none"> • Corporinoquia • Empresas Generadoras de RCD 	<p>Potencial económico del procesamiento de RCD a través de auditoría</p>

Recomendaciones	Actores involucrados	Estrategia
<p>el uso de sistemas de monitoreo y control en la empresa, como tecnología de punta y sistemas de gestión ambiental. Estos sistemas pueden ayudar a la empresa a realizar un seguimiento de sus propias operaciones y detectar posibles incumplimientos antes de que sean identificados durante una inspección.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Promover la innovación y la investigación en el área de la gestión de los RCD, a través de la creación de una red de investigación y desarrollo que permita la mejora continua en los procesos de tratamiento y disposición final para lograr una gestión más efectiva y sostenible de los RCD. • Realizar un diagnóstico de las necesidades de capacitación del personal técnico y trabajadores involucrados en la gestión de los RCD. Este análisis debe incluir aspectos como conocimientos técnicos, habilidades y destrezas necesarias, normativas vigentes, entre otros. • Diseñar e implementar programas de capacitación técnica y práctica para el personal técnico y trabajadores involucrados en la gestión de los RCD. Estos programas pueden ser teóricos y prácticos, y deben incluir temas como clasificación de los RCD, manejo y almacenamiento, técnicas de reciclaje y reutilización, normativas vigentes, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcaldía de Arauca • Corporinoquia • Gobernación de Arauca • Organizaciones de la sociedad civil • Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquía • EMAAR SA ESP • SENA • Cámara de comercio: empresas del sector de la construcción 	<p>Implementación de programas de capacitación y educación sobre RCD para el sector público y privado</p>
<p>Actualizar el plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Arauca PGIRS (2017-2028), en sus directrices del programa para el manejo adecuado de los residuos de construcción y demolición – RCD- generados en el municipio de Arauca, se remiten a los decreto 2981 de 2013 compilado en el Decreto 1077 de 2015 y no en la regulación vigente 1257 del 2021, actualizar el</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Alcaldía de Arauca 	<p>Articulación de política nacional con políticas municipales</p>

Recomendaciones	Actores involucrados	Estrategia
PGIRS es fundamental para garantizar una gestión adecuada de los residuos sólidos en el municipio, cumplir con las obligaciones legales y reglamentarias, y fomentar la participación ciudadana en la gestión de los residuos.		
Fortalecer la regulación y control para el cumplimiento de la normatividad vigente (resolución 1257 del 2021), ya que si no se realiza podría incluir la implementación de sanciones y multas a aquellos que incumplan las regulaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Alcaldía de Arauca • Corporinoquia • Gobernación de Arauca 	
Coordinación interinstitucional: Promover la coordinación y colaboración con otras entidades gubernamentales relacionadas, como privadas para fortalecer la supervisión y control conjunto sobre las empresas. Esto permitirá una visión más integral y una mejor gestión de los riesgos ambientales y legales.	<ul style="list-style-type: none"> • Corporinoquia 	
Implementar un sistema de recogida selectiva de RCD que permita la separación de los diferentes tipos de materiales, y su posterior tratamiento y gestión; estimulando el aprovechamiento de los residuos en los sitios limpios, ya que es importante fomentar el reciclaje y reutilización de los materiales, lo que puede ser incentivado a través de la creación de empresas de reciclaje y de proyectos que promuevan la economía circular.	<ul style="list-style-type: none"> • Alcaldía de Arauca • Corporinoquia • Gobernación de Arauca • Universidad Nacional de Colombia Sede Orinoquía • SENA • EMAAR SA ESP 	Centro de recepción de residuos o puntos limpios

REFERENCIAS CITADAS

Acosta-Fajardo, G., Martínez-Mendoza, J. R., & Montoya-Torres, J. R. (2019). Methodology for the assessment of the life cycle of construction and demolition waste: A case study in Mexico. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 46-57.

Alaña Castillo, T. P., Morán Molina, G. G., & Sanmartín Ramón, G. S. (2017). La auditoría ambiental en las MIPYMES como herramienta de control interno en la gestión empresarial. *Universidad y Sociedad [seriada en línea]*, 9 (1), pp. 143-147. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

Alcaldía municipal de Arauca (2016). Secretaria de agricultura ganadería y medio ambiente municipal Plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio de Arauca.

Aleksanin, A. (n.d.). Development of construction waste management. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706040>

Ali, M. (2020). Economic feasibility of recycling construction and demolition waste: a case study of Bangladesh. *Waste Management & Research*, 38(7), 776-784. <https://doi.org/10.1177/0734242X20930618>

Ali, M. (2023). An investigation into the uses of trommel fines produced from recycling of construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 369, 130579. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.130579>

Al-Otaibi, A., Bowan, P. A., Abdel Daiem, M. M., Said, N., Ebohon, J. O., Alabdullatief, A., ... & Watts, G. (2022). Identifying the Barriers to Sustainable Management of Construction and Demolition Waste in Developed and Developing Countries. *Sustainability*, 14(13), 7532.

Álvarez, A., y Díaz, S. (2021). Economy, environment and technology in the construction sector: A review of the literature. *Resources, Conservation and Recycling*, 171, 105670. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105670>

Aguaza, B. O. (2012). Análisis Coste-Beneficio. *eXtoikos*(5), 147-149. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5583839>

Aguilera Díaz, Anailys. (2017). Cost-benefits as a Decision Tool for the Investment in Scientific Activities. *Cofin Habana*, 11(2), 322-343. Recuperado en 01 de febrero de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612017000200022&lng=es&tlng=en

Arroyo Morocho, F. R. (2018). La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 78–98. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n12.2018.786>

Begum, R. A., Siwar, C., Pereira, J. J., & Jaafar, A. H. (2006). A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: The case of Malaysia. *Resources, conservation and recycling*, 48(1), 86-98.

Bencardino, C. M. (2012). *Estadística y muestreo*. Colombia: Eco ediciones.

Beltrán G., Ó. A., (2005). Revisiones sistemáticas de la literatura. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 20(1),60-69.

Blaisi, N. I. (2019). Construction and demolition waste management in Saudi Arabia: Current practice and roadmap for sustainable management. *Journal of cleaner production*, 221, 167-175.

Brennan, J., Ding, G., Wonschik, C. R., & Vessalas, K. (2014, January). A closed-loop system of construction and demolition waste recycling. In 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, ISARC 2014-Proceedings.

Bui, N. K., Satomi, T., & Takahashi, H. (2018). Enhancement of recycled aggregate concrete properties by a new treatment method. *GEOMATE Journal*, 14(41), 68-76.

Capitulo: Manual de gestión integral de residuos sólidos urbanos. (1 de mayo de 2006). Obtenido de www.cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_3.5_escombros.pdf: http://cempre.org.uy/docs/manual_girsu/parte_3.5_escombros.pdf

Capdevila, J. A., Nasser, J. J., Salomón, J. E., Odebrecht, A. M., Harada, R. G., & Sabaini, F. 2018. EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA.

Carvajal, E. (2009). Impacto Ambiental y Social del Vertimiento de Residuos Sólidos y Escombros Sobre la Calidad del Río Medellín y Algunos de sus Afluentes. *El Ágora* Vol. 9, p 225-265.

Chávez, A., Mejía, A., & Bernal, O. (2012). Análisis de información sobre el manejo y gestión de escombros a nivel nacional e internacional. Bogotá.

Cristiano, S., Ghisellini, P., D'Ambrosio, G., Xue, J., Nesticò, A., Gonella, F., & Ulgiati, S. (2021). Construction and demolition waste in the Metropolitan City of Naples, Italy: State of the art, circular design, and sustainable planning opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 293, 125856. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.125856>

Chen, J., Hua, C., & Liu, C. (2019). Considerations for better construction and demolition waste management: Identifying the decision behaviors of contractors and government departments through a game theory decision-making model. *Journal of cleaner production*, 212, 190-199.

Contraloría Departamental de Arauca (2018), Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente del departamento de Arauca - vigencia 2018.

Contreras Sierra, Emigdio Rafael. (2013). El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica. *Pensamiento & Gestión*, (35), 152-181. Retrieved April 14, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762013000200007&lng=en&tlng=es

Cueva Gamero, C. A., & Mantilla Acosta, B. N. Articulación multisectorial para enfrentar la inadecuada disposición final de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en los distritos de Magdalena del Mar y San Miguel, en el periodo 2015-2018.

Daoud, A. O., Othman, A. A. E., Ebohon, O. J., & Bayyati, A. (2021). Quantifying materials waste in the Egyptian construction industry: A critical analysis of rates and factors. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 4275–4289. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2021.02.039>

D'Amato, A., Mazzanti, M., Nicolli, F., & Zoli, M. (2018). Illegal waste disposal: Enforcement actions and decentralized environmental policy. *Socio-economic planning sciences*, 64, 56-65.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2021). Producto interno bruto medicon con enfoque territorial junio 2022.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). Proyecciones de población a nivel municipal periodo 2018 - 2035. https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Municipal/anexo-proyecciones-poblacion-Municipal_Area_2018-2035.xlsx

De Melo, A. B., Gonçalves, A. F., & Martins, I. M. (2011). Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). *Resources, Conservation and Recycling*, 55(12), 1252–1264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.010>

Di Maria, F., Micale, C., y Moretti, N. (2020). Circular economy in the construction sector: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123750>

Ding, T., & Xiao, J. (2014). Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai. *Waste management*, 34(11), 2327-2334.

Espinosa M. (2005). Análisis a la gestión integral y al manejo de residuos sólidos, una propuesta que apunta al desarrollo sostenible. Bogotá.

European Commission. (2018). Circular economy package. https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm

Fazenda, A. J., & Tavares-Russo, M. A. (2016). Caracterización de residuos sólidos urbanos en Sumbe: herramienta para gestión de residuos. *Ciencias Holguín*, 22(4), 1-15.

Frías-Gutiérrez Steven, Revuelta-Muñoz Mauricio, Pacheco-Bustos Carlos (2022) Análisis del ciclo de vida (ACV): De un cemento producido con reemplazo de cáscara de huevo y cáscara de arroz. *Revista Producción + Limpia*. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a6>

Gálvez-Martos, J. L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 166–178. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.04.016>

Gangolells, M., Casals, M., Forcada, N., & Macarulla, M. (2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. *Resources, Conservation and Recycling*, 93, 99–111. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.10.006>

García-Martínez, A., Azapagic, A., & Clift, R. (2019). Life cycle environmental impacts of construction and demolition waste management. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117788. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117788>

Gessa, A. L., y Vidal, R. (2020). Environmental, economic and social impact of the circular economy in the construction sector: A review. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122030>

Ghaffar, S. H., Burman, M., & Braimah, N. (2020). Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118710. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118710>

Ghanimeh, S., Jawad, D., & Semaan, P. (2016). Quantification of construction and demolition waste: A measure toward effective modeling. 2016 3rd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications, ACTEA 2016, 83–86. <https://doi.org/10.1109/ACTEA.2016.7560117>

Gobernación de Arauca, (2016) <https://arauca.gov.co/municipio-de-arauca/>

Gontia, P., Thuvander, L., & Wallbaum, H. (2020). Spatiotemporal characteristics of residential material stocks and flows in urban, commuter, and rural settlements. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119435. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.119435>

González-Torre, P., & Adenso-Díaz, B. (2020). Análisis de las prácticas de gestión de residuos de construcción y demolición en España. *Informes de la Construcción*, 72(558), e367. <https://doi.org/10.3989/ic.72522>.

Guarín, C, N. L., Montenegro, R, L. Y., Walteros, G, L. H., y Reyes, G, S. T. (2011). Estudio comparativo en la gestión de residuos de construcción y demolición en Brasil y Colombia. Recuperado el 11 de 05 de 2015, de http://www.umng.edu.co/documents/10162/1299317/ART_17.pdf

Güell, A., Vázquez, E., & Varela, E. (2014). Diagnóstico reciclaje RCD en España. Recuperado el 10 de 10 de 2016, de <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/Diarecrdes.pdf>

Hao, J. L., Yu, S., Tang, X., & Wu, W. (2022). Determinants of workers' pro-environmental behaviour towards enhancing construction waste management: Contributing to China's circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133265.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --). México D.F.: McGraw-Hill.

Hossain, M. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948.

Hossain, M. S., & Li, B. (2020). A review on construction and demolition waste management: current practices, challenges, and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121534>

ICONTEC. (2009). Norma Técnica Colombiana GTC 24. Gestión Ambiental, Residuos sólidos. Guía de separación en la fuente. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%2024%20DE%202009.pdf>

Iodice, S., Garbarino, E., Cerreta, M., & Tonini, D. (2021). Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case. *Waste Management*, 128, 83–98. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.04.031>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). Boletín climatológico diciembre.

ISO (International Organization for Standardization). (2018). ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. ISO.

ISO. (2006). *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*.

Organización Internacional de Normalización. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

Jaramillo, L., & Vásquez, M. (2019). Análisis de costos de la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (50), 94-105. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i50.2312>

Jordan, R., & Simioni, D. (2003). *Gestión Urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: UN. CEPAL.

Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C. C., & WY, T. V. (2020). A conceptual foundation for effective construction and demolition waste management. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100019.

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

Lara, I. J., & Franco, O. C. (2017). Análisis del costo-beneficio, una herramienta de gestión. *Revista: CE Contribuciones a la Economía*.

Limoli, A., Garzia, E., De Pretto, A., & De Muri, C. (2019). Illegal landfill in Italy (EU)—A multidisciplinary approach. *Environmental Forensics*, 20(1), 26-38.

Liu, L., Li, J., Lu, W., Li, X., & Hu, Y. (2020). A review of life cycle assessment (LCA) on construction and demolition (C&D) waste management. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121883.

Lockrey, S., Verghese, K., Crossin, E., & Nguyen, H. (2018). Concrete recycling life cycle flows and performance from construction and demolition waste in Hanoi. *Journal of cleaner production*, 179, 593-604.

López, M (2020). *Estrategias sostenibles para el aprovechamiento de RCD (residuos de construcción y demolición) en los proyectos de las pymes constructoras de Montería* Tesis de Maestría no publicada, Universidad santo tomas.

Manzano, J. L. (2009). *Diagnóstico de Escombros en Bogotá*. Bogotá: Unidad Administrativa

de Servicio Públicos.

Marzouk, M., & Azab, S. (2014). Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 41–49. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2013.10.015>

Menegaki, M., & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8–15. <https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2018.02.010>

Mijares-S, F. y Pérez-Buitrago, N. (2019). Estudio florístico y estructural de un zural boscoso en el municipio de Arauca, Colombia. *Colombia Forestal*, 22(1).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/guias/guias-17/guias-17-10-plan-nacional-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-pngirs.pdf>

Muñoz, C., Álvarez, A., & Varela, R. (2021). Propuestas para mejorar la gestión de residuos de construcción y demolición en pequeñas y medianas empresas constructoras. *Revista de la Construcción*, 20(1), 8-15. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.1.8>

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, 140, 369-380.

Niyobuhungiro, R. V., & Schenck, C. J. (2021). The dynamics of indiscriminate/illegal dumping of waste in Fisantekraal, Cape Town, South Africa. *Journal of Environmental Management*, 293, 112954.

Nogueira, L. A., Lindeløv, B., & Olsen, J. (2022). From waste to market: Exploring markets, institutions, and innovation ecosystems for waste valorization. *Business Strategy and the Environment*.

Nunes, K. R. A., Mahler, C. F., Valle, R., & Neves, C. (2007). Evaluation of investments in

recycling centres for construction and demolition wastes in Brazilian municipalities. *Waste Management*, 27(11), 1531–1540. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2006.09.007>

Oliveira, M. D. P. S. L., de Oliveira, E. A., & Fonseca, A. M. (2021). Strategies to promote circular economy in the management of construction and demolition waste at the regional level: a case study in Manaus, Brazil. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23, 2713-2725.

Oliveira Neto, G. C., & Correia, J. M. (2019). Environmental and economic advantages of adopting reverse logistics for recycling construction and demolition waste: A case study of Brazilian construction and recycling companies. *Waste Management & Research*, 37(2), 176-185.

Oluleye, B. I., Chan, D. W., Saka, A. B., & Olawumi, T. O. (2022). Circular economy research on building construction and demolition waste: a global review of current trends and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 131927.

Orellana López, D. M., & Sánchez Gómez, M. C. (2006). Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de Investigación Educativa*, 24(1), 205–222.

Panagiotopoulou, C., Kontori, E., Perraki, T., & Kakali, G. (2007). Dissolution of aluminosilicate minerals and by-products in alkaline media. *Journal of Materials Science*, 42, 2967-2973.

Perumal, P., Niu, H., Kiventerä, J., Kinnunen, P., & Illikainen, M. (2020). Upcycling of mechanically treated silicate mine tailings as alkali activated binders. *Minerals Engineering*, 158, 106587.

Pesce, M., Tamai, I., Guo, D., Critto, A., Brombal, D., Wang, X., ... & Marcomini, A. (2020). Circular economy in China: Translating principles into practice. *Sustainability*, 12(3), 832.

Prieto-Sandoval, V., Jaca-García, C., & Ormazabal-Goenaga, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación.

Puerta Ortiz. (2019). Impacto ambiental en las escombreras. Revisión de la literatura 2008-2019, Colombia [Trabajo de Grado para optar título magister en salud ocupacional y ambiental, Universidad del Rosario]. Repositorio institucional de la Universidad del Rosario <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/10dbbd73-78f1-494b-9e78-2047110c776d/content>.

Ramos, M., Martinho, G., Vasconcelos, L., & Ferreira, F. (2023). Local scale dynamics to promote the sustainable management of construction and demolition waste. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 17, 200135. <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2023.200135>

Ramos, M., & Martinho, G. (2021). Influence of construction company size on the determining factors for construction and demolition waste management. *Waste Management*, 136, 295-302.

Resolución 314 de 2022, Unidad Administrativa Especial Contaduría General de la Nación. Por lo cual se expide la certificación de categorización de las entidades territoriales: departamentos, distritos y municipios, conforme a lo dispuesto en las leyes 136 de 1994, 617 de 2000 y el decreto 2106 de 2019.

Resolución 472 de 2017, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por lo cual se reglamenta la gestión integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RCD y se dictan otras disposiciones.

Resolución 1257 de 2021, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por lo cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición- RCD y se adoptan otras disposiciones.

Robayo, R., Matthey, P., Silva, Y., Burgos, D., & Arjona, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. Recuperado el 12 de agosto de 2017, de Revistas Científicas Universidad Distrital.

Rodríguez, G. D., Álvarez, R. R., Pérez, M. C., & Olivares, A. R. (2017). Assessment of construction and demolition waste management in Spain, based on cost-benefit analysis. *Waste management*, 61, 529-540.

Rodríguez Álzate A, (2022). Análisis Comparativo De La Gestión De Residuos De Construcción Y Demolición (RCD) En Cuatro Países Latinoamericanos (Tesis De Pregrado). Universidad Del Valle.

Romero Rodríguez, B. I. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín IIE*, (133), 55-62.

Rostami, R., Piantanakulchai, M., y Siriwardena, M. (2021). A review of circular economy implementation in the construction industry: Challenges and opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105160. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105160>

Ruiz, L. A. L., Ramón, X. R., & Domingo, S. G. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector—A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238.

Ruiz, L. A. L., Ramon, X. R., Mercedes, C. M. L., & Domingo, S. G. (2022). Multicriteria analysis of the environmental and economic performance of circularity strategies for concrete waste recycling in Spain. *Waste Management*, 144, 387-400.

Sánchez, A. A. (2015). La auditoría ambiental: Una revisión y propuestas en clave de su función pública y dimensión empresarial. *Revista Iberoamericana de Contabilidad de Gestión*, 26.

Santos, A. C., Mendes, P., & Teixeira, M. R. (2019). Social life cycle analysis as a tool for sustainable management of illegal waste dumping in municipal services. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1141-1149.

Secretaria de ambiente de Bogotá (2014, enero 01) “Guía ambiental para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición - RCD en la obra”, [En línea]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co>

Serre, B. M., & McCarthy, L. H. (2023). Municipal solid waste management: Production, management, and environmental effects. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00192-0>

Sicha, T., & Toledo, Y. (2020). Uso del análisis costo-beneficio en la evaluación de proyectos de agua potable desde una perspectiva social. [Tesis de bachiller inédita]. Universidad Tecnológica del Perú.

Souza, F. da S., Mendes, J. C., Morais, L. J. B., Silva, J. S., & Peixoto, R. A. F. (2022). Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105896. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105896>

Spišáková, M., Mésároš, P., Mandičák, T., & Colangelo, F. (2021). Construction Waste Audit in the Framework of Sustainable Waste Management in Construction Projects-Case Study. <https://doi.org/10.3390/buildings11020061>

Thives, L. P., Ghisi, E., & Thives Júnior, J. J. (2022). An outlook on the management of construction and demolition waste in Brazil. *Cleaner Materials*, 6, 100153. <https://doi.org/10.1016/J.CLEMA.2022.100153>

United Nations Environment Programme (2013). Guidelines for national waste management strategies: moving from challenges to opportunities. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8669>.

Urquijo fajardo G. (2021). Modelo de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) orientado al Aprovechamiento, Beneficios Económicos y Ambientales para la Ciudad de Tunja (Boyacá). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.

Valoni, N. A. (2018). Gestión de residuos de construcción y demolición: análisis sistematizado de la normativa aplicado a la interrelación España-Argentina. *Ciencia y Tecnología de los Materiales*.

Vázquez, E., & Tarrasón, D. (2021). Evaluación de la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Barcelona. *Revista de la Construcción*, 20(1), 16-26. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.1.16>

Véliz, K. D., Walters, J. P., Busco, C., & Vargas, M. (2023). Modeling barriers to a circular economy for construction demolition waste in the Aysén region of Chile. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 18, 200145. <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2023.200145>

Vidal, A., & Asuaga, C. (2021). Gestion Ambiental en las Organizaciones: Una revision de la literatura. *Revista del Instituto Internacional de Costos*, (18), 84-122.

Yuan, H. P., Shen, L. Y., Hao, J. J., & Lu, W. S. (2011). A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, conservation and recycling*, 55(6), 604-612.



Zhang, C., Hu, M., di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment*, 803, 149892. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149892>

Zhang, Q., & Liu, G. (2020). Analysis of construction and demolition waste management status and strategy in China. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120792. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120792>



Zhao, W., Ren, H., & Rotter, V. S. (2011). A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center – The case of Chongqing, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 933–944. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2011.04.011>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de entrevista realizadas a empresas generadoras de RCD

 FICHA TECNICA DE ENTREVISTA PARA EMPRESAS GENERADORAS DE RCD 	
DESCRIPCION FICHA TECNICA	
<p>La siguiente ficha técnica tiene como objetivo determinar un diagnóstico sobre los generadores de RCD en el municipio de Arauca, esta encuesta es de carácter investigativo para el desarrollo del trabajo de grado, por tal motivo los datos de las empresas encuestadas se mantendrán en el anonimato ya que son datos sensibles.</p>	
DATOS DE LA OBRA	
Nombre de la Obra y Tipo	
Dirección	
Tiempo estimado de ejecución de la obra	
Fecha de Inicio de la obra	
Total de materiales de la construcción a utilizar en la obra (Toneladas)	
PREGUNTAS	
¿Cuántos años lleva la empresa ejerciendo la actividad de la construcción en el municipio de Arauca ?	
¿Conoce la normativa ambiental vigente a nivel nacional y local sobre el manejo de los RCD ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Sabe cuál es la principal causa respecto a la problemática sobre el manejo de los RCD en el municipio de arauca ?	
¿Está satisfecho con las aplicaciones municipales para el manejo de los RCD en el municipio de arauca ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Cree que un plan de gestión de residuos en general es útil para reducir la generación de RCD en el municipio de arauca?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Cree que debería haber una cláusula contractual que exija al contratista utilizar material reciclado siempre que sea posible?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Está satisfecho con los procesos de reciclaje de RCD actuales en la industria municipal ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Tiene evaluaciones de sitio dedicadas a la planificación y valorización de RCD?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿Tiene auditorías y evaluaciones previas a la demolición para la categorización de los flujos de RCD ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿La empresa estaría dispuesta a trabajar la problemática de los RCD generados en el municipio de Arauca en conjunto con otras entidades o empresas del sector involucradas ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
¿ Sabe Cuánta cantidad de residuos se generan en la obra ?	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>

Anexo 2. Formato de encuestas realizadas a empresas generadoras de RCD

 FICHA TECNICA DE ENCUESTA PARA EMPRESAS GENERADORAS DE RCD 						
DESCRIPCION FICHA TECNICA						
La siguiente ficha técnica tiene como objetivo determinar un diagnóstico sobre los generadores de RCD en el municipio de Arauca, esta encuesta es de carácter investigativo para el desarrollo del trabajo de grado, por tal motivo los datos de las empresas encuestadas se mantendrán en el anonimato ya que son datos sensibles.						
DATOS DE LA OBRA						
Nombre de la Obra y Tipo						
Dirección						
Tiempo estimado de ejecución de la obra						
Fecha de Inicio de la obra						
Total de materiales de la construcción a utilizar en la obra (Toneladas)						
PREGUNTAS						
¿Como generador de residuos sabe usted que es la resolución 1257 del 2021 ?	SI		NO		NO TIENE CONOCIMIENTO	
¿Como generador de residuos tienen un Programa de manejo de RCD en la obra?	SI				NO TIENE	
¿Como generador de residuos tiene conocimiento de un gestor de RCD en el municipio ?	SI				NO TIENE	
¿Como generador de residuos cuenta con un almacenamiento temporal de los RCD en la obra ?	SI				NO TIENE	
¿Como generador de residuos ha donado los RCD a la comunidad o ha terceros ?	SI				NO TIENE	
¿Como generador de residuos en que lugar ha depositado los RCD en el municipio ?	SITIOS AUTORIZADOS		SITIOS NO AUTORIZADOS		NO TIENE CONOCIMIENTO	
¿Como generador de residuos sabe como se clasifican los RCD ?	SI		NO		NO TIENE CONOCIMIENTO	
¿El personal que trabaja en su empresa ha recibido alguna capacitación sobre el manejo de RCD?	SI				NO CONOCIMIENTO	
¿Como generador de residuos realiza separación y selección de los RCD en la obra?	SI				NO CONOCIMIENTO	
¿ Como generador de residuos sabe que tipos de residuos se generan en la obra ?	SI				NO CONOCIMIENTO	
TIPO DE RESIDUO GENERADO EN OBRA	TONELADAS DE RCD GENERADAS EN OBRA	TONELADAS DE RCD ENTREGA	TONELADAS DE RCD ENTREGADO EN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL		TOTAL RCD (TON)	
Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.						
Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.						
Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.						
No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como: PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, madera y compuestos de madera, cartón-yeso (drywall), entre otros.						
RCD no susceptibles de aprovechamiento, contaminados con residuos peligrosos.						
RCD no susceptibles de aprovechamiento los que por su estado no pueden ser aprovechados.						