

**BENEFICIOS DEL USO DE AGREGADOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VÍAS EN BOGOTÁ**

OMAR RAMÍREZ MONTOYA

LILIAN YACELY RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES,

MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS

BOGOTÁ D.C. - 2024

**BENEFICIOS DEL USO DE AGREGADOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VÍAS EN BOGOTÁ**

OMAR RAMÍREZ MONTOYA

LILIAN YACELY RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Proyecto de grado para obtener el título de magister en gerencia de proyectos

Asesor: Dr. HÉCTOR VILLAMIL BOLÍVAR

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y EMPRESARIALES,

MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS

BOGOTÁ D.C. – 2024

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud en primer a lugar a Dios, al Dr. Héctor Villamil por su orientación y apoyo tanto en el progreso de la maestría como en el desarrollo de nuestra investigación, a cada uno de los docentes que nos compartieron su conocimiento el cual constituye una base significativa para nuestra vida profesional y finalmente, pero no menos importante, a nuestras familias por su paciencia y acompañarnos a alcanzar este logro que nos permitirá seguir creciendo profesional y personalmente.

Dedicatoria

A mi padre, Omar H. Ramírez P, pilar fundamental de mi vida, fuente de inspiración y ejemplo a seguir y a mi hijo Thomas Ramírez S. la luz que ilumina mi camino y la razón por la que cada día me esfuerzo por ser mejor persona.

Omar Ramírez Montoya

En memoria de mi padre, Luis A. Rodríguez, que desde niña me motivó a crecer profesionalmente y a mi hijo, Samuel Riaño, de quien espero ser un ejemplo de vida.

Lilian Y. Rodríguez Hernández

Resumen

Los proyectos viales demandan el uso de materiales de construcción y a su vez generan residuos de construcción y demolición (RCD). Estos RCD se han convertido en un problema ambiental en la ciudad de Bogotá debido a las cantidades generadas que han superado 16 millones de toneladas anuales en el 2022. Sin embargo, los RCD pueden ser aprovechables, como los residuos de concreto, maderas, plásticos y metales, para su conversión en agregados reciclados. Por esta razón, el objetivo principal de esta investigación consiste en validar los beneficios ambientales y económicos que se obtienen por el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá. Para esto, se emplearon fuentes primarias, como encuestas para establecer la situación actual del sector; y secundarias, correspondientes a las bases de datos con convenio de la Universidad Piloto de Colombia. De esta manera, fue posible realizar matrices de categorización, tabulación de datos y obtener gráficos descriptivos que permitieron de manera específica la explicación de las brechas económicas y ambientales de los agregados naturales en comparación con los beneficios de los agregados reciclados en la construcción de vías en la ciudad de Bogotá D.C.

Palabras clave: *RCD, pavimento, agregados, construcción*

Abstract

Road projects demand the use of construction materials and in turn generate construction and demolition waste (CDR). These RCD have become an environmental problem in the city of Bogotá due to the quantities generated that have exceeded 16 million tons annually in 2022. However, RCD can be used, such as waste concrete, wood, plastics and metals, for conversion into recycled aggregates. For this reason, the main objective of this research is to validate the environmental and economic benefits obtained from the use of recycled aggregates in the construction of roads in Bogotá. For this, primary sources were used, such as surveys to establish the current situation of the sector; and secondary, corresponding to the databases with an agreement with the Piloto University of Colombia. In this way, it was possible to make categorization matrices, data tabulation and obtain descriptive graphs that specifically allowed explaining the economic and environmental gaps of natural aggregates in comparison with the benefits of recycled aggregates in the construction of roads in the city of Bogotá D.C.

Keywords: RCD, pavement, aggregates, construction

Tabla de Contenido

1	Introducción	13
2	Definición del Problema	16
2.1	Antecedentes	16
2.2	Justificación	17
2.3	Planteamiento	19
3	Objetivos	21
3.1	Objetivo General	21
3.2	Objetivos Específicos	21
4	Marco Teórico.....	22
4.1	Fundamentos de los RCD y Agregados para la Construcción de Vías.....	22
4.1.1	Generalidades de las Vías.....	22
4.1.2	Agregados para la Construcción de Vías.....	23
4.1.3	Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	27
4.2	Sostenibilidad de las Construcciones Viales	32
4.2.1	Impacto Ambiental por la Producción de Agregados.....	34
4.2.2	Impacto Económico de los Agregados	34
4.2.3	Economía Circular	35
4.3	Estado de las Vías en Bogotá.....	36

5	Marco Metodológico.....	40
5.1	Finalidad de la Investigación.....	40
5.2	Enfoque de Investigación	40
5.3	Tipo de Investigación	40
5.4	Población y Muestra	41
5.5	Fuentes de Información	42
5.6	Instrumentos para la Recolección de Información	43
6	Análisis de Resultados.....	50
6.1	Diferencias entre las Regulaciones Ambientales sobre el Aprovechamiento de RCD y los Requerimientos Técnicos para los Materiales de Construcción de las Vías en Bogotá	50
6.1.1	Regulaciones Ambientales	50
6.1.2	Requerimientos Técnicos	52
6.1.3	Percepción de los Expertos en Vías sobre el Uso de Agregados Reciclados	53
6.2	Brechas Ambientales y Económicas entre los Usos de los Agregados Naturales y los Beneficios Potenciales que Generarían los Agregados Reciclados.	57
6.3	Uso Eficiente de los Agregados Reciclados en la Construcción de Vías en Bogotá.....	66
7	Conclusiones y Recomendaciones.....	78
8	Referencias.....	81
9	Anexos	92

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Registros de RCD en Bogotá entre el 2013 y el 2022.....</i>	28
Tabla 2 <i>Insumos de información a recolectar</i>	44
Tabla 3 <i>Cuestionario aplicado para análisis de percepción sobre el uso de agregados reciclados en la construcción de vías.....</i>	47
Tabla 4 <i>Categorización de los estudios recuperados</i>	58

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Esquema de los componentes de un pavimento.....</i>	23
Figura 2 <i>Proveedores de agregados pétreos naturales para obras en Bogotá</i>	25
Figura 3 <i>Proveedores de agregados reciclados para obras en Bogotá</i>	26
Figura 4 <i>Extensión de la malla vial de Bogotá a 30 de junio de 2023</i>	37
Figura 5 <i>Estado de la malla vial de Bogotá urbana y rural</i>	38
Figura 6 <i>Nube de palabras del contenido del marco teórico</i>	43
Figura 7 <i>Opiniones relacionadas con el manejo de los RCD en la ciudad de Bogotá.....</i>	54
Figura 8 <i>Opiniones relacionadas con el uso de agregados reciclados frente a los agregados naturales</i>	56
Figura 9 <i>Trabajo en proyectos de infraestructura vial en Bogotá</i>	66
Figura 10 <i>Manejo general a los RDC.....</i>	67
Figura 11 <i>Posibilidad de aprovechamiento de los RCD en la construcción y mantenimiento de vías</i>	67
Figura 12 <i>Posibilidad de reducción de vertimientos de RCD</i>	68
Figura 13 <i>Familiarización con regulaciones y normativas referentes al aprovechamiento de los RCD.....</i>	69
Figura 14 <i>Viabilidad de incorporación de materiales reciclados en materiales para obras viales</i>	69
Figura 15 <i>Factores importantes en la selección de agregado para la construcción</i>	71
Figura 16 <i>Clasificación de los tipos de agregados seleccionados en construcción de vías.....</i>	71
Figura 17 <i>Emisión de propuesta del uso de agregados reciclados</i>	72
Figura 18 <i>Obtención de beneficios ante el uso de agregados reciclados.....</i>	73

Figura 19 <i>Limitaciones en el uso de agregados reciclados en obras viales.....</i>	74
Figura 20 <i>Ventajas de los agregados reciclados sobre los agregados naturales</i>	75
Figura 21 <i>Uso de agregados reciclados en ausencia de requisitos ambientales</i>	75

Lista de Anexos

Anexo 1. <i>Validación del instrumento de medición con experto 1</i>	92
Anexo 2. <i>Validación del instrumento de medición con experto 2</i>	93
Anexo 3. <i>Validación del instrumento de medición con experto 3</i>	94
Anexo 4. <i>Modelo carta solicitud información IDU.....</i>	95

1 Introducción

Los proyectos viales demandan el uso de materiales de construcción y a su vez generan residuos de construcción y demolición (en adelante RCD). En cuanto a los materiales de construcción en el presente estudio se abordarán los agregados (gravas y/o arenas), los cuales representan el 60% de los recursos naturales no renovables extraídos de la tierra (UPME & Universidad Industrial de Santander, 2018).

Asimismo, los RCD se han convertido en un problema ambiental en la ciudad de Bogotá debido a las cantidades generadas que han superado 16 millones de toneladas anuales en el 2022 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023), que de disponerse de forma inadecuada genera focos de contaminación de suelos y aguas superficiales. Este problema no solo es local, ni nacional, sino mundial, por lo que diferentes países han tomado medidas para gestionar y aprovechar los residuos generados en obra (UPME & Universidad Industrial de Santander, 2018).

Una de las acciones adoptadas mundialmente para solventar esta problemática es el reciclaje de los materiales minerales de los RCD, donde en algunos países aprovechan más del 95% de los residuos (Hou et al., 2012). No obstante, en Bogotá solo el 15% en promedio ha sido aprovechado entre el 2013 y 2022 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023). Teniendo en consideración las tendencias al alza del sector de la construcción, UPME & Universidad Industrial de Santander (2018) sugieren la implementación de un modelo de economía circular para maximizar el aprovechamiento de RCD y disminuir la disposición final en vertederos.

Entre las múltiples causas del bajo porcentaje de aprovechamiento de RCD en Colombia, UPME & Universidad Industrial de Santander (2018) señalan: la inconciencia ambiental, el

desconocimiento del manejo adecuado de los residuos, la falta de cultura, aplicabilidad de la normatividad para lograr que la disposición se realice en sitios y con empresas autorizadas.

Dado que los RCD pueden ser aprovechables, como los residuos de concreto, maderas, plásticos y metales. El uso de los materiales aprovechables hace parte de la gestión que permite mitigar la contaminación ambiental y disminuye el impacto que ocasiona la extracción de agregados naturales (Palacio et al., 2017).

En relación con el aprovechamiento de los RCD, se han desarrollado varias investigaciones a nivel mundial que demuestran que los RCD pueden aprovecharse para la producción de agregados reciclados, útiles para la construcción. De estas investigaciones se tiene evidencia que el uso de materiales reciclados reduce las emisiones de CO₂ como las realizadas por Marey et al. (2022); Martinez-Arguelles et al. (2019); Pavlů et al. (2019); Xing et al. (2022). Además según Ohemeng & Ekolu (2020) es posible disminuir los costos de construcción al reemplazar el agregado natural o virgen por el agregado reciclado.

Por lo anterior, partiendo de la experiencia científica, se hace necesario validar ¿Qué beneficios ambientales y económicos tiene el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá?, para aminorar el desconocimiento sobre el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición.

La presente investigación proporcionará mayor conocimiento sobre los potenciales usos de agregados reciclados en los proyectos viales de la ciudad de Bogotá, facilitará la toma de decisiones asertivas sobre cuáles son las condiciones que potencializan el aprovechamiento de los RCD en la construcción vías, desde una perspectiva ambiental y económica, contribuyendo al aumento de las construcciones sostenibles.

La investigación será de enfoque cualitativo explicativo - propositivo, donde se busca establecer las brechas técnicas, ambientales y económicas entre los usos aplicables de los agregados reciclados y los beneficios potenciales que generarían. Con estas explicaciones se pretende evaluar el uso eficiente de los agregados reciclados en los proyectos viales de la ciudad de Bogotá.

2 Definición del Problema

2.1 Antecedentes

El sector de la construcción en Colombia genera anualmente más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) de los cuales el 82% es generado en la ciudad de Bogotá (Departamento Nacional de Planeación, 2016). De los residuos generados en Bogotá, solo el 15% en promedio anual ha sido aprovechado entre el 2013 y 2022 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).

A la situación anterior, es importante resaltar que la industria de la construcción en el país consume el 60% de los recursos naturales no renovables extraídos de la tierra y genera el 30% de CO₂ (UPME & Universidad Industrial de Santander, 2018).

Debido a esta problemática en Colombia, el Gobierno Nacional ha diseñado estrategias de optimización de los materiales de construcción a través de la economía circular, buscando fortalecer el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) con el apoyo de las autoridades ambientales y las administraciones territoriales del país, para esto se ha planteado el plan de acción 6 flujos de materiales de construcción (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

En relación con el aprovechamiento de RCD, se han desarrollado varias investigaciones a nivel mundial que demuestran que los RCD pueden aprovecharse para la producción de agregados reciclados, útiles para la construcción. De estas investigaciones se tiene evidencia que el uso de materiales reciclados reduce las emisiones de CO₂ como las realizadas por Marey et al. (2022); Martinez-Arguelles et al. (2019); Pavlů et al. (2019); Xing, Tam, Le, Hao, et al. (2022). Además

según Ohemeng & Ekolu (2020) es posible disminuir los costos de construcción al reemplazar el agregado natural o virgen por el agregado reciclado. Incluso se tiene evidencia empírica que el uso de agregados reciclados contribuye a la reducción de costos de transporte, producción, eliminación y tratamiento de desechos como las desarrolladas por Sheu & Chen (2014); Papamichael et al. (2023).

No obstante, es necesario validar cuáles de esos usos pueden ser aplicados en Bogotá, garantizando el cumplimiento de los requerimientos técnicos de construcción vigentes en la ciudad.

2.2 Justificación

Los RCD se han convertido en un problema ambiental, debido a las cantidades generadas y la disposición inadecuada que genera focos de contaminación de suelos y aguas superficiales. Este problema no solo es local, ni nacional, sino mundial, por lo que diferentes países han tomado medidas para gestionar y aprovechar los residuos generados en obra (UPME & Universidad Industrial de Santander, 2018).

Una de las acciones adoptadas mundialmente para solventar esta problemática es el reciclaje de los materiales minerales de los RCD, donde en algunos países europeos aprovechan más del 95% de los residuos. En Bogotá, generalmente los RCD se disponen en vertederos o escombreras. Teniendo en consideración las tendencias al alza del sector de la construcción, UPME & Universidad Industrial de Santander (2018) sugieren la implementación de un modelo de economía circular para maximizar el aprovechamiento de RCD y disminuir la disposición final en vertederos.

Análogamente Bon & Hutchinson (2000) afirman que, a medida que aumenta la producción de la construcción es más difícil implementar los objetivos de la construcción sostenible. En este sentido, Det Udomsap & Hallinger (2020) manifestaron que las preocupaciones por la sostenibilidad tienen implicaciones en la selección del sitio, el uso de la tierra, las prácticas de diseño, la selección y aplicación de materiales y la gestión de proyectos.

En Colombia, “a pesar de que la construcción sostenible ha tenido una penetración importante en la actividad constructora del país, y que se espera continuar con esta tendencia de crecimiento, aún existe un camino muy largo por recorrer en el proceso de transformación de la industria hacia la sostenibilidad” (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2021).

Adicionalmente, Chen et al. (2019) afirman que es necesario desarrollar un marco de toma de decisiones para que las partes interesadas evalúen las ventajas y desventajas de elegir agregado reciclado o agregado natural y sugieren avanzar en investigaciones para cerrar las brechas entre la comunidad científica y la práctica industrial sobre el reciclaje de RCD. A su vez, Blengini & Garbarino (2010) invitan a demostrar que el reciclaje es tanto económica como ambientalmente sostenible, en comparación con la extracción en canteras de agregados naturales para lograr que los agregados reciclados desempeñen un papel positivo en el suministro sostenible.

Por lo anterior, la presente investigación proporcionará mayor conocimiento sobre los usos de agregados reciclados aplicables a los proyectos viales de la ciudad de Bogotá, facilitará la toma de decisiones asertivas sobre cuáles son las condiciones que potencializan el aprovechamiento de los RCD en la construcción de vías, desde una perspectiva técnica, ambiental y económica, contribuyendo al aumento de las construcciones sostenibles.

Desconocer las aplicaciones de RCD y sus respectivos beneficios ambientales y/o económicos limitan el grado de aprovechamiento de los residuos, afectando el medio ambiente en el sector de la construcción representados en emisiones de CO₂, explotación de canteras para la producción de agregados y la necesidad de zonas para la disposición de residuos en vertederos.

2.3 Planteamiento

Entre las principales causas del bajo aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia, es posible señalar aspectos como la falta de conciencia ambiental, el desconocimiento en el manejo adecuado de los residuos, la falta de cultura en la gestión de estos materiales y la necesidad de aplicabilidad de la normatividad para garantizar una disposición adecuada en sitios autorizados. Estos factores, según el informe de la UPME & Universidad Industrial de Santander (2018) contribuyen a la problemática ambiental, social y económica asociada con la generación y gestión de los RCD, afectando tanto a la población cercana a los vertederos como a las autoridades ambientales y territoriales.

La gestión de los RCD se ha convertido en una preocupación creciente para las autoridades ambientales y las administraciones territoriales, como lo señala el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019). Esto se debe a la necesidad de abordar los desafíos asociados con los generadores de RCD, principalmente las empresas constructoras, y los gestores de estos residuos, quienes tienen la responsabilidad de aprovechar y/o disponer adecuadamente los materiales generados durante el proceso de construcción y demolición (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En este contexto, surge la necesidad de validar los beneficios ambientales y económicos del uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá. Esta validación se vuelve

crucial para abordar el desconocimiento sobre el manejo adecuado de los residuos de construcción y demolición, así como para promover prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de estos materiales en la ciudad.

El objetivo de esta investigación es validar los beneficios ambientales y económicos que se obtienen por el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá. Al hacerlo, se espera contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas para el manejo de los RCD, fomentar la adopción de prácticas sostenibles en el sector de la construcción y promover el uso responsable de los recursos naturales en el contexto urbano.

Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un estudio exhaustivo que incluye la revisión de literatura existente, la recopilación y análisis de datos empíricos, así como la evaluación de la percepción de profesionales expertos en proyectos viales de Bogotá. Se espera que los resultados de esta investigación proporcionen información valiosa que pueda ser utilizada por las autoridades ambientales, las empresas constructoras, los gestores de residuos y otros actores clave para mejorar la gestión de los RCD y promover prácticas más sostenibles en la construcción de vías en Bogotá.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Validar los beneficios ambientales y económicos que se obtienen por el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá

3.2 Objetivos Específicos

Identificar las diferencias entre las regulaciones ambientales sobre el aprovechamiento de RCD y los requerimientos técnicos para los materiales de construcción de las vías en Bogotá.

Explicar las brechas ambientales y económicas entre los usos de los agregados naturales y los beneficios potenciales que generarían los agregados reciclados.

Evaluar el uso eficiente de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá.

4 Marco Teórico

4.1 Fundamentos de los RCD y Agregados para la Construcción de Vías

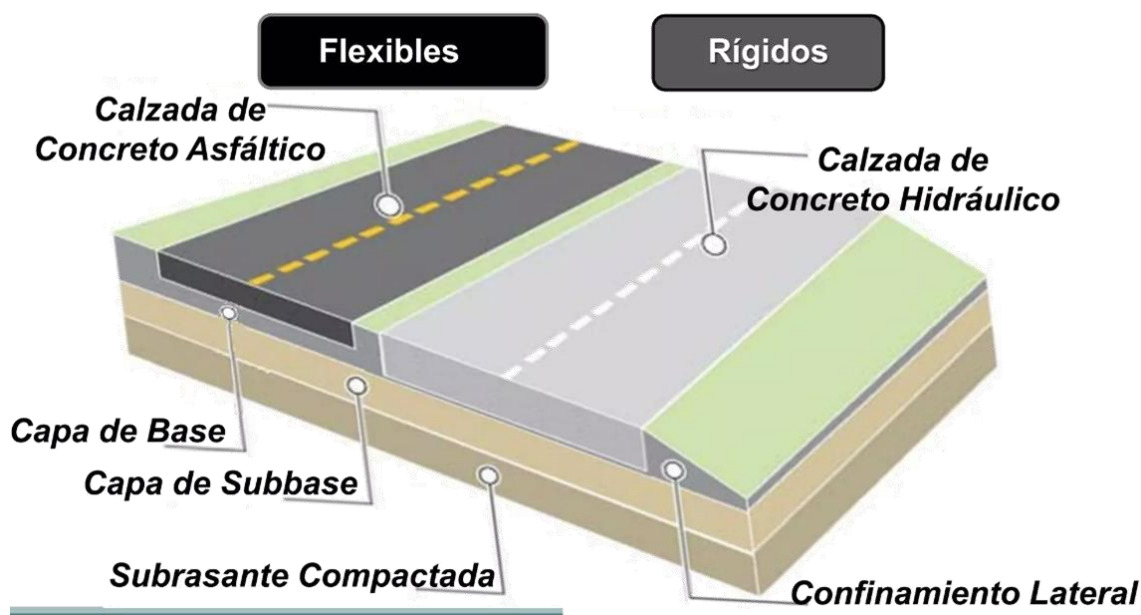
4.1.1 Generalidades de las Vías

A nivel urbano las vías pueden incluir según la guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C., las siguientes zonas (Instituto de Desarrollo Urbano, 2023b):

- Zonas vehiculares, entre borde de vía: calzada vehicular, separadores.
- Zonas de circulación exclusiva: carriles exclusivos para transporte público, estaciones de transporte público.
- Zonas laterales: andenes, ciclorrutas, zonas verdes.
- Zonas complementarias: paraderos, estacionamientos.

Cada una de estas zonas está conformada por una capa superficial que sirve para circulación de los vehículos o personas (capa de rodadura), la cual está apoyada en una o varias capas de materiales granulares que sirven de cimentación para que en conjunto soporten las cargas fijas y las cargas del tránsito de los vehículos y peatones.

De manera ilustrativa en la siguiente figura se presentan las capas que comúnmente conforman los pavimentos (flexibles o rígidos) de las calzadas vehiculares, carriles exclusivos para transporte público, andenes y ciclorrutas. La cantidad de capas, espesores y tipo de material dependerán del uso que tendrá la estructura y el diseño de esta. Además, a medida que la capa está más cerca de la capa superficial (rodadura), las especificaciones de los materiales son más exigentes. Por ejemplo: los materiales de la subrasante tienen menos requisitos técnicos que los materiales de la capa de subbase.

Figura 1*Esquema de los componentes de un pavimento*

Fuente: <https://www.slideshare.net/eliezerchirinos/mtodos-de-diseo-de-pavimentos#3>

4.1.2 Agregados para la Construcción de Vías

Los agregados son materiales sólidos granulares, usados para la fabricación de un producto de mejores características a través de su mezcla con otros materiales o sustancias con propiedades aglomerantes o a través de procesos mecánicos que los consoliden con ayuda del agua (Guaje, 2020).

Los agregados pueden ser naturales provenientes de rocas, arenas y gravas, los cuales se obtienen de minas naturales a cielo abierto, en yacimientos de arenas y gravas, así como canteras de roca dura, mediante degradaciones y la extracción de sedimentos subterráneos. Los métodos de extracción son acordes a la localización de origen, las características físicas, factores ecológicos y ambientales, mediante voladuras o trituración (Maya et al., 2023).

Actualmente también están disponibles los agregados reciclados que son materiales granulares derivados, separados o removidos de una fuente de residuos de construcción y demolición, que es tratado y/o aprovechado para la obtención de productos o subproductos (Saiz Martínez et al., 2023).

La construcción de vías en Colombia está regulada por las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), quien emite la normativa técnica que ha marcado la pauta y ha sido la guía para la construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de las carreteras del país. Para los agregados el Instituto Nacional de Vías (2022) establece los requisitos de gradación y calidad para el uso en construcción. Para la conformación de las diferentes capas de los pavimentos, el INVIAS solo contempla el uso de agregados naturales clasificados o agregado triturados de rocas y gravas.

En la ciudad de Bogotá, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) publica las especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018). En estas especificaciones está avalado el uso de agregados reciclados (AR) en los siguientes componentes de las vías:

- 413-18. Mejoramiento de la subrasante con material proveniente de la demolición de losas de concreto hidráulico. Ensayos: granulometría del material de sello y control de tamaños máximos del material reciclado de gran tamaño o rajón reciclado. Desgaste en la Máquina de los Ángeles.

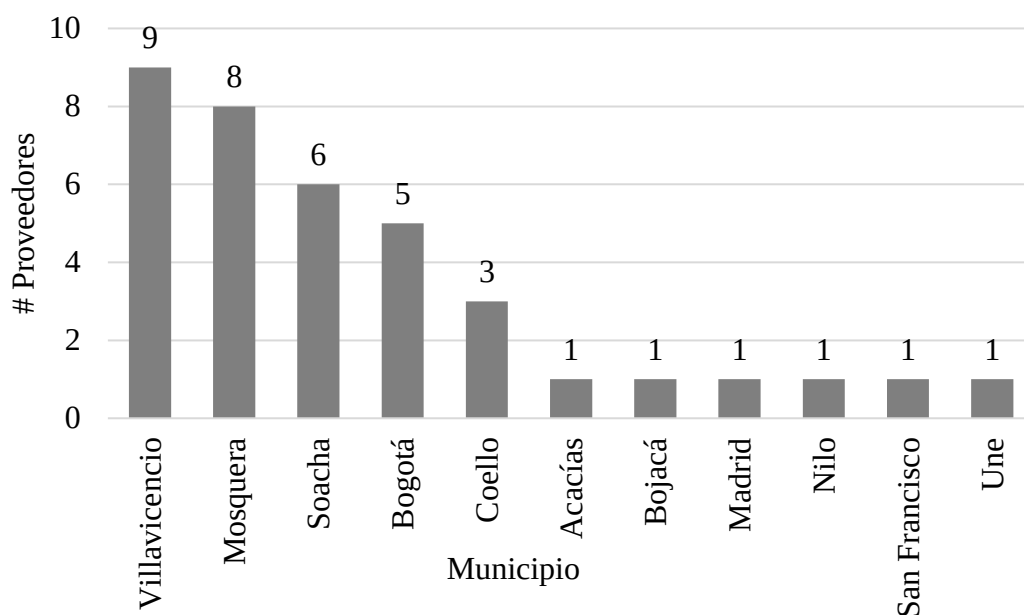
- 511-18 Base y subbase granular para vías vehiculares con agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición RCD. Define los % de AR en bases y subbases considerando la composición del AR y los requisitos de calidad de los materiales.
- 513-18 Subbase granular para vías peatonales y ciclorrutas con agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición RCD. Define los % de AR considerando la composición del AR y los requisitos de calidad de los materiales.

En general, las especificaciones de los agregados están basadas en la norma técnica colombiana NTC-174, la cual define todas los estándares, exigencias y procedimientos que deben ser empleados y aplicados en la ejecución de cualquier tipo de obra bien sea construcciones verticales o vías. Los agregados pueden constituir desde un 60% hasta un 95% en los elementos de concreto y mezclas asfálticas, así también un 100% en materiales de soporte como recebos, bases y subbases granulares (Hurtado Figueroa et al., 2018).

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) tiene registrados 37 proveedores de agregados pétreos de origen natural y 17 proveedores de agregados reciclados a noviembre de 2023, los cuales están localizados en la ciudad de Bogotá y en municipios aledaños, como puede observarse en las siguientes gráficas:

Figura 2

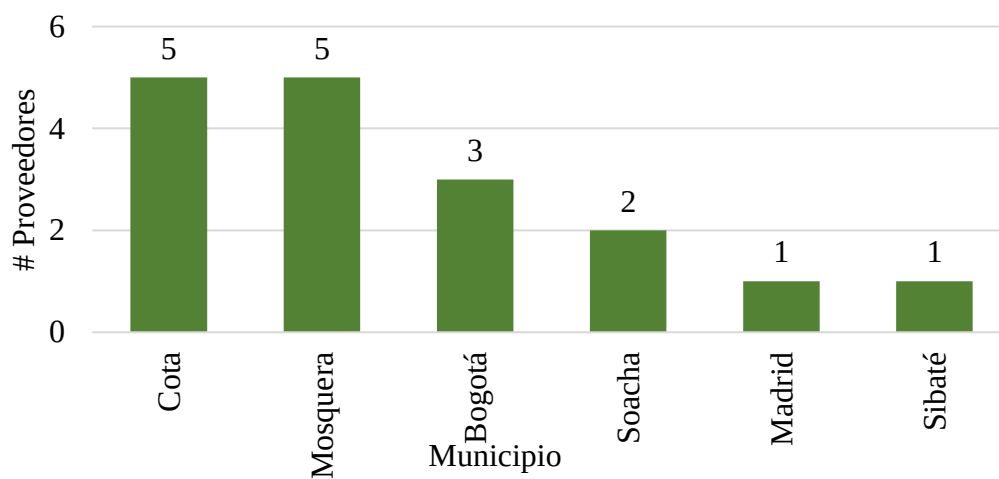
Proveedores de agregados pétreos naturales para obras en Bogotá



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (2023a)

Figura 3

Proveedores de agregados reciclados para obras en Bogotá



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (2023b)

4.1.3 Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

4.1.3.1 Composición de los RCD. Los RCD son los residuos de construcción y demolición que se generan durante el desarrollo de un proyecto constructivo, entre los cuales se pueden encontrar los siguientes tipos:

- RCD susceptibles de aprovechamiento: productos de excavación, nivelaciones y sobrantes de la adecuación, Productos usados para cimentaciones y pilotajes, Pétreos como hormigón, arenas, gravas, gravillas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos; no pétreos como vidrios, aceros, hierros, maderas, plásticos, metales, yesos, entre otros (Leiva et al., 2013).
- RCD no susceptibles de aprovechamiento: materiales aprovechables contaminados con residuos peligrosos, materiales que por su estado no pueden ser aprovechados, residuos peligrosos, y otros residuos (Cabrera et al., 2020).

El uso de los materiales aprovechables hace parte de la gestión que permite mitigar contaminación ambiental y disminuye el impacto que ocasiona la extracción de agregados naturales (Palacio et al., 2017).

4.1.3.2 Generación de RCD. En relación con los registros de generación de RCD en el país, se tiene registros de más de 22 millones de toneladas anuales considerando las ciudades principales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). Ahora bien, en Bogotá la Secretaría Distrital de Ambiente ha registrado entre el 2013 y el 2022 los siguientes indicadores relacionados con los RCD:

- Indicador del número de toneladas de escombros o residuos de construcción demolición (RCD) Controlados en la ciudad de Bogotá dispuestos adecuadamente en los sitios autorizados (Secretaría Distrital de Ambiente, 2023).
- Indicador del número de toneladas de residuos de construcción y demolición aprovechados en el distrito capital (RCDA), el cual contiene los resultados del control, evaluación y seguimiento a obras de infraestructura en el perímetro urbano del distrito capital (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

El informe más reciente de la Secretaría Distrital de Ambiente (2023), indica que entre el 2013 y el 2022 se ha reportado un promedio anual de 11,3 millones de toneladas de RCD de los cuales el 85% fue dispuesto en sitios autorizados y el 15% restante fue aprovechado en el ciclo productivo, como puede evidenciarse en la siguiente tabla:

Tabla 1

Registros de RCD en Bogotá entre el 2013 y el 2022

Año	Residuos de Construcción y Demolición Controlados Dispuestos Adecuadamente – TRCDCDA (Ton)	Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA (Ton)	Cantidad Total RCD (Ton)
2013	8.472.055	1.241.691	9.713.746
2014	8.303.963	1.281.445	9.585.408
2015	8.326.626	1.601.600	9.928.226
2016	7.493.910	1.073.356	8.567.266
2017	11.375.080	2.339.086	13.714.166
2018	11.097.105	1.752.331	12.849.436
2019	12.529.365	1.643.468	14.172.833

Año	Residuos de Construcción y Demolición Controlados Dispuestos Adecuadamente – TRCDCDA (Ton)	Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA (Ton)	Cantidad Total RCD (Ton)
2020	6.736.100	1.013.481	7.749.581
2021	8.423.119	2.124.426	10.547.545
2022	13.607.534	3.097.617	16.705.151
Promedio anual	9.636.486	1.716.850	11.353.336
Incidencia	85%	15%	100%

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente (2023)

4.1.3.3 Gestión de RCD. La gestión de los residuos de construcción y demolición establece las acciones que potencializan la reutilización, reciclaje y valorización de los RCD que se generan en toda intervención de construcción, rehabilitación y mantenimiento. La estrategia nacional de economía circular del Gobierno Nacional propende por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, y reducir la huella hídrica y de carbono (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En estos aspectos de cumplimiento obligatorio, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013), con la que pretende dar mayor relevancia a las buenas prácticas en la actividad de la construcción, con la introducción de elementos y conceptos para el manejo sustentable de los recursos agua, suelo, flora, fauna, aire y energía, así como del ciclo de los materiales para la construcción antes, durante y después de culminar los proyectos constructivos.

En este sentido, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió en octubre de 2012 la Resolución 1115 con la cual estableció que los proyectos de infraestructura debían utilizar materiales reciclados de RCD iniciando con el 5% hasta el 25% del volumen total de material usado en la obra. Posteriormente, en noviembre de 2023, la Alcaldía Mayor de Bogotá dictó el Decreto 507, en el que, entre otras disposiciones, establece metas desde el 25% de aprovechamiento de RCD generados en la obra (Artículo 44) y metas para la circularidad en la construcción de obras de infraestructura vial hasta lograr el 35% de incorporación de materiales reciclados respecto del total del material usado en la obra (Artículo 46.2).

4.1.3.4 Reciclaje de RCD. El reciclaje es la actividad mediante la cual se procesa y transforman los residuos de construcción y demolición, para valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos (Pallewatta et al., 2023). El reciclaje de residuos de construcción y demolición favorece de manera considerable el medio ambiente dando un nuevo uso a los materiales y evitando la saturación en los botaderos de disposición final, así también evita la distribución en lugares donde es totalmente prohibido e inicia un nuevo ciclo de vida que ayuda a la sostenibilidad y el desarrollo de la economía circular (Purchase et al., 2021).

En la necesidad de desarrollar tecnologías para reciclar RCD, Gebremariam et al. (2020) describen dos tecnologías a gran escala denominadas Recuperación Seca Avanzada (ADR) y Sistema de clasificación de aire de calefacción (HAS), las cuales son tecnologías a escala industrial destinadas a reciclar hormigón al final de su vida útil en partículas gruesas, finas y ultrafinas. Guaje (2020) manifestó que los agregados reciclados eran una opción viable para ser usados en la

construcción de obras civiles debido al alto potencial que presentan, desde sus características como material virgen hasta las características remanentes después de su uso.

4.1.3.5 Usos de los Agregados Reciclados. En búsqueda de la reutilización de materiales o prolongar la vida útil de los residuos de construcción y demolición RCD, se han realizado diferentes estudios a nivel mundial obteniendo valiosos resultados, que pueden ayudar a la unificación de la necesidad de vincular las nuevas construcciones en ámbitos de economía circular y la sostenibilidad en el área de la construcción.

Cabe resaltar que la NSR-10 establece en su título “C” capítulo C.3 – MATERIALES, C.3.3 - Agregados C.3.3.1 - que los agregados usados deben cumplir los requisitos en la norma NTC 174 o la ASTM C33 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2003) que permiten el uso de agregados alternativos siempre y cuando se demuestren por medio de ensayos o experiencias prácticas que estos agregados deben producir la resistencia y durabilidad adecuada.

Para el caso del uso de agregados reciclados en la construcción de vías, se ha demostrado la aplicación de agregados reciclados para la construcción de carreteras con poco tránsito (Del Rey et al., 2016) la posibilidad de uso en rellenos y capas de pavimentos (Cardoso et al., 2016). Así también se evidencian otros usos de materiales reciclados tipo cerámica como agregados en la fabricación de concretos, que en diferentes porcentajes cumplen las características físicas y mecánicas para la conformación de concretos de baja resistencia para elementos no estructurales como zanjas y andenes (López-Uceda et al., 2016).

Estudios en Colombia han demostrado que los agregados reciclados son un material cuya contribución a la resistencia mecánica lo convierte en un agregado apto para la construcción de bases y subbases de pavimentos, el cual en el ámbito práctico se deberá evitar la sustitución total

o parcial mayor al 30% ya que dificulta su trabajabilidad tiempo en mezclar y compactar (uso de material granular reciclados provenientes de residuos de construcción y demolición RCD en bases y subbases para pavimento flexibles). En general, el material a base de RCD puede ser utilizado en la conformación de las subbases de la conformación de vías en Bogotá, teniendo presente realizar los laboratorios requeridos y verificados por el experto en pavimentos que lo valla a utilizar (Ochoa-Díaz, 2021).

Lo anterior, coincide con lo que demuestra un diseño de un pavimento flexible en un tramo de vía en Girardot Cundinamarca generado por Bazurto & Mendoza (2023) en el cual con base en los laboratorios realizados en el diseño de la estructura de pavimento flexible realizados en la universidad piloto de Colombia para el uso de RCD en la base y subbase de un tramo de vía es adecuado para las obras de la conformación de la vía así como la comparación de los materiales existentes con los RCD para la condición del laboratorio CBR el cual es un indicador importante que en esta ocasión resulta mayorando la capacidad portante del terreno.

Así también en España se realizó un estudio sobre los resultados en obra y a largo plazo de la utilización de RCD la cual indica la viabilidad del uso de estos materiales en firmes de carreteras que serían las capas de base, subbase y en zahorras para el mejoramiento de subrasante (Garrido, 2015).

4.2 Sostenibilidad de las Construcciones Viales

Las construcciones civiles sostenibles, incluyendo las obras viales, incorporan en su ejecución componentes y materiales con bajos niveles de energía, materiales reciclados y

renovables, contando con un uso eficiente de energía y recursos hídricos, utilizando diseños con principio de uso de materiales y recursos locales, eficientes flexibles y fácilmente adaptables ante efectos externos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Las preocupaciones por la sostenibilidad tienen implicaciones en la selección del sitio, el uso de la tierra, las prácticas de diseño, la selección y aplicación de materiales, la gestión del proyecto y la participación de las partes interesadas (Det Udomsap & Hallinger, 2020). Una de las soluciones sostenibles a la creciente crisis de eliminación de residuos y agotamiento de las fuentes naturales de áridos provocada por el sector de la construcción, es el reciclaje de residuos de construcción y demolición, creando agregados reciclados (de Andrade Salgado & de Andrade Silva, 2022).

Los residuos de construcción y demolición se producen durante el ciclo de vida de un edificio e infraestructura, pero surgen principalmente de las fases de rehabilitación y demolición (Jiménez et al., 2013). Por ello es indispensable el entendimiento de la sostenibilidad en la construcción debido a que en Colombia actualmente se consumen alrededor de cien millones de toneladas de materiales de construcción a nivel nacional (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2021).

Blengini & Garbarino (2010) concluyeron que es necesario comprender las interacciones entre la extracción, el transporte, el reciclaje y el vertimiento de los materiales de construcción. Además, que los principales beneficios ambientales del uso de agregados reciclados son la reducción en la disposición de RCD en vertederos y en la explotación de recursos en canteras. E invitan a demostrar que el reciclaje es tanto económica como ambientalmente sostenible, en

comparación con la extracción en canteras de agregados naturales para lograr que los agregados reciclados desempeñen un papel positivo en el suministro sostenible.

4.2.1 Impacto Ambiental por la Producción de Agregados

El presente estudio abordará los impactos ambientales, particularmente las emisiones de gases efecto invernadero relacionados con la producción de agregados ya sea a través de la explotación de recursos minerales naturales (agregados naturales) o por medio del reciclaje de los RCD (agregados reciclados), a partir de análisis del ciclo de vida de los materiales sugerido por Xing, Tam, Le, Butera, et al. (2022).

El dióxido de carbono CO₂ es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de las actividades del ser humano por lo que, la valoración de emisión de CO₂ está directamente relacionada con el tipo de agregados usados en las diferentes mezclas por lo tanto se evalúa según la procedencia de los agregados (Xing, Tam, Le, Hao, et al., 2022).

Para contrarrestar estos efectos se requiere el uso de materiales de construcción sostenibles para reducir los impactos ambientales negativos, especialmente las emisiones de CO₂ y el consumo de recursos naturales (Marey et al., 2022). En este sentido se ha demostrado que la generación de CO₂ en la fabricación de concreto al utilizar agregados gruesos reciclados disminuye en diferentes casos (Azúa et al., 2019).

4.2.2 Impacto Económico de los Agregados

En la ejecución de proyectos viales un aspecto necesario profundizar en la planificación y ejecución de proyectos viales es la estimación de costos, donde los agregados juegan un papel

fundamental. Los agregados, tanto naturales como reciclados, representan una parte significativa de los costos totales de construcción, lo que hace necesario evaluar su impacto económico de manera detallada (Mah et al., 2018). En este sentido, la inclusión de la evaluación de la rentabilidad ambiental se vuelve esencial, ya que permite integrar prácticas sostenibles en la industria de la construcción y gestionar de manera más eficiente los recursos disponibles (Lima et al., 2021).

Diversas investigaciones recientes han arrojado luz sobre la viabilidad económica de utilizar agregados reciclados en comparación con los agregados naturales. Por ejemplo, estudios como el realizado por Ohemeng & Ekoru (2020) han demostrado que los costos de producción asociados con los agregados de concreto reciclado suelen ser inferiores a los de los áridos naturales equivalentes. Esto se debe a una serie de factores, como la disponibilidad de materiales reciclados a precios más bajos y la reducción de costos de transporte y procesamiento al utilizar materiales locales y previamente procesados (Sheu & Chen, 2014).

Además de los costos directos de producción, también es importante considerar los costos asociados con la gestión de residuos y la disposición final de los materiales. En este sentido, el uso de agregados reciclados puede generar ahorros adicionales al reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos y disminuir los costos de eliminación y tratamiento de desechos. Estos ahorros pueden contribuir significativamente a mejorar la rentabilidad económica de los proyectos viales y a promover prácticas más sostenibles en la industria de la construcción (Papamichael et al., 2023).

4.2.3 Economía Circular

La economía circular es un modelo que propone mantener la utilidad y el valor de los recursos a través del tiempo, de forma que se analiza todo el ciclo de vida de construcción de las

vías, reutilizando materiales y aprovechando residuos minimizando la extracción de materiales vírgenes ahorrando los sobre costos en los que se incide a la vez que la naturaleza recibe menos emisión de CO₂, generando ahorro de materiales y energía en la producción, que se puede representar en la disminución de los costos evitando pérdidas para la industria y los consumidores. Esto deriva en la generación de nuevas estrategias de diseño y construcción (Eberhardt et al., 2022). Teniendo en cuenta el proceso de producción de agregados y el consumo de recursos naturales es necesario prestar especial atención a la sustitución de materiales ayudando a la economía circular (Alves & Sanjurjo-Sánchez, 2015).

4.3 Estado de las Vías en Bogotá

El sistema vial de la ciudad de Bogotá está compuesto por las siguientes mallas, según lo establece el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la Alcaldía Mayor de Bogotá (Decreto 190 de 2004):

- Malla vial arterial principal: Es la red de vías de mayor jerarquía, que actúa como soporte de la movilidad y la accesibilidad urbana y regional y de conexión con el resto del país (Moragues et al., 2023).
- Malla arterial complementaria: Es la red de vías que articula operacionalmente los subsistemas de la malla arterial principal, facilita la movilidad de mediana y larga distancia como elemento articulador a escala urbana (Liu et al., 2020).
- Malla vial intermedia: Está constituida por una serie de tramos viales que permean la retícula que conforma las mallas arterial principal y complementaria, sirviendo como alternativa de circulación a éstas. Permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal (Kramers, 2014).

- Malla vial local: Está conformada por los tramos viales cuya principal función es la de permitir la accesibilidad a las unidades de vivienda (Moragues et al., 2023).
- Malla vial rural: Vías que comunican los asentamientos humanos entre sí, entre veredas, con la ciudad y la región (Burghardt et al., 2022).

La malla vial urbana y rural de Bogotá está conformada por 14.587,85 km-carril (Instituto de Desarrollo Urbano, 2023b) distribuidos de la siguiente manera:

Figura 4

Extensión de la malla vial de Bogotá a 30 de junio de 2023



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (2023a)

El diagnóstico más reciente del estado de la malla vial urbana y rural de Bogotá se llevó a cabo en junio de 2023, donde el IDU determinó la condición funcional de la malla vial urbana y rural de Bogotá D.C mediante la evaluación superficial de los pavimentos que la conforman y calculó los indicadores índice de condición del pavimento (PCI) y el índice de condición de vías

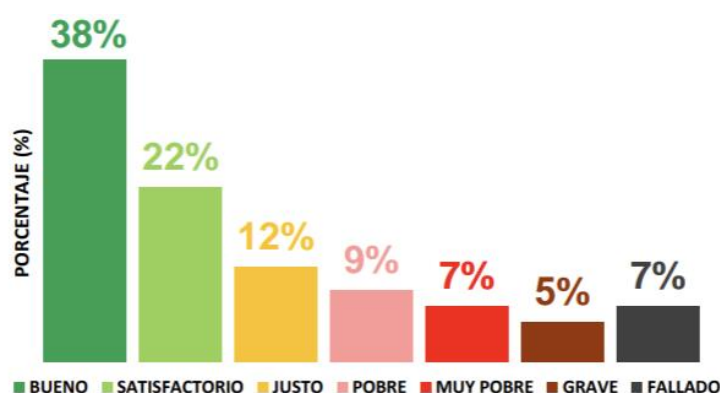
sin superficie (URCI) a partir de la medición de diferentes parámetros, como la rugosidad, la textura, la deformación y la fisuración del pavimento (Instituto de Desarrollo Urbano, 2023a).

Estos índices se emplean en vías de la malla vial urbana y rural con superficie de rodadura flexible, rígida o articulada (PCI) y en vías con superficie en afirmado que se encuentren en la malla vial rural de la ciudad (URCI).

El resultado de los índices PCI y URCI se clasifica en una escala de siete categorías de estado, que van desde "muy bueno" hasta "muy pobre". El desglose del estado de la malla vial de la ciudad de Bogotá al 30 de junio de 2023 muestra que el 60% de las vías se encuentran en un estado bueno o satisfactorio, como se observa en la siguiente gráfica:

Figura 5

Estado de la malla vial de Bogotá urbana y rural



Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano (2023b)

A partir de estos diagnósticos, el IDU planea las intervenciones en la malla vial de la ciudad.

5 Marco Metodológico

5.1 Finalidad de la Investigación

El presente estudio tiene una finalidad aplicada y también se asocia con la mejora de procesos y métodos, toda vez que busca explicar las brechas técnicas, ambientales y económicas entre los usos de agregados naturales y los beneficios potenciales que generarían los usos de agregados reciclados a partir de investigaciones previas donde ha sido evidenciado que estos materiales pueden ser utilizados en la construcción de vías, además de la evidencia empírica sobre las ventajas y desventajas del uso de agregados reciclados en lugar de agregados naturales.

5.2 Enfoque de Investigación

La investigación es de enfoque cualitativo, donde se busca validar los beneficios ambientales y económicos que se obtienen por el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá, partiendo del análisis de las diferencias técnicas, ambientales y económicas entre el uso de agregados naturales utilizados tradicionalmente y los agregados reciclados como un material innovador. Para finalmente evaluar el uso eficiente de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá que potencialice los beneficios ambientales y económicos que generaría este material.

5.3 Tipo de Investigación

El alcance de la investigación es explicativo y propositivo para la cual se recolectarán datos cualitativos de la siguiente manera:

- A partir de las investigaciones científicas realizadas a nivel mundial, se identificarán en qué elementos de las vías es técnicamente viable el uso de agregados reciclados procedentes de RCD.
- Analizando las evidencias empíricas comparativas del uso de agregados reciclados frente a los agregados naturales, se establecerán las brechas económicas y ambientales de cada material.
- Para identificar si es posible obtener beneficios o no por el uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá, se recolectarán datos de la percepción y/o opinión de expertos en proyectos viales de la ciudad y conocedores de las regulaciones locales correspondientes.

5.4 Población y Muestra

Dado que el análisis del uso de los agregados reciclados está enfocado a la construcción de vías en Bogotá, se considera que la población a investigar corresponde a los profesionales expertos en proyectos viales, particularmente en la ciudad de Bogotá, cuyo conocimiento y experiencia, garantizan la obtención de información relevante sobre el uso de agregados reciclados en las vías de la ciudad.

La muestra por estudiar será no probabilística, de carácter propositiva, dirigida a los profesionales que tienen experiencia en el área técnica de los contratos de infraestructura vial o directamente en el IDU, seleccionados como población objeto de estudio, con la cual se busca la percepción de los profesionales en cuanto al uso de los agregados reciclados en la construcción de vías. Según (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018), las muestras no probabilísticas o

dirigidas logran obtener los casos que interesan al investigador y que llegan a ofrecer una gran riqueza para la recolección y el análisis de los datos.

Para la estimación de la muestra se tuvo en cuenta que para el año 2023, cerca de 60.000 ingenieros civiles trabajaron en vías en Bogotá, destacando que se estima que, en promedio, entre el 10% y el 20% de la fuerza laboral en proyectos de infraestructura vial está compuesta por ingenieros civiles (Benavides et al., 2023). Por esta razón, se usó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{(N * e^2) + (Z^2 * p * q)}$$

Donde: n: Tamaño de muestra; Z: Nivel de confianza; N: Población de estudio; e: Error de estimación; p: Probabilidad de éxito; q: Probabilidad de fracaso.

$$n = \frac{1,645^2 * 0,5 * 0,5 * 60000}{(60000 * 0.09^2) + (1,645^2 * 0,5 * 0,5)} = 83,45 \approx 84$$

De esta manera, se estableció una muestra de 84 personas, a las cuales se les aplicó la encuesta y de donde se procedió a realizar la tabulación y gráficos correspondientes.

5.5 Fuentes de Información

La información requerida para la investigación acerca del uso de los agregados reciclados será recolectada de fuentes secundarias y primarias. Se procedió a recopilar información de fuentes primarias mediante la realización de una encuesta a personas con experiencia o conocimiento en construcciones viales en Bogotá. Antes de la aplicación, el cuestionario fue validado por tres expertos en el campo. Luego de esta validación, la encuesta se distribuyó a través de Microsoft Forms.

En cuanto a las fuentes secundarias, se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando las bases de datos disponibles de la Universidad Piloto de Colombia, como Science Direct, SpringerLink, ResearchGate, Scielo y Google Académico, entre otras. Se utilizaron palabras clave como " construction and demolition waste", "recycled aggregates", "road construction", y términos de fuentes de DeCS, MeSH y Emtree, junto con operadores booleanos como AND, OR y NOT, para refinar la búsqueda.

De los resultados obtenidos, se aplicaron filtros para seleccionar aquellos con fecha de publicación posterior a 2019, publicados en revistas indexadas y escritos en inglés o español, lo que resultó en un total de 8 fuentes de referencia, las cuales fueron desglosadas en una matriz de categorización (Tabla 4).

5.6 Instrumentos para la Recolección de Información

Para la recolección de la información primaria se identificaron las palabras clave del marco teórico que soporta la investigación y se constituyen en las variables que determinan el comportamiento de la eficiencia por el uso de material reciclable por medio de una nube de palabras (Figura 6).

Figura 6

Nube de palabras del contenido del marco teórico



Basado en la nube de palabras de la .

Figura 6, fueron identificadas las siguientes variables e insumos de información requeridos para abordar el estudio sobre los beneficios del uso de agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá:

Tabla 2

Insumos de información a recolectar

Variable	Indicador	Insumos de Información
Residuos de demolición y construcción - RCD	Manejo de los residuos de demolición y construcción en Bogotá	El manejo de los residuos de demolición y construcción – RCD – requiere un control de las entidades gubernamentales en Bogotá: • La disposición de RCD genera impactos ambientales y sociales • ¿La disposición actual de los RCD es adecuada? • ¿Qué entidades controlan la disposición de los RCD?

Variable	Indicador	Insumos de Información
		• ¿Existen normas que regulan la disposición de los RCD? • ¿Es posible reducir los volúmenes de RCD que llegan a los botaderos?
Agregados naturales (canteras)	Explotación de fuentes de materiales naturales (vírgenes) en Bogotá y alrededores	La extracción de materiales para la producción de agregados para la construcción de vías está agotando los recursos naturales: • La extracción de materiales está regulada por las autoridades ambientales y mineras. • La extracción y producción de agregados naturales genera impactos ambientales y sociales. • Los agregados naturales cada vez son más costosos. • Las canteras se están localizando más alejadas de los centros poblados, por ende, las distancias de transporte de los agregados naturales cada vez son mayores
Agregados reciclados de RCD	Reciclaje de RCD para producción de agregados	Los RCD pueden ser reciclados para producir agregados aptos para la construcción de vías: • Los materiales para la construcción de vías deben cumplir unas especificaciones técnicas exigentes • ¿En qué componentes (capas) de las vías es viable técnicamente el uso de agregados reciclados? • ¿Existen registros del aprovechamiento de RCD en las construcciones de Bogotá? • ¿Considera que el uso de agregados reciclados puede ser beneficioso para los constructores? • ¿Conoce proveedores de agregados reciclados? • ¿Los proveedores de AR están más alejados de la ciudad que las canteras? • La producción de agregados reciclados genera impactos ambientales y sociales
Cumplimiento de la normatividad sobre el	Metas distritales para incentivar el uso de agregados reciclados	La Alcaldía Mayor de Bogotá busca implementar en la ciudad un modelo circular para la gestión de RCD:

Variable	Indicador	Insumos de Información
aprovechamiento de RCD		• Existen normas y regulaciones que promueven la reducción de los RCD. • Las empresas constructoras de vías deben cumplir con el aprovechamiento de RCD. • ¿Cómo deben separarse los RCD para potenciar su aprovechamiento? • El uso de agregados reciclados en la construcción de vías genera beneficios/incentivos a las empresas. • ¿Las metas de aprovechamiento de RCD en la ciudad son viables? • Existen limitaciones para aprovechar los RCD.
		Comparación de los impactos ambientales - económicos - sociales en la producción de agregados naturales vs agregados reciclados:
Sostenibilidad en la producción de agregados	Identificación de la producción de agregados más sostenible	• La producción de agregados naturales genera impactos ambientales más negativos que la producción de agregados reciclados. • Las distancias de transporte inciden sustancialmente en los impactos ambientales • La producción de agregados naturales es más costosa que la producción de agregados reciclados • La producción de agregados reciclados genera impactos sociales más positivos que la producción de agregados naturales

A partir de los insumos de información de cada variable, fue diseñado un cuestionario inicial de 12 preguntas cerradas que fue sometido a juicio de tres expertos, quienes determinaron en una escala del 1 al 5 si las preguntas y sus opciones de respuesta eran claras, precisas, objetivas y coherentes con las variables definidas en el diseño del instrumento.

Las puntuaciones y sugerencias de los expertos se encuentran en Anexo 1, 2 y 3, las cuales fueron analizadas por los investigadores para producir un cuestionario ajustado antes de ser

aplicado a la muestra objeto de estudio, donde se definieron las siguientes 13 preguntas y opciones de respuesta:

Tabla 3

Cuestionario aplicado para análisis de percepción sobre el uso de agregados reciclados en la construcción de vías

No.	Pregunta	Opciones de respuesta
1	¿Trabaja o ha trabajado usted en proyectos de infraestructura vial en Bogotá?	a. SI b. NO
2	¿Qué manejo generalmente le ha dado a los residuos de demolición y construcción (RCD) en las obras donde ha trabajado?	a. DISPOSICIÓN EN SITIOS AUTORIZADOS b. CLASIFICACIÓN Y REUTILIZACIÓN EN OBRA c. OTRO
3	¿Considera que es posible aprovechar los RCD en la construcción y mantenimiento de vías en Bogotá?	a. SI b. NO c. NO SABE
4	Anualmente se disponen más de 9 millones de toneladas de RCD en sitios autorizados (escombreras) en Bogotá ¿Cómo considera Usted que es posible reducir el vertimiento de RCD en la ciudad?	a. CLASIFICAR Y REUTILIZAR EN OBRA b. RECICLAR EN PLANTA INDUSTRIAL c. NO SE PUEDE REDUCIR d. A y B
5	¿Está familiarizado con las regulaciones y/o normativas locales relacionadas con el aprovechamiento de los RCD en las obras viales?	a. SI b. NO
6		a. SI

No. Pregunta	Opciones de respuesta
¿Le parece técnicamente viable la meta de incorporar materiales reciclados en más del 20% del volumen total requerido de materiales para las obras de infraestructura vial?	b. NO c. NO SABE
7 Para usted, ¿cuál es el criterio más importante que se debe tener en cuenta al momento de seleccionar los agregados para la construcción de las vías?	a. CALIDAD b. COSTO c. OTRO
8 En su experiencia profesional, ¿qué tipo de agregados comúnmente ha utilizado en la construcción o mantenimiento de las vías?	a. AGREGADO NATURAL (AN) b. AGREGADO RECICLADO (AR) c. MEZCLA DE AN+AR
9 En los proyectos de infraestructura vial de Bogotá ¿Qué involucrado considera usted que propone el uso o no de agregados reciclados?	a. EL CONSTRUCTOR / DISEÑADOR b. LA INTERVENTORÍA / CONTRATANTE c. OTRO
10 ¿Qué beneficios o incentivos ha obtenido o cree que obtendría una empresa constructora que utilice agregados reciclados en sus obras?	a. NINGUNO b. PRIORIDAD EN CONTRATACION c. REDUCCIÓN DE COSTOS d. REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES e. OTRO
11 ¿Qué limitaciones ha encontrado o cree que existen para el uso de agregados reciclados en las obras viales?	a. NINGUNO b. FALTA DE INFORMACIÓN c. REQUISITOS TÉCNICOS EXIGENTES

No. Pregunta	Opciones de respuesta
	d. OTRO
12 Basado en su experiencia o percepción ¿Qué ventajas tienen los agregados reciclados sobre los agregados naturales para la construcción de vías?	a. NINGUNA b. MENOR IMPACTO AMBIENTAL c. MAYOR IMPACTO SOCIAL d. MENOR COSTO e. B, C y D
13 Si no fuera un requisito ambiental el uso de agregados reciclados en las obras de Bogotá ¿Usted los utilizaría en la construcción de vías? ¿por qué?	a. SI b. NO

Fuente: Elaborado por los autores

Los datos recolectados fueron procesados con estadística descriptiva para determinar la distribución de frecuencia porcentual de las respuestas recibidas, luego estos datos fueron comparados con el conocimiento existente sobre las opiniones de los expertos.

6 Análisis de Resultados

6.1 Diferencias entre las Regulaciones Ambientales sobre el Aprovechamiento de RCD y los Requerimientos Técnicos para los Materiales de Construcción de las Vías en Bogotá

6.1.1 Regulaciones Ambientales

En la ciudad de Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente, emitió el 1 de octubre de 2012 la Resolución 1115 con la cual estableció entre otros que:

ARTÍCULO 4º- (...) Las Entidades públicas y Constructoras que desarrollen obras de infraestructura y construcción al interior del perímetro urbano del Distrito Capital deberán incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los Centros de Tratamiento y/o Aprovechamiento de RCD legalmente constituidos y/o la reutilización de los generados por las etapas constructivas y de desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 5%, del total de volumen o peso de material usado en la obra a construir por la entidad anualmente.

PARÁGRAFO 1.- Cada año dicho porcentaje aumentará en cinco (5) unidades porcentuales hasta alcanzar mínimo un 25%. (Secretaría distrital de ambiente, 2012)

Es decir que, a partir de octubre de 2012, los proyectos viales, objeto del presente estudio, debían utilizar un porcentaje de materiales reciclados que debía proponerse desde los estudios y diseños de pavimentos.

En este sentido, los informes de diseño de pavimentos de los proyectos comenzaron a considerar unas cantidades de materiales reciclados dentro de los materiales requeridos para la construcción de las vías. Sin embargo, estos diseños generalmente no precisaban las especificaciones de los materiales, ni los sitios de la vía en los cuales podían colocarse y generalmente era indicado como una opción del constructor. Es decir que no había un diseño particular para las capas de los pavimentos con materiales reciclados, sino que era una atención teórica a la Resolución 1115. Lo que significa que el Constructor tenía a su cargo buscar la manera de utilizar los materiales reciclados y demostrar que éstos atenderían los requisitos del diseño de pavimentos.

Cuando en los diseños de pavimentos se indicaba dónde utilizar los materiales reciclados, en muchos casos esta indicación estaba orientada al uso en las capas de menor exigencia desde el punto de vista técnico, por ejemplo, en las capas inferiores de la vía (mejoramiento de subrasante) o en zonas de la vía con menores solicitudes de carga como son los andenes, ciclorrutas o zonas verdes.

Una vez el Constructor iniciaba la ejecución de los trabajos, debía proponer al IDU por medio de la Interventoría, especificaciones particulares de materiales que incluyeran agregados reciclados de RCD, entregar todas las evidencias de que ese material cumplía con el diseño y solo si el IDU le aprobaba esa especificación podía construir la vía con los porcentajes de materiales reciclados exigidos por la regulación ambiental local (Resolución 1115).

Por otra parte, en noviembre de 2021 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021), promulgó la Resolución 1257, con la cual estableció unas metas de aprovechamiento de los RCD generados en obra, iniciando con el 25% hasta el 75% requeridos para el año 2030. Estas

metas fueron discriminadas anualmente para la ciudad de Bogotá en el Decreto 507 de noviembre de 2023.

Además, el Decreto 507 emitido por la Alcaldía Mayor de Bogotá, en su artículo 46.2, estableció que las obras de infraestructura vial deben incorporar materiales reciclados (valorizados) de RCD desde el 20% (2023) del volumen requerido y esta proporción se incrementará un punto porcentual anualmente hasta lograr la incorporación del 35%. Contribuyendo de esta forma a la circularidad de los materiales.

En resumen, los constructores de vías tienen dos obligaciones relacionadas con los RCD: (i) Utilizar (incorporar) un porcentaje de materiales reciclados en las obras y (ii) Aprovechar un porcentaje de los RCD que genere para la construcción de la obra. Sobre el cumplimiento de estas obligaciones, fue solicitado al IDU información de carácter técnico relacionada con el diseño y construcción de vías en la ciudad entre los años 2014 y 2023 (Anexo 4); sin embargo, a la fecha de elaboración del presente trabajo, no se recibió respuesta alguna.

6.1.2 *Requerimientos Técnicos*

En relación con los requerimientos técnicos de los materiales para la conformación de las vías, el IDU es la entidad que los regula en Bogotá y hasta el año 2019 emitió una actualización a las especificaciones técnicas donde fueron incluidas tres especificaciones que validaban el uso de agregado reciclados (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018). Esta inclusión fue posible después del análisis de una serie de ensayos de campo y de laboratorio a los materiales reciclados producidos en tres plantas industriales cercanas a Bogotá (Pontificia Universidad Javeriana, 2018).

Sin embargo, dentro de las conclusiones del análisis de los materiales, los investigadores indicaron que:

Aunque se ha constatado que los agregados reciclados AR producto de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) no cumplen con todo lo exigido a un agregado natural, se ha observado en ensayos que el material en conjunto con la humedad y compactación necesarias, puede alcanzar los niveles de calidad exigidos en proyectos de infraestructura vial, por lo tanto el uso de agregados reciclados AR puede enfocarse a garantizar la calidad final de la obra, sin embargo para el desarrollo del presente contrato no se logró contar con tramos experimentales que permitieran evidenciar y validar este comportamiento, tramo al que es ideal además, realizar un seguimiento en el tiempo para garantizar la durabilidad de las aplicaciones con el agregado reciclado AR de RCD (Pontificia Universidad Javeriana, 2018).

En consecuencia, a pesar de haberse incluido en el año 2019 unas especificaciones técnicas que validan el uso de agregados reciclados en algunas capas de las vías (base, subbase y mejoramiento de subrasante), existían dudas sobre la durabilidad de las obras ejecutadas con estos materiales, principalmente por no haber una evidencia práctica (vías construidas con agregados reciclados) que permitiera la verificación en el tiempo del comportamiento de la obra ejecutada.

6.1.3 Percepción de los Expertos en Vías sobre el Uso de Agregados Reciclados

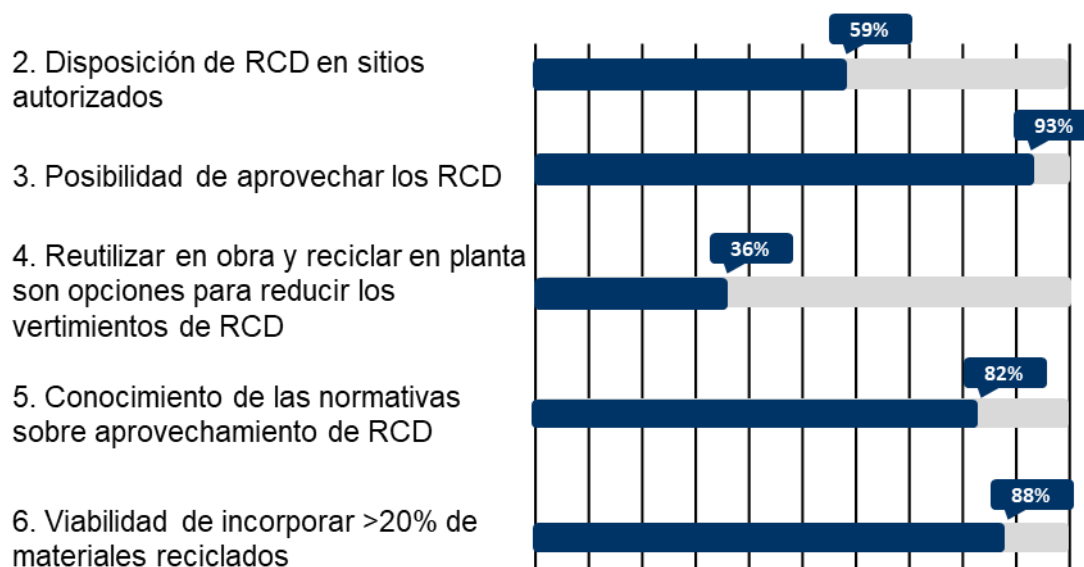
Las dudas sobre la durabilidad de las obras que se ejecuten con agregados reciclados aún persisten, cómo fue posible identificar a partir de la opinión de expertos en construcción de vías en la ciudad de Bogotá recolectada con un cuestionario digital aplicado entre el 28 de noviembre

y el 1 de diciembre de 2023, transmitido por mensaje instantáneo vía WhatsApp, iniciando con participantes expertos conocidos por los investigadores de este estudio que se agregaron a la muestra, luego se les preguntó si conocían personas con perfiles similares que pudieran participar en la toma de los datos, y una vez contactados fueron agregados a la muestra. Esto se conoce como una muestra en cadena o por redes (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Los criterios de los expertos consultados arrojaron los resultados plasmados en las siguientes gráficas. Es importante tener en cuenta que en el análisis de resultados de las 13 preguntas realizadas a los expertos no se muestra el resultado de la primera pregunta, ya que era la base para determinar que la muestra se encontraba netamente en área de estudio sobre el manejo de los agregados reciclados en las vías de Bogotá.

Figura 7

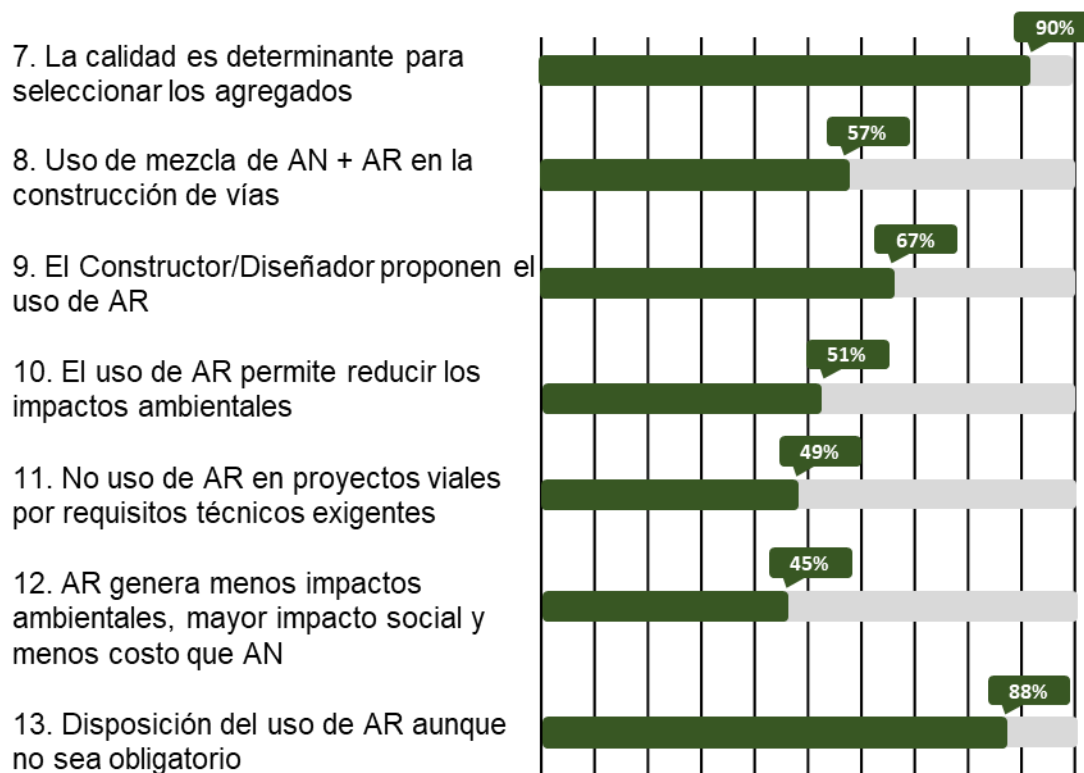
Opiniones relacionadas con el manejo de los RCD en la ciudad de Bogotá



La percepción que tienen los expertos con respecto al manejo de RCD en la ciudad es positiva, ya que consideran la importancia de gestionar adecuadamente estos residuos, para minimizar los impactos ambientales y promover la sostenibilidad, consideran que es posible poder aprovechar los RCD mediante la correcta separación y su reutilización en el lugar donde se está generando, como un mecanismo que contribuye a promover la economía circular. Todo bajo el correcto entendimiento del marco normativo y el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.

Figura 8

Opiniones relacionadas con el uso de agregados reciclados frente a los agregados naturales



En cuanto a la percepción de agregados reciclados y agregados naturales se confirma que la calidad es el factor determinante para la selección de los materiales granulares, esto podría estar vinculado con las dudas sobre la capacidad de los agregados reciclados para cumplir con los requisitos técnicos que garantizan la resistencia y la durabilidad de las obras terminadas. También se evidencia que los expertos son receptivos al uso de agregados reciclados y que ya están familiarizados con su uso mezclados con agregados naturales. Sin embargo, las dudas sobre la calidad limitan el uso de materiales reciclados aun cuando existen la percepción de que generan menos impactos ambientales que los agregados naturales.

Además, se destaca que reconocen al diseñador y al constructor como la parte encargada de proponer el uso de los agregados reciclados y que eso contribuye desde la perspectiva ambiental a disminuir la explotación de recursos naturales y la cantidad de residuos dispuestos en botaderos manejando los proyectos de forma sostenible.

6.2 Brechas Ambientales y Económicas entre los Usos de los Agregados Naturales y los Beneficios Potenciales que Generarían los Agregados Reciclados.

En la búsqueda constante de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, la industria de la construcción se enfrenta al desafío de reducir su huella ambiental y promover la eficiencia en el uso de recursos. En este contexto, el uso de agregados reciclados emerge como una alternativa prometedora para abordar tanto las preocupaciones ambientales como las económicas asociadas con los materiales de construcción convencionales.

Así, con el objetivo de comprender las diferencias fundamentales en los impactos ambientales y los costos económicos entre los agregados naturales y los agregados reciclados, fue necesario realizar una revisión detallada de los estudios recuperados por medio de una revisión sistemática de literatura, examinando cómo los agregados reciclados se comparan con los naturales en términos de sus implicaciones ambientales y económicas, proporcionando una visión más clara de los desafíos y las oportunidades que presentan para el sector de la construcción.

La Tabla 4 presenta la matriz de categorización de los estudios, presentando información como: autores, año, objetivo de la investigación, metodología-instrumentos, tipo de agregado, brechas de agregados naturales y beneficios en el uso de agregados reciclados.

Tabla 4

Categorización de los estudios recuperados

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
Los Santos- Ortega et al. (2024)	Realizar un análisis ambiental de los RCD provenientes de una planta de producción de hormigón, empleando técnicas de evaluación del ciclo de vida	Sustitución del agregado grueso natural en unas muestras de concreto de 1m ³ con RCA en diferentes proporciones.	Agregado natural: Áridos finos FA-0/6- TSL y gruesos GR- 6/12-TSL y GR- 12/20-TSL. Agregado reciclado: Grueso CA-12/20-TR	Es posible visualizar que existe un mayor costo económico por m ³ de concreto en los agregados naturales.	Ausencia de impurezas como residuos metálicos, ladrillos y pasticos, facilitando el proceso de reciclaje. La sustitución de los agregados naturales con los RCA reduce en un 3,30% las estadísticas de impacto ambiental
Deb et al. (2022)	Proporcionar una descripción dl comportamiento estructural y los detalles de las características de	Los agregados recolectados se clasificaron en tres gradaciones. Se evaluaron las propiedades de los	Agregados reciclados: RBA-12.5, RBA-9.5 y RBA-4.75	Los agregados naturales pueden tener altos costos debido al alto precio de las piedras y arenas empleadas para la construcción. La	Los agregados reciclados pueden reemplazar en gran medida los agregados naturales, minimizando los

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
	mezclas de hormigón permeable preparadas con agregados de ladrillos reciclados	agregados reciclados. Se utilizó cemento Portland grado-43 y arena para preparar las mezclas de concreto, donde se incorporó un 10% de arena por volumen de agregado grueso.		ausencia de reciclaje genera contaminación de agua, suelo y problemas de infraestructura.	efectos ambientales de los desechos de demolición y conservando los recursos naturales
Ferrández et al. (2023)	Evaluar los impactos de los procesos de áridos en la fabricación de arenas recicladas sobre la calidad del producto.	Se visualizaron las etapas de trituración secundaria y lavado para mejorar la calidad de los agregados reciclados. Se evaluaron propiedades físicas de los agregados reciclados. Luego, se examinaron las diferencias entre los morteros elaborados con árido natural,	Agregados reciclados: RA-Con de Hormigón y RA-Mix Arena mixta cerámica de demolición de muros	Deficiencias en los procesos de fabricación. Pueden presentar mayor cantidad de impurezas.	Los agregados reciclados generan una significativa reducción de los precios del proceso de fabricación. Además, se presentan excelentes propiedades físicas y mecánicas para la producción de concreto

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
		reciclado sin tratar y reciclado tratado. Se evaluaron propiedades mecánicas y físicas de los morteros.			
Díaz et al. (2022)	Comparar el impacto ambiental y económico de los agregados reciclados y los agregados naturales	Para la evaluación del impacto ambiental, se emplearon instrumentos como CML Baseline, Cumulative Energy Demand, Ecoindicator 99, Mat France e Impact 2002+, encargados de medir el impacto bajo diferentes categorías de evaluación.	Basalto, hormigón de desecho, caliza, arena, grava, polvos de hornos de cemento, vidrio usado y residuos de construcción	Alrededor del 42% de los costos de producción de agregados naturales estaban relacionados con costos ambientales, como cargos por vertederos, costos de emisiones al aire y al agua y costos de transporte, solo el 26% con costos de procesamiento.	En la mayoría de los casos el costo de los agregados reciclados es menor.
González et al. (2021)	Analizar el efecto de agregar agregados	Caracterización física y mecánica de los nuevos ecohormigones, los	Agregado natural: grauvaca silícea triturada	Considerables emisiones de CO ₂ en	Los agregados reciclados contribuyen al comportamiento

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
	reciclados mezclados finos en el desarrollo de concretos reciclados sustentables	cuales contienen diferentes porcentajes de agregado reciclado grueso y/o fino (0%, 25% y 50%). Evaluación de parámetros como densidad, aire arrastrado, consistencia, resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como la estanqueidad bajo presión	Agregado reciclado: Arena y grava mixta reciclada	los procesos de fabricación.	mecánico en comparación con los agregados naturales. Además de los beneficios económicos, es crucial tener en cuenta el impacto ambiental positivo, en términos de emisiones de dióxido de carbono por kilogramo (kgCO ₂ eq/kg).
Colangelo et al. (2021)	Realizar una evaluación ambiental comparativa de agregados reciclados considerando 5	Se seleccionaron mezclas homogéneas. La composición detallada de las mezclas incluyó cemento, agregados fino y grueso, aditivo y agua de mezcla. Se realizó	Mezcla de agregados naturales y reciclados finos y gruesos (CRCA0, CRCA30, CRCA50, CRCA70, CRCA100	Las actividades de extracción y tratamiento tienen una fuerte repercusión sobre el suelo y las especies animales y vegetales	Reducción de impactos ambientales referentes a la gestión de residuos y minería. Reducción de costes en relación al reducido

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
	mezclas de hormigón	un estudio ambiental comparativo utilizando la biblioteca Ecoinvent v.3 en SimaPro.		que hacen parte del ecosistema	consumo energético de la construcción.
Zhang et al. (2023)	Evaluar los beneficios ambientales y económicas de la producción de agregados reciclados a partir de residuos de construcción y demolición.	Se calcularon los beneficios económicos y de carbono en la producción de agregados a partir de los residuos de construcción y demolición, incluyendo a su vez factores como potencial de acidificación, potencial de toxicidad ecológica, entre otros.	Sin especificar. Estudio generalizado	Impacto significativo en el entorno urbano y en el desarrollo social y económico.	La producción de agregados reciclados (RA) consume menos energía y produce menos CO ₂ porque el proceso de producción de RA no utiliza una gran cantidad de máquinas diésel.
Contreras-Llanes et al. (2022)	Desarrollar un proceso que permita simultáneamente	Se examinaron agregados reciclados derivados de desechos de construcción y	Sin especificar. Estudio generalizado	Extracción de materias primas, requisitos de vertederos para recursos mineros.	Reducción del volumen de extracción de materias primas limitadas, reducción e

Autores y año	Objetivo	Metodología - instrumentos	Agregado natural y agregado reciclado	Brechas de agregados naturales y del no reciclaje	Beneficios de uso de agregados reciclados
	maximizar la incorporación de agregados reciclados	demolición como alternativa a los naturales. Se emplearon agregados reciclados finos y gruesos en distintas proporciones para reemplazar a la arena y la grava naturales.			residuos mineros, disminución de las emisiones de CO ₂ . Costo de producción 15% menor que con agregados naturales

La investigación detallada sobre el uso de agregados reciclados en comparación con los agregados naturales en la construcción revela una serie de diferencias significativas tanto desde una perspectiva económica como ambiental (Los Santos-Ortega et al., 2024). Desde el punto de vista económico, existe una clara tendencia hacia la reducción de costos al optar por agregados reciclados en lugar de los naturales (Colangelo et al., 2021). Esta reducción se atribuye en parte a la disponibilidad de materiales reciclados a precios más bajos y a una potencial disminución en los costos de producción asociados con su utilización. Además, la gestión más eficiente de los residuos mediante el reciclaje puede reducir los costos relacionados con la eliminación de desechos y la extracción de nuevos recursos, lo que contribuye a una mejora en la sostenibilidad económica de los proyectos de construcción (Schützenhofer et al., 2022).

En términos ambientales, el uso de agregados reciclados muestra un impacto significativamente menor en comparación con los agregados naturales. La reducción de las emisiones de CO₂, la disminución de la contaminación del agua y del suelo, y la conservación de recursos naturales son algunos de los beneficios ambientales destacados (Atta & Bakhoun, 2024). Aquí se resalta que, al reciclar materiales de construcción y demolición para producir agregados reciclados, se evita la acumulación de desechos en vertederos y se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos, lo que contribuye a la mitigación de los impactos ambientales negativos asociados con la industria de la construcción (Younes et al., 2024).

Además, varios estudios resaltan las propiedades mecánicas adecuadas de los agregados reciclados, que pueden ser comparables o incluso superiores a los agregados naturales en términos de resistencia y durabilidad. Esto sugiere que la incorporación de agregados reciclados en proyectos de construcción no solo puede ser ambientalmente beneficiosa y económicamente

rentable, sino que también puede garantizar la calidad y la seguridad de las estructuras construidas (Xiao et al., 2022).

En cuanto a los beneficios potenciales asociados con la utilización de agregados reciclados en la construcción, se destaca la contribución a la sostenibilidad ambiental. El uso de materiales reciclados reduce significativamente la cantidad de desechos enviados a vertederos y disminuye la necesidad de extraer nuevos recursos naturales (Faniño et al., 2023). Esto se traduce en una reducción de la contaminación del suelo y del agua, así como en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que puede contribuir de manera positiva a la lucha contra el cambio climático y a la conservación de los recursos naturales (Moragues et al., 2023).

Adicionalmente, el empleo de agregados reciclados puede generar beneficios económicos significativos, donde la disponibilidad de estos materiales a menores costos en comparación con los agregados naturales puede llevar a una reducción en los costos de construcción y a una mayor rentabilidad para los proyectos (Martinho et al., 2018). La gestión más eficiente de los residuos mediante el reciclaje puede reducir los costos asociados con su eliminación y el tratamiento de desechos, lo que puede traducirse en ahorros adicionales para las empresas y los gobiernos.

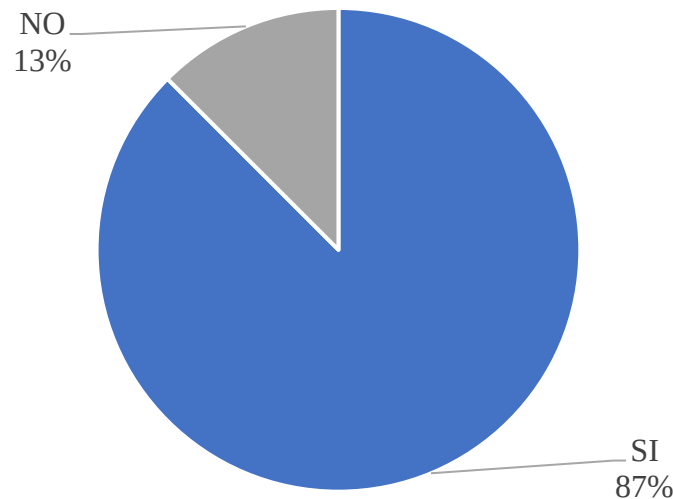
Otro beneficio importante es la preservación de los recursos naturales, ya que el uso de agregados reciclados ayuda a conservar las reservas finitas de materiales vírgenes utilizados en la construcción, como la grava y la arena, lo que contribuye a mitigar la sobreexplotación de estos recursos y a promover un modelo de desarrollo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Contreras-Llanes et al., 2022; Zhang et al., 2023).

6.3 Uso Eficiente de los Agregados Reciclados en la Construcción de Vías en Bogotá

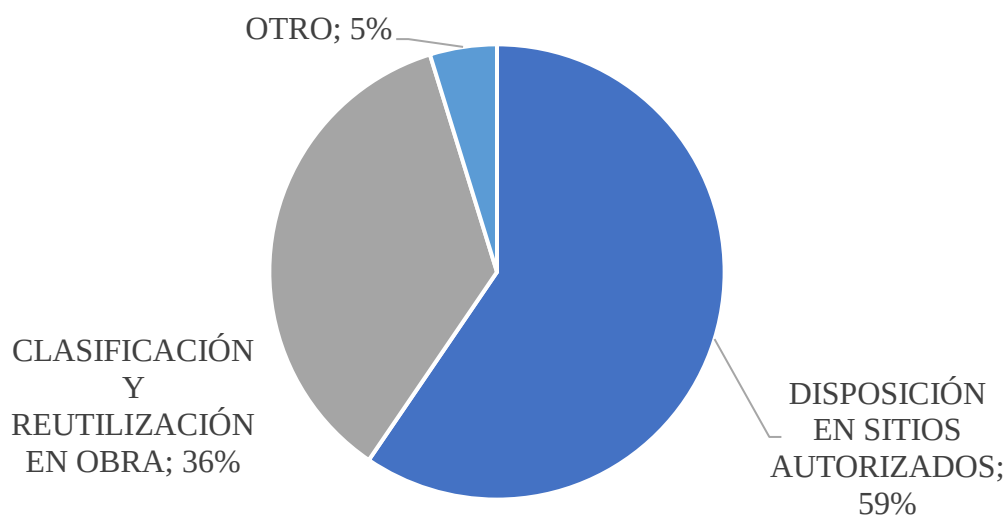
Con respecto al uso eficiente de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá, se destacó la necesidad de recopilar información a partir de fuentes primarias, razón por la cual a continuación se presentan las respuestas obtenidas del instrumento de encuesta plasmado en la Tabla 3.

Figura 9

Trabajo en proyectos de infraestructura vial en Bogotá



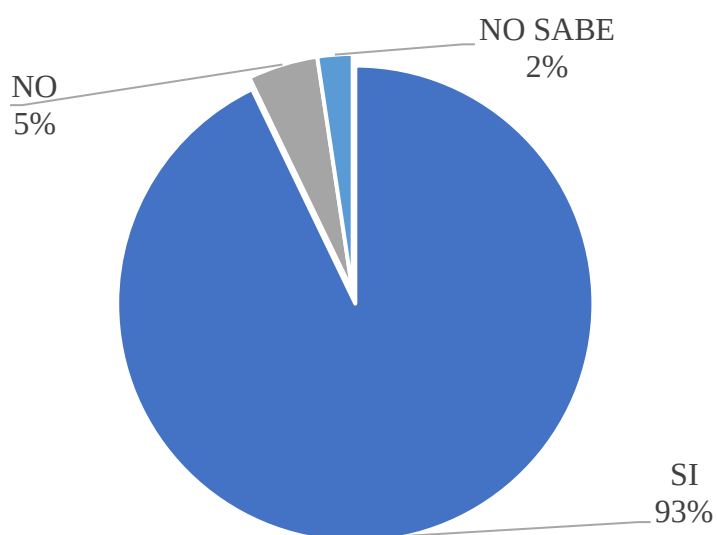
Al responder a la pregunta “¿Trabaja o ha trabajado usted en proyectos de infraestructura vial en Bogotá?” se denota que en la población hay una respuesta mayoritariamente positiva que conforma el 87% de la totalidad encuestada. Esta primera pregunta tiene doble función, la primera es entender que cantidad de personas pueden aportar en el estudio que se está realizando, y la segunda es corroborar el tamaño de muestra, pues solo las respuestas de “sí” darán paso a las siguientes preguntas de la investigación. En este caso se confirmó que la muestra a tratar será de 84 personas, dado que esta cantidad de personas corresponde al 87% obtenido (Figura 9).

Figura 10*Manejo general a los RDC*

La encuesta prosigue en la pregunta con un cuestionamiento que toma como base los trabajos anteriores de los encuestados y su experiencia sobre el manejo general de los RCD en las obras, encontrando que en un 59% de los casos estos residuos se disponen en sitios autorizados y tan solo un 36% los clasificaba y reutilizaba y una minoría le daba otro tipo de disposición (5%) (Figura 10).

A partir de la pregunta 3 se puede ver una tendencia en la encuesta donde las personas consideran que es posible aprovechar el RCD en la construcción y mantenimiento de las vías, donde 78 personas que conforman el 93% de la muestra ven viable esta alternativa.

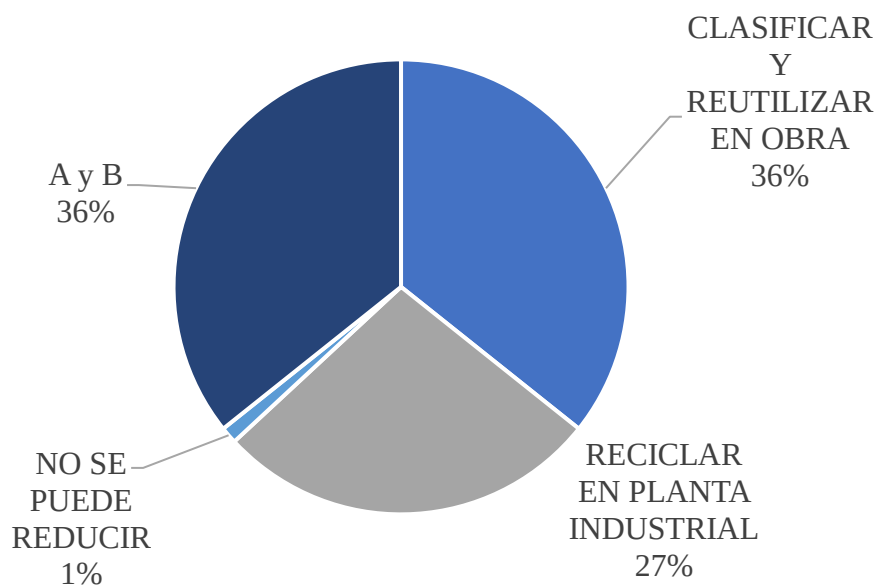
Figura 11*Posibilidad de aprovechamiento de los RCD en la construcción y mantenimiento de vías*



Tan solo un 7% de la población encuestada cree que no es posible o no sabe acerca del tema, mostrando que existe una gran probabilidad de lograr reciclar los RCD, en la construcción de obras viales.

Figura 12

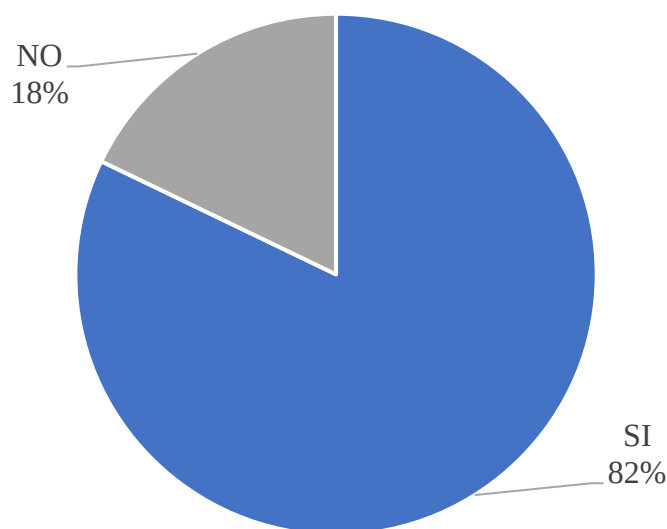
Posibilidad de reducción de vertimientos de RCD



Como se puede visualizar en la Figura 12, los datos presentan una dispersión mayor, ya que los encuestados no convergen en una sola opción, pues consideran que reciclar y reutilizar en obra o en planta industrial son buenas opciones para reducir el vertimiento de RCD, por ello las respuestas que hacen referencia a estas soluciones tienen una tendencia similar.

Figura 13

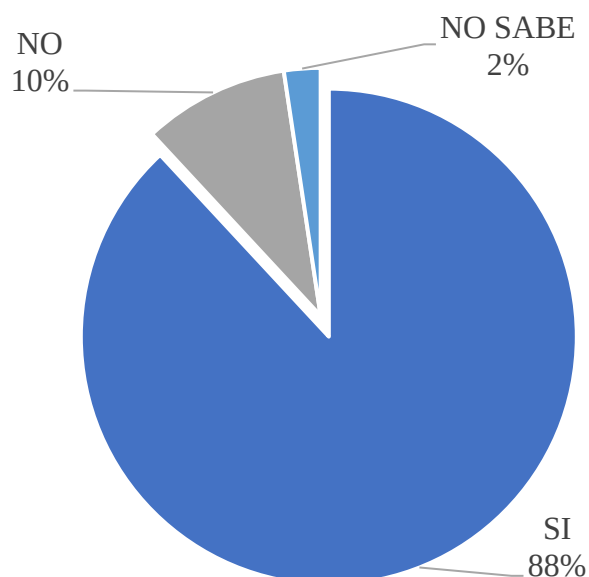
Familiarización con regulaciones y normativas referentes al aprovechamiento de los RCD



La Figura 13 permite visualizar que el 82% de las personas involucradas en la muestra denotan un conocimiento básico en las regulaciones y normativas que se relacionan con el aprovechamiento de RCD en obras viales y tan solo 18% de los encuestados no están familiarizados con ello.

Figura 14

Viabilidad de incorporación de materiales reciclados en materiales para obras viales



Según la pregunta “¿Le parece técnicamente viable la meta de incorporar materiales reciclados en más del 20% del volumen total requerido de materiales para las obras de infraestructura vial?” casi el 90% de la población estima a partir de su experticia técnica que si es viable implementar el reciclaje de los RCD en las obras viales reduciendo hasta un 20% de la materia prima que se requiere para este proceso; es decir que, es viable cumplir con la regulación vigente en esta materia. Tan solo un 10% no lo ve posible y un porcentaje pequeño no posee conocimiento sobre el tema (Figura 14).

En relación con la Figura 15, 76 de las personas que conforman la muestra afirman que la calidad es el factor más importante en el momento de la selección de agregado para la construcción de vías, esto muestra un 90% de los votos pues es un criterio bastante determinante, 3 de las personas consideran que el costo es más importante y tan solo un 6% de las personas creen que hay otro tipo de criterios.

Figura 15

Factores importantes en la selección de agregado para la construcción

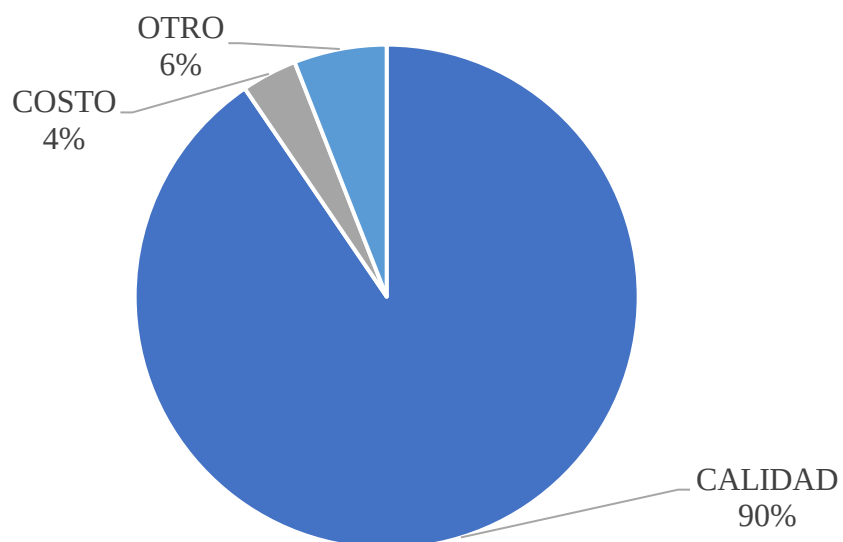
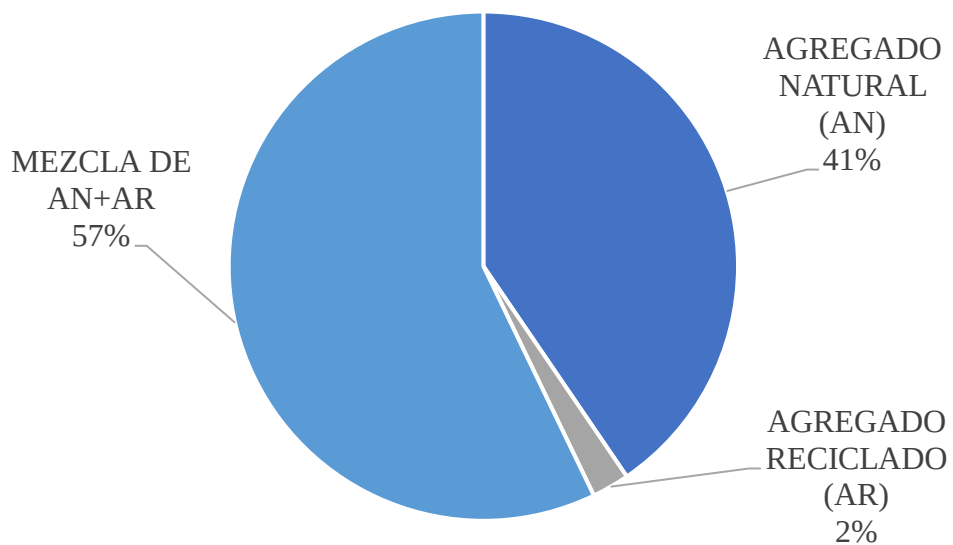


Figura 16

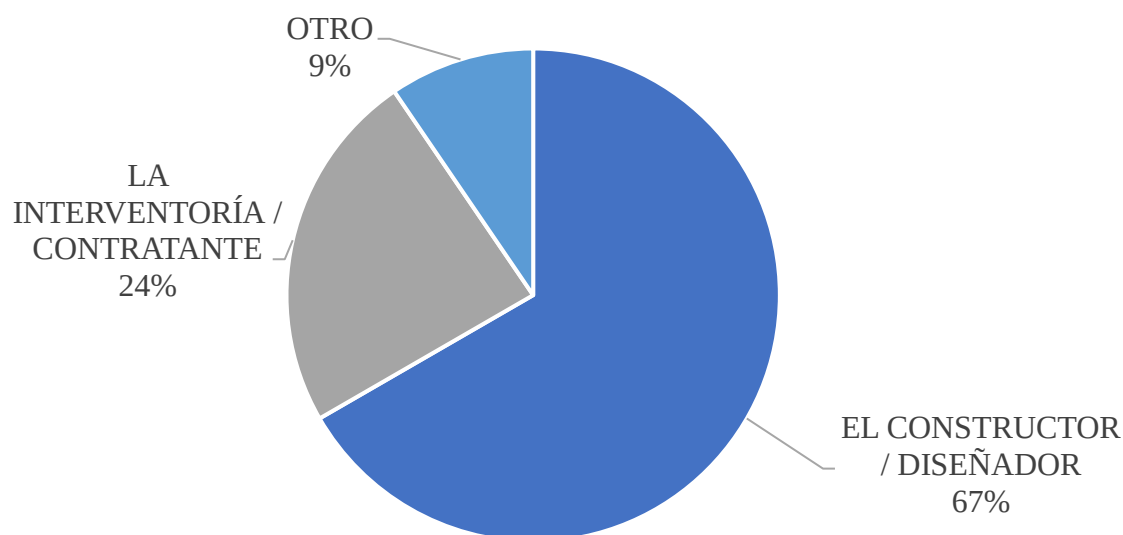
Clasificación de los tipos de agregados seleccionados en construcción de vías



La octava pregunta toma la experticia de los encuestados para clasificar que tipos de agregados utilizan normalmente para las obras de construcción y para las mallas viales. Encontrando de esta manera que la mezcla de agregados natural con agregados reciclados es el tipo de materiales más utilizados, igualmente cabe resaltar que también es muy común el uso de agregados naturales (AN), ya que es más factible encontrar de este tipo en el mercado. Se evidencia por otro lado, que el agregado reciclado, sin ninguna combinación, es el menos utilizado tan solo el 2% utiliza en su totalidad material reciclado como agregado en las construcciones.

Figura 17

Emisión de propuesta del uso de agregados reciclados

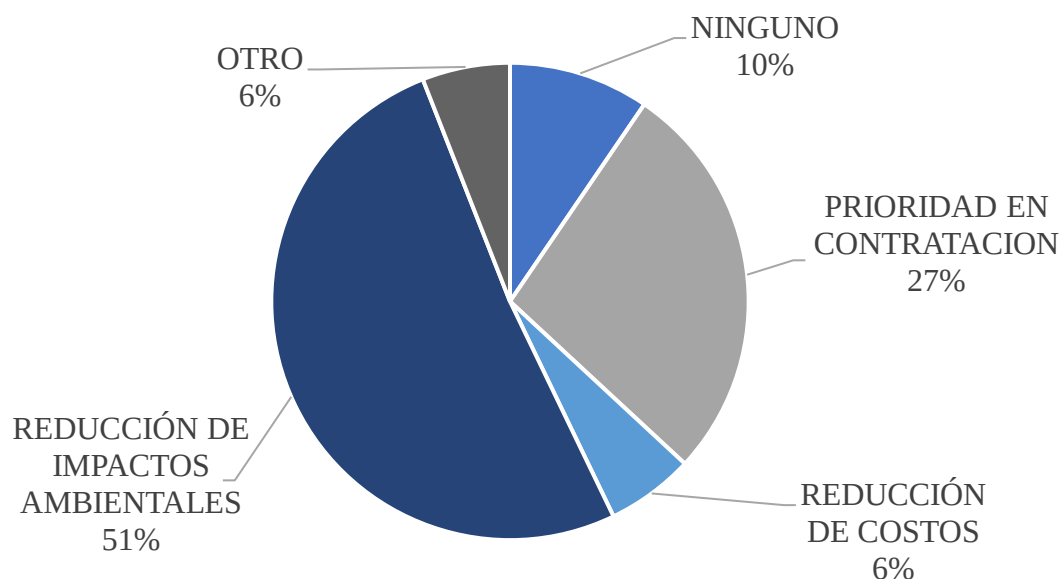


Según lo encuestado en la muestra se considera que en la mayoría de los casos el constructor y/o diseñador son los que proponen el uso de agregados reciclados, ya que normalmente son las personas que directamente planean la ejecución de la obra, un 24% considera que este tema debe ser propuesto por la interventoría y el contratante, puesto que son ellos los que

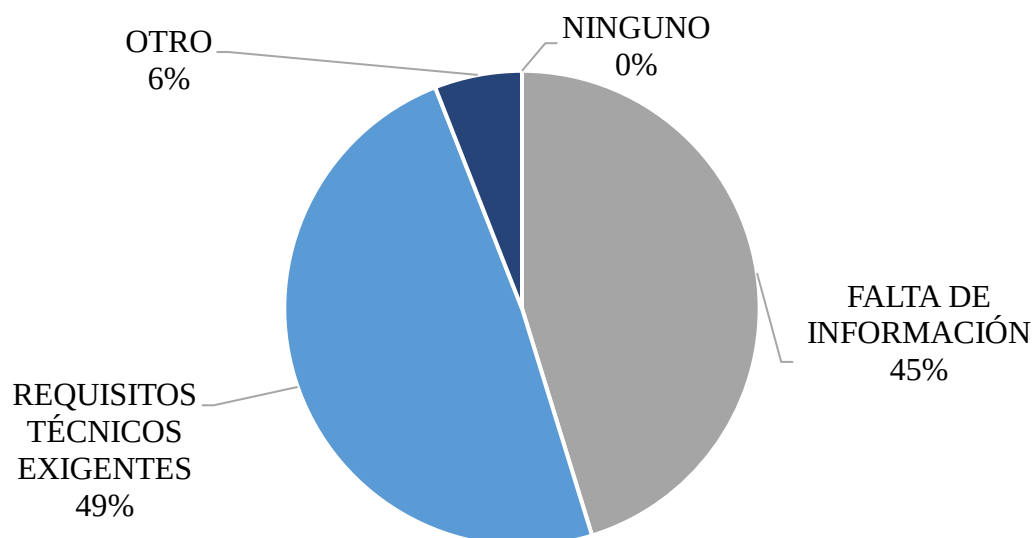
asignan los lineamientos de la construcción. Por otro lado, un 9% piensa que otro involucrado es quien debería proponer dicho reciclaje.

Figura 18

Obtención de beneficios ante el uso de agregados reciclados



La muestra expone que 43 de las 84 personas creen que las empresas obtendrían beneficio o incentivos por medio de la reducción de impactos ambientales superando el 50% de los votos. Igualmente hay un 27% que cree o ha visto como las instituciones tienen prioridad en la contratación de las construcciones en curso o planificadas. Tan solo 6% piensa que el reciclaje de RCD genera una reducción de costos u otro tipo de beneficio. Así mismo el 10% de la muestra cree que no hay ningún tipo de incentivo o beneficio al realizar el reciclaje de estos residuos.

Figura 19*Limitaciones en el uso de agregados reciclados en obras viales*

Respondiendo la pregunta 11 los encuestados han encontrado limitaciones en el uso de agregados reciclados en obras viales en su mayoría derivadas de los requisitos técnicos exigentes y la falta de información. Sobre esta técnica, aunque son los más comunes en los resultados de la encuesta, un 6% dio a conocer que hay otro tipo de limitaciones para el uso de este tipo de agregados (Figura 19).

A partir de la experiencia de las personas encuestadas el 45% de la muestra cree que las ventajas que tienen los agregados reciclados (AR) sobre los agregados naturales (AN) es que generan un menor impacto ambiental y otro 45% piensa que además de ello aumenta el impacto social y disminuye el costo. Entendiendo así que las ventajas de utilizar los AR generalmente se sustentan en el amparo del medio ambiente. A su vez solo un 10% de la población cree que un menor costo y un mayor impacto social por separado son la ventaja de utilizar los AR.

Figura 20

Ventajas de los agregados reciclados sobre los agregados naturales

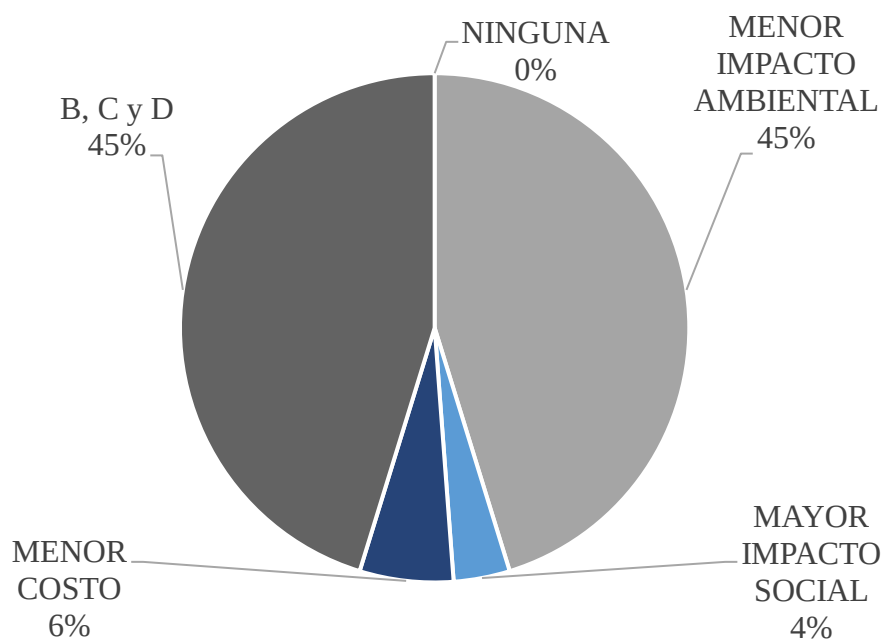
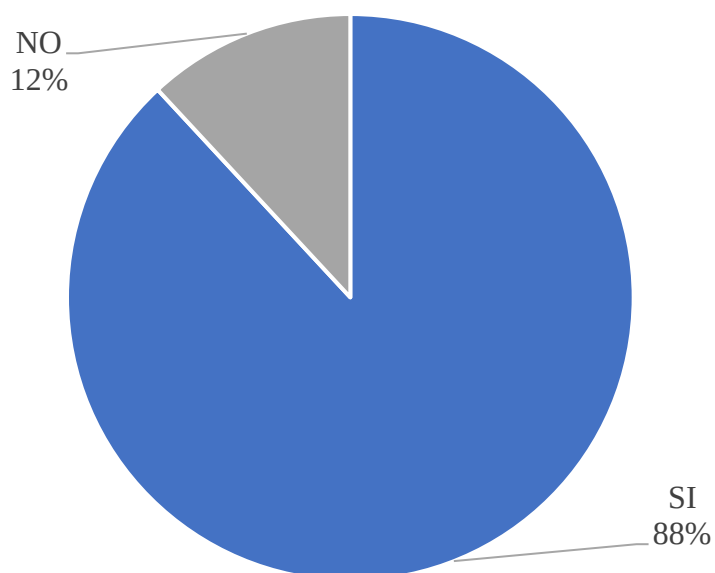


Figura 21

Uso de agregados reciclados en ausencia de requisitos ambientales



Al responder a la pregunta “Si no fuera un requisito ambiental el uso de agregados reciclados en las obras de Bogotá ¿Usted los utilizaría en la construcción de vías? ¿por qué?” los votantes dieron un veredicto afirmativo del 88%, porque las 74 personas que respondieron “si” encontraron un punto de confluencia al decir que hay más ventajas en el uso de AR que desventajas, llegando a la conclusión de que es muy viable tratar con este tipo de materiales y por ello deberían ser utilizados. El 12% restantes mantendría su postura de utilizar los agregados naturales, que normalmente se encuentran en la industria.

Ahora bien, de manera general, los resultados de la encuesta indican que existe una amplia experiencia y conocimiento entre los encuestados en cuanto a proyectos de infraestructura vial en Bogotá, lo que sugiere una base sólida para considerar nuevas prácticas como el uso de agregados reciclados.

Se observa una clara tendencia hacia el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la construcción y mantenimiento de vías, con una mayoría de los encuestados que consideraron viable esta alternativa, lo que indica una disposición positiva hacia la adopción de prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el sector de la construcción vial.

A pesar de la aceptación generalizada, se identifican algunas limitaciones en el uso de agregados reciclados en obras viales, como requisitos técnicos exigentes y la falta de información sobre esta técnica. Estos desafíos deben abordarse mediante la implementación de políticas y programas educativos que promuevan una mayor conciencia y familiaridad con el uso de agregados reciclados entre los actores involucrados en la construcción de vías.

Finalmente, es importante destacar que la calidad se presenta como el factor más relevante en la selección de agregados para la construcción de vías, lo que subraya la importancia de garantizar que los agregados reciclados cumplan con los estándares de calidad requeridos. Además, se observa que los beneficios percibidos del uso de agregados reciclados incluyen la reducción del impacto ambiental y en algunos casos, una disminución en los costos de construcción.

7 Conclusiones y Recomendaciones

Teniendo en cuenta la información obtenida a lo largo del documento, es posible plantear las conclusiones de la investigación, respondiendo de manera directa a cada uno de los objetivos específicos planteados.

En primera instancia, tras analizar las regulaciones ambientales y los requerimientos técnicos vigentes en Bogotá, es posible concluir que existen diferencias significativas entre ambos aspectos. Si bien las regulaciones ambientales establecen directrices para el manejo adecuado de los residuos de construcción y demolición (RCD), los requerimientos técnicos se centran en garantizar la calidad y durabilidad de los materiales utilizados en la construcción de vías. Esta divergencia puede generar desafíos en la implementación eficiente de prácticas sostenibles en la construcción de infraestructuras viales, destacando la necesidad de alinear y armonizar estos dos aspectos para promover un desarrollo urbano más sostenible en Bogotá.

Por otro lado, el análisis de las brechas ambientales y económicas entre los usos de los agregados naturales y los beneficios potenciales de los agregados reciclados permite concluir la existencia una serie de disparidades significativas. Mientras que los agregados naturales han sido ampliamente utilizados en la construcción de vías en Bogotá, con impactos ambientales y económicos asociados, los agregados reciclados presentan un potencial considerable para mitigar estos impactos.

Se concluye, además que la incorporación de agregados reciclados ofrece beneficios ambientales, como la reducción de residuos y la conservación de recursos naturales, así como ventajas económicas, como la disminución de costos de producción y la creación de oportunidades de negocio en la industria del reciclaje. Sin embargo, persisten desafíos en términos de

concienciación, regulación y capacitación que deben abordarse para maximizar el aprovechamiento de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá.

Es relevante concluir que el análisis del uso eficiente de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá permitió evidenciar una aceptación generalizada y una percepción positiva hacia el uso de estos materiales, así como la viabilidad técnica y ambiental de su implementación. Sin embargo, se han identificado limitaciones en cuanto a la disponibilidad de información, la familiaridad con las regulaciones y las prácticas de control de calidad. Esto subraya la necesidad de fortalecer la capacitación y concienciación de los actores involucrados, así como de establecer políticas y regulaciones claras que promuevan el uso eficiente de los agregados reciclados.

Es importante adicionar que, para la ejecución de los proyectos viales en Bogotá, tanto los diseñadores como los constructores deben cumplir con las regulaciones ambientales en cuanto al aprovechamiento de los RCD que se generen en las obras, como en la incorporación de materiales reciclados provenientes de RCD. Estas regulaciones establecen unos porcentajes de materiales que van aumentando cada año, exigiendo cada vez más el avance en investigaciones de los materiales disponibles y las posibles mejoras con adiciones de productos como cemento o cal, o mezclas con agregados naturales u otros materiales de manera que viabilicen la aplicación de estos agregados reciclados en todas las capas estructurales de la vía.

Finalmente se concluye que está demostrado con amplia evidencia empírica que el uso de agregados reciclados en la conformación de vías en Bogotá es una opción viable y puede ser sostenible, toda vez que ayuda a disminuir las presiones ambientales sobre los recursos naturales y sobre las necesidades de botaderos. Sin embargo, es indispensable avanzar con estudios técnicos

experimentales a gran escala para evaluar la calidad de las obras ejecutadas con agregados reciclados que garanticen el cumplimiento de los estándares de resistencia y durabilidad de las vías proyectadas.

8 Referencias

- Alves, C., & Sanjurjo-Sánchez, J. (2015). Conservation of stony materials in the built environment. *Environmental Chemistry Letters*, 13(4), 413–430. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0526-2>
- Atta, I., & Bakhoun, E. S. (2024). Environmental feasibility of recycling construction and demolition waste. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(3), 2675–2694. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05036-y>
- Azúa, G., González, M., Arroyo, P., & Kurama, Y. (2019). Recycled coarse aggregates from precast plant and building demolitions: Environmental and economic modeling through stochastic simulations. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1425–1434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.049>
- Bazurto, N., & Mendoza, Y. (2023). *Diseño De La Estructura De Pavimento Flexible Con Material Rcd Para La Base Y Subbase En La Carrera 19 Entre Calle 18 Y Carrera 16 Del Municipio De Girardot Cundinamarca* [Especialización]. Universidad Piloto de Colombia.
- Benavides, J., Pabón, C., & González, P. (2023). *El aporte de las concesiones mediante app de Infraestructura de transporte al crecimiento y el bienestar de bobo*.
- Blengini, G. A., & Garbarino, E. (2010). Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. *Journal of Cleaner Production*, 18(10–11), 1021–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.01.027>
- Bon, R., & Hutchinson, K. (2000). Sustainable construction: some economic challenges. *Building Research & Information*, 28(5–6), 310–314. <https://doi.org/10.1080/096132100418465>

- Burghardt, K., Uhl, J. H., Lerman, K., & Leyk, S. (2022). Road network evolution in the urban and rural United States since 1900. *Computers, Environment and Urban Systems*, 95, 101803. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101803>
- Cabrera, M., Pérez, P., Rosales, J., & Agrela, F. (2020). Feasible Use of Cathode Ray Tube Glass (CRT) and Recycled Aggregates as Unbound and Cement-Treated Granular Materials for Road Sub-Bases. *Materials*, 13(3), 748. <https://doi.org/10.3390/ma13030748>
- Cardoso, R., Silva, R. V., Brito, J. de, & Dhir, R. (2016). Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, 49, 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.021>
- Chen, W., Jin, R., Xu, Y., Wanatowski, D., Li, B., Yan, L., Pan, Z., & Yang, Y. (2019). Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: A review of the scientific literature. *Construction and Building Materials*, 218, 483–496. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.130>
- Colangelo, F., Petrillo, A., & Farina, I. (2021). Comparative environmental evaluation of recycled aggregates from construction and demolition wastes in Italy. *Science of The Total Environment*, 798, 149250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149250>
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2021). *Estado de la construcción sostenible en Colombia*.
- Contreras-Llanes, M., Romero-Pérez, M., Gázquez-González, M. J., & Bolívar-Raya, J. P. (2022). Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly

concrete paving. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 9826–9840.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-15849-4>

de Andrade Salgado, F., & de Andrade Silva, F. (2022). Recycled aggregates from construction and demolition waste towards an application on structural concrete: A review. *Journal of Building Engineering*, 52, 104452. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104452>

Deb, P., Debnath, B., Hasan, M., Alqarni, A. S., Alaskar, A., Alsabhan, A. H., Khan, M. A., Alam, S., & Hashim, K. S. (2022). Development of Eco-Friendly Concrete Mix Using Recycled Aggregates: Structural Performance and Pore Feature Study Using Image Analysis. *Materials*, 15(8), 2953. <https://doi.org/10.3390/ma15082953>

Del Rey, I., Ayuso, J., Galvín, A., Jiménez, J., & Barbudo, A. (2016). Feasibility of Using Unbound Mixed Recycled Aggregates from CDW over Expansive Clay Subgrade in Unpaved Rural Roads. *Materials*, 9(11), 931. <https://doi.org/10.3390/ma9110931>

Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos*.

Det Udomsap, A., & Hallinger, P. (2020). A bibliometric review of research on sustainable construction, 1994–2018. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120073. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120073>

Díaz, A., Nezami, S., Silvestre, J., Kurda, R., Silva, R., Martins, I., & de Brito, J. (2022). Environmental and Economic Comparison of Natural and Recycled Aggregates Using LCA. *Recycling*, 7(4), 43. <https://doi.org/10.3390/recycling7040043>

- Eberhardt, L. C. M., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2022). Building design and construction strategies for a circular economy. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(2), 93–113. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1781588>
- Fanijo, E. O., Kolawole, J. T., Babafemi, A. J., & Liu, J. (2023). A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability. *Cleaner Materials*, 9, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100199>
- Ferrández, D., Saiz, P., Zaragoza-Benzal, A., & Zúñiga-Vicente, J. A. (2023). Towards a more sustainable environmentally production system for the treatment of recycled aggregates in the construction industry: An experimental study. *Heliyon*, 9(6), e16641. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16641>
- Gebremariam, A. T., Di Maio, F., Vahidi, A., & Rem, P. (2020). Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 104911. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104911>
- González, M. D., Plaza Caballero, P., Fernández, D. B., Jordán Vidal, M. M., del Bosque, I. F. S., & Medina Martínez, C. (2021). The Design and Development of Recycled Concretes in a Circular Economy Using Mixed Construction and Demolition Waste. *Materials*, 14(16), 4762. <https://doi.org/10.3390/ma14164762>
- Guaje, J. (2020). *Estudio del agregado reciclado de residuos de construcción y demolición en celdas de confinamiento con llantas desechadas para la construcción de obras viales en Colombia* [Maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.
- Hou, D., Al-Tabbaa, A., Guthrie, P., & Watanabe, K. (2012). Sustainable Waste and Materials Management: National Policy and Global Perspective. *Environmental Science & Technology*, 46(5), 2494–2495. <https://doi.org/10.1021/es3004552>
- Hurtado Figueroa, O., Cárdenas Gutiérrez, J. A., & Rojas Suarez, J. P. (2018). Determination of the quality of coarse aggregates for the elaboration of concrete mixes from 3 water sources in the City of Cucuta-Colombia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1126, 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1126/1/012041>
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2018). *Especificaciones técnicas generales*.
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2023a). *Boletín Técnico Extensión y Estado de la Malla Vial de Bogotá*.
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2023b). *Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C.*
- Instituto Nacional de Vías. (2022). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*.
- Jiménez, J. R., Ayuso, J., López, M., Fernández, J. M., & de Brito, J. (2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, 40, 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.036>
- Kramers, A. (2014). Designing next generation multimodal traveler information systems to support sustainability-oriented decisions. *Environmental Modelling & Software*, 56, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.01.017>

- Leiva, C., Solís-Guzmán, J., Marrero, M., & García Arenas, C. (2013). Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste. *Waste Management*, 33(3), 663–671. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.011>
- Lima, L., Trindade, E., Alencar, L., Alencar, M., & Silva, L. (2021). Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125730. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>
- Liu, Z., de Jong, M., Li, F., Brand, N., Hertogh, M., & Dong, L. (2020). Towards Developing a New Model for Inclusive Cities in China—The Case of Xiong'an New Area. *Sustainability*, 12(15), 6195. <https://doi.org/10.3390/su12156195>
- López-Uceda, A., Ayuso, J., López, M., Jimenez, J., Agrela, F., & Sierra, M. (2016). Properties of Non-Structural Concrete Made with Mixed Recycled Aggregates and Low Cement Content. *Materials*, 9(2), 74. <https://doi.org/10.3390/ma9020074>
- Los Santos-Ortega, J., Fraile-García, E., & Ferreira-Cabello, J. (2024). Environmental and Economic Viability of Using Concrete Block Wastes from a Concrete Production Plant as Recycled Coarse Aggregates. *Materials*, 17(7), 1560. <https://doi.org/10.3390/ma17071560>
- Mah, C. M., Fujiwara, T., & Ho, C. S. (2018). Life cycle assessment and life cycle costing toward eco-efficiency concrete waste management in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3415–3427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.200>
- Marey, H., Kozma, G., & Szabó, G. (2022). Effects of Using Green Concrete Materials on the CO2 Emissions of the Residential Building Sector in Egypt. *Sustainability*, 14(6), 3592. <https://doi.org/10.3390/su14063592>

- Martinez-Arguelles, G., Acosta, M. P., Dugarte, M., & Fuentes, L. (2019). Life Cycle Assessment of Natural and Recycled Concrete Aggregate Production for Road Pavements Applications in the Northern Region of Colombia: Case Study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(5), 397–406.
<https://doi.org/10.1177/0361198119839955>
- Martinho, F., Picado-Santos, L., & Capitão, S. (2018). Feasibility Assessment of the Use of Recycled Aggregates for Asphalt Mixtures. *Sustainability*, 10(6), 1737.
<https://doi.org/10.3390/su10061737>
- Maya, M., Parra, J. L., & Calvo, B. (2023). Exploration of Natural Aggregates for a Sustainable Construction Industry in Western Colombia. *Minerals*, 13(11), 1430.
<https://doi.org/10.3390/min13111430>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 0472 de 2017. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RCD y se dictan otras disposiciones.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Resolución No. 1257. 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.*

- Moragues, A., Seguí-Pons, J. M., Colom Fernández, A., & Ruiz-Pérez, M. (2023). Analysis of Road Accessibility by Residents and Tourists to Public Hospitals in Mallorca (Balearic Islands, Spain). *Sustainability*, 15(10), 8182. <https://doi.org/10.3390/su15108182>
- Ochoa-Díaz, R. (2021). Use of blast furnace dust to improve the properties of granular material for pavements. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4), 1350–144.
- Ohemeng, E. A., & Ekolu, S. O. (2020). Comparative analysis on costs and benefits of producing natural and recycled concrete aggregates: A South African case study. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00450. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00450>
- Palacio, O., Chávez, Á., & Velásquez, Y. L. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96–106. <https://doi.org/10.14483/22487638.8195>
- Pallewatta, S., Weerasooriyagedara, M., Bordoloi, S., Sarmah, A. K., & Vithanage, M. (2023). Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal. *Science of The Total Environment*, 882, 163340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163340>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 41(12), 1728–1740. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>
- Pavlů, Kočí, & Hájek. (2019). Environmental Assessment of Two Use Cycles of Recycled Aggregate Concrete. *Sustainability*, 11(21), 6185. <https://doi.org/10.3390/su11216185>

- Pontificia Universidad Javeriana. (2018). *Actualización de las Especificaciones Técnicas Generales IDU-ET-2011, a partir de los resultados de ensayos de campo y laboratorio.*
- Purchase, C. K., Al Zulayq, D. M., O'Brien, B. T., Kowalewski, M. J., Berenjian, A., Tarighaleslami, A. H., & Seifan, M. (2021). Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Literature Review on Lessons, Challenges, and Benefits. *Materials*, 15(1), 76. <https://doi.org/10.3390/ma15010076>
- Saiz Martínez, P., Ferrández, D., Melane-Lavado, A., & Zaragoza-Benzal, A. (2023). Characterization of Three Types of Recycled Aggregates from Different Construction and Demolition Waste: An Experimental Study for Waste Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3709. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043709>
- Schützenhofer, S., Kovacic, I., Rechberger, H., & Mack, S. (2022). Improvement of Environmental Sustainability and Circular Economy through Construction Waste Management for Material Reuse. *Sustainability*, 14(17), 11087. <https://doi.org/10.3390/su141711087>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). *Guía de manejo ambiental para el sector de la construcción.*
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2023). *Observatorio Ambiental de Bogotá. Búsqueda de indicadores.*

- Sheu, J.-B., & Chen, Y. J. (2014). Transportation and economies of scale in recycling low-value materials. *Transportation Research Part B: Methodological*, 65, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.03.008>
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2003). *ASTM-C33*.
- UPME, & Universidad Industrial de Santander. (2018). *Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular. Contrato interadministrativo CI-049-2018*.
- Xiao, J., Cheng, Z., Zhou, Z., & Wang, C. (2022). Structural engineering applications of recycled aggregate concrete: Seismic performance, guidelines, projects and demonstrations. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01520. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01520>
- Xing, W., Tam, V. W., Le, K. N., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: A critical review. *Construction and Building Materials*, 317, 125950. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125950>
- Xing, W., Tam, V. W. Y., Le, K. N., Butera, A., Hao, J. L., & Wang, J. (2022). Effects of mix design and functional unit on life cycle assessment of recycled aggregate concrete: Evidence from CO₂ concrete. *Construction and Building Materials*, 348, 128712. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128712>
- Younes, A., Elbeltagi, E., Diab, A., Tarsi, G., Saeed, F., & Sangiorgi, C. (2024). Incorporating coarse and fine recycled aggregates into concrete mixes: mechanical characterization and

environmental impact. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(1), 654–668.

<https://doi.org/10.1007/s10163-023-01834-1>

Zhang, M., Liu, X., & Kong, L. (2023). Evaluation of carbon and economic benefits of producing recycled aggregates from construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, 425, 138946. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138946>

9 Anexos

Anexo 1.

Validación del instrumento de medición con experto 1

Estimado Ingeniero, somos candidatos a magíster en gerencia de proyectos en la Universidad Piloto de Colombia, estamos realizando un estudio que tiene como título "BENEFICIOS DEL USO DE AGREGADOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS EN BOGOTÁ". Debido a su experiencia y conocimientos en el sector de infraestructura vial, solicitamos el diligenciamiento del siguiente cuestionario que no le tomará mucho tiempo. Sus respuestas serán confidenciales (no solicitaremos su nombre). No hay preguntas delicadas. Le pedimos que conteste el cuestionario con la mayor sinceridad posible. No hay respuestas correctas ni incorrectas. El objetivo del cuestionario es recopilar la percepción de los profesionales de Ingeniería con experiencia en construcción o mantenimiento de vías, sobre el uso de los agregados reciclados. De antemano agradecemos su opinión.					EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO				
					Claridad	Precisión	Objetividad	Coherencia	Sugerencia
Por favor seleccione la opción que más se ajuste a su opinión y amplíe la respuesta en caso de requerirlo. Tenga en cuenta que algunas preguntas permiten seleccionar hasta dos opciones					Califique del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente				Por favor sugerir acciones de mejora
1	¿Trabaja usted en el sector de construcción o mantenimiento de vías en Bogotá?	a. CONSTRUCCIÓN DE VÍAS	X		3	3	4	5	¿Trabaja usted en Proyectos de Infraestructura Vial en la etapa de
		b. MANTENIMIENTO DE VÍAS							
		c. OTRO SECTOR		CUAL?					
2	¿Cuántos años de experiencia tiene en proyectos de Infraestructura vial?	a. 3 a 5			5	5	5	5	
		b. 5 a 10							
		c. 10 a 15							
		d. más de 15	X						
3	De manera general, ¿Qué opinión tiene sobre el estado de las vías en Bogotá?	a. BUENO			5	5	5	5	
		b. REGULAR	X						
		c. MALO		POR QUÉ?					
4	Sobre los planes actuales de intervención (construcción/mantenimiento) de las vías en Bogotá, ¿Considera que atienden las necesidades de la malla vial?	a. NO SABE	X		5	5	5	5	Eso no lo publican las entidades.
		b. SI							
		c. NO		POR QUÉ?					
5	Teniendo en cuenta las cantidades de residuos de demolición y construcción (RCD) que se generan en Bogotá, ¿Cómo considera que es posible mejorar la gestión de los RCDs?. Marque máximo dos opciones	a. DISPONER EN SITIOS AUTORIZADOS	X		5	5	5	5	Dependiendo para lo que se necesite, los RCD deben tener un tratamiento de Clasificación y/o
		b. CLASIFICAR Y REUTILIZAR EN OBRA							
		c. RECICLAR EN PLANTA INDUSTRIAL	X						
		d. NO SE PUEDE MEJORAR		POR QUÉ?					
6	¿Para usted, cuáles son los criterios más importantes que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar los agregados para la construcción de las vías?. Marque máximo dos opciones	a. CALIDAD	X		5	5	5	5	Hoy en día las vías troncales que se están construyendo en Bogotá son Concesionadas por 10 años. Por Consiguiente, se requiere que haya
		b. ESTABILIDAD	X						
		c. DURABILIDAD	X						
		d. COSTO DEL SUMINISTRO	X						
		e. DISTANCIA DE ACARREO							
		f. OTRO		CUAL?					
7	¿Esta familiarizado con las regulaciones y/o normativas locales relacionadas con el aprovechamiento de los RCDs que se generan en las obras?	a. NO SABE			5	5	5	5	
		b. NO							
		c. SI	X	CUAL NORMA?					
8	Si conoce la normatividad de aprovechamiento de RCD ¿Le parecen técnicamente viables las metas de aprovechamiento de RCD planteadas en el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá?	a. NO SABE	X		5	5	5	5	
		b. SI							
		c. NO		POR QUÉ?					
9	¿En su experiencia profesional, qué tipo de agregados comúnmente ha utilizado en la construcción o mantenimiento de las vías?	a. AGREGADO NATURAL (AN)	X		5	5	5	5	Los Especialistas de Diseños de Pavimentos hasta ahora se han ido
		b. AGREGADO RECICLADO (AR)							
		c. MEZCLA DE AN+AR							
10	Si ha utilizado agregados reciclados ¿Qué beneficios o incentivos ha obtenido la empresa constructora? Marque máximo dos opciones	a. NINGUNO			5	4	4	4	Lograr demostrar a las Interventorias e IDU el cumplimiento de los requisitos de las ET y en especial la realización de los
		b. PRIORIDAD EN CONTRATACION							
		c. REDUCCIÓN DE COSTOS	X						
		d. REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	X						
		e. OTRO		CUAL?					
11	¿Considera que es posible lograr un modelo de gestión circular de los RCD en la construcción y mantenimiento de vías en Bogotá?	a. NO SABE			5	5	5	5	
		b. SI	X						
		c. NO		POR QUÉ?					
12	Basado en su experiencia o percepción ¿Qué ventajas tienen los agregados reciclados sobre los agregados naturales para la construcción de vías? Marque máximo dos opciones	a. NINGUNA			5	5	5	5	
		b. MENOR IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO	X						
		c. MAYOR IMPACTO SOCIAL POSITIVO							
		d. MENOR COSTO	X						
		e. OTRO		CUAL?					

Anexo 2.

Validación del instrumento de medición con experto 2

Estimado Ingeniero, somos candidatos a magíster en gerencia de proyectos en la Universidad Piloto de Colombia, estamos realizando un estudio que tiene como título "BENEFICIOS DEL USO DE AGREGADOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS EN BOGOTÁ". Debido a su experiencia y conocimientos en el sector de infraestructura vial, solicitamos el diligenciamiento del siguiente cuestionario que no le tomará mucho tiempo. Sus respuestas serán confidenciales (no solicitaremos su nombre). No hay preguntas delicadas. Le pedimos que conteste el cuestionario con la mayor sinceridad posible. No hay respuestas correctas ni incorrectas. El objetivo del cuestionario es recopilar la percepción de los profesionales de Ingeniería con experiencia en construcción o mantenimiento de vías, sobre el uso de los agregados reciclados. De antemano agradecemos su opinión.				EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO					
				Claridad	Precisión	Objetividad	Coherencia	Sugerencia	
Por favor seleccione la opción que más se ajuste a su opinión y amplíe la respuesta en caso de requerirlo. Tenga en cuenta que algunas preguntas permiten seleccionar hasta dos opciones				Califique del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente				Por favor sugerir acciones de mejora	
1	¿Trabaja usted en el sector de construcción o mantenimiento de vías en Bogotá?	☐ a. CONSTRUCCIÓN DE VÍAS ☐ b. MANTENIMIENTO DE VÍAS ☒ c. OTRO SECTOR	X	Construcción de PTAR, PTAP, redes	5	5	5	5	
2	¿Cuántos años de experiencia tiene en proyectos de Infraestructura vial?	☐ a. 3 a 5 ☐ b. 5 a 10 ☐ c. 10 a 15 ☐ d. más de 15	X		5	5	5	5	
3	De manera general, ¿Qué opinión tiene sobre el estado de las vías en Bogotá?	☐ a. BUENO ☒ b. REGULAR ☐ c. MALO	X	Porque la malla vial intermedia y local sportan rutas de transporte público, la cual es sometida a cargas altas y deterioran.	5	5	5	5	
4	Sobre los planes actuales de intervención (construcción/mantenimiento) de las vías en Bogotá, ¿Considera que atienden las necesidades de la malla vial?	☐ a. NO SABE ☐ b. SI ☒ c. NO	X	POR QUÉ?	5	5	5	5	
5	Teniendo en cuenta las cantidades de residuos de demolición y construcción (RCD) que se generan en Bogotá, ¿Cómo considera que es posible mejorar la gestión de los RCDs? Marque máximo dos opciones	☐ a. DISPONER EN SITIOS AUTORIZADOS ☒ b. CLASIFICAR Y REUTILIZAR EN OBRA ☒ c. RECICLAR EN PLANTA INDUSTRIAL ☐ d. NO SE PUEDE MEJORAR	X	POR QUÉ?	5	5	5	5	
6	¿Para usted, cuáles son los criterios más importantes que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar los agregados para la construcción de las vías? Marque máximo dos opciones	☒ a. CALIDAD ☐ b. ESTABILIDAD ☒ c. DURABILIDAD ☐ d. COSTO DEL SUMINISTRO ☐ e. DISTANCIA DE ACARREO ☐ f. OTRO	X	La calidad del material para la conformación de la vía puesto que si hay buena calidad de material junto con el buen procedimiento aumenta la durabilidad de la vía.	5	5	5	5	
7	¿Esta familiarizado con las regulaciones y/o normativas locales relacionadas con el aprovechamiento de los RCDs que se generan en las obras?	☐ a. NO SABE ☐ b. NO ☒ c. SI	X	Resolución 1257 de 2021	5	5	5	5	
8	Si conoce la normatividad de aprovechamiento de RCD ¿Le parecen técnicamente viables las metas de aprovechamiento de RCD planteadas en el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá?	☐ a. NO SABE ☐ b. SI ☐ c. NO		POR QUÉ?	5	5	5	5	
9	¿En su experiencia profesional, qué tipo de agregados comúnmente ha utilizado en la construcción o mantenimiento de las vías?	☒ a. AGREGADO NATURAL (AN) ☐ b. AGREGADO RECICLADO (AR) ☐ c. MEZCLA DE AN+AR	X	En proyectos que he participado en Bogotá todo el material ha sido agregado natural, a nivel de investigación si he conocido	5	5	5	5	
10	Si ha utilizado agregados reciclados ¿Qué beneficios o incentivos ha obtenido la empresa constructora? Marque máximo dos opciones	☐ a. NINGUNO ☐ b. PRIORIDAD EN CONTRATACION ☐ c. REDUCCIÓN DE COSTOS ☐ d. REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ☐ e. OTRO		CUAL?					En el caso de no haber usado agregados reciclados, la pregunta no se responde? Sugeriría
11	¿Considera que es posible lograr un modelo de gestión circular de los RCD en la construcción y mantenimiento de vías en Bogotá?	☐ a. NO SABE ☐ b. SI ☐ c. NO	X	POR QUÉ?					Considero que debe haber "una introducción" breve explicación del
12	Basado en su experiencia o percepción ¿Qué ventajas tienen los agregados reciclados sobre los agregados naturales para la construcción de vías? Marque máximo dos opciones	☐ a. NINGUNA ☐ b. MENOR IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO ☒ c. MAYOR IMPACTO SOCIAL POSITIVO ☐ d. MENOR COSTO ☐ e. OTRO	X	CUAL?	5	5	5	5	

Anexo 3.

Validación del instrumento de medición con experto 3

Estimado Ingeniero, somos candidatos a magister en gerencia de proyectos en la Universidad Piloto de Colombia, estamos realizando un estudio que tiene como título "BENEFICIOS DEL USO DE AGREGADOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS EN BOGOTÁ". Debido a su experiencia y conocimientos en el sector de infraestructura vial, solicitamos el diligenciamiento del siguiente cuestionario que no le tomará mucho tiempo. Sus respuestas serán confidenciales (no solicitaremos su nombre). No hay preguntas delicadas. Le pedimos que conteste el cuestionario con la mayor sinceridad posible. No hay respuestas correctas ni incorrectas. El objetivo del cuestionario es recopilar la percepción de los profesionales de Ingeniería con experiencia en construcción o mantenimiento de vías, sobre el uso de los agregados reciclados. De antemano agradecemos su opinión.				EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO				
				Claridad	Precisión	Objetividad	Coherencia	Sugerencia
Por favor seleccione la opción que más se ajuste a su opinión y amplíe la respuesta en caso de requerirlo. Tenga en cuenta que algunas preguntas permiten seleccionar hasta dos opciones				Califique del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente				Por favor sugerir acciones de mejora
1	¿Trabaja usted en el sector de construcción o mantenimiento de vías en Bogotá?	a. CONSTRUCCIÓN DE VÍAS b. MANTENIMIENTO DE VÍAS c. OTRO SECTOR	☒ ☐ ☐ CUAL?	5	5	5	5	
2	¿Cuántos años de experiencia tiene en proyectos de infraestructura vial?	a. 3 a 5 b. 5 a 10 c. 10 a 15 d. más de 15	☐ ☐ ☐ ☒	5	5	5	5	
3	De manera general, ¿Qué opinión tiene sobre el estado de las vías en Bogotá?	a. BUENO b. REGULAR c. MALO	☐ ☐ ☒ POR QUÉ?	5	5	5	5	
4	Sobre los planes actuales de intervención (construcción/mantenimiento) de las vías en Bogotá, ¿Considera que atienden las necesidades de la malla vial?	a. NO SABE b. SI c. NO	☐ ☐ ☒ POR QUÉ?	5	5	5	5	
5	Teniendo en cuenta las cantidades de residuos de demolición y construcción (RCD) que se generan en Bogotá, ¿Cómo considera que es posible mejorar la gestión de los RCDs? Marque máximo dos opciones	a. DISPONER EN SITIOS AUTORIZADOS b. CLASIFICAR Y REUTILIZAR EN OBRA c. RECICLAR EN PLANTA INDUSTRIAL d. NO SE PUEDE MEJORAR	☐ ☒ ☒ ☐ POR QUÉ?	5	2	4	5	
6	¿Para usted, cuáles son los criterios más importantes que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar los agregados para la construcción de las vías? Marque máximo dos opciones	a. CALIDAD b. ESTABILIDAD c. DURABILIDAD d. COSTO DEL SUMINISTRO e. DISTANCIA DE ACARREO f. OTRO	☒ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ CUAL?	5	5	5	5	
7	¿Esta familiarizado con las regulaciones y/o normativas locales relacionadas con el aprovechamiento de los RCDs que se generan en las obras?	a. NO SABE b. NO c. SI	☐ ☐ ☒ Decreto 507 / 2023 - Resolución 1257 de 2021 CUAL NORMA?	5	5	5	5	se debe dar claridad si solo es para vías u obras en general
8	Si conoce la normatividad de aprovechamiento de RCD ¿Le parecen técnicamente viables las metas de aprovechamiento de RCD planteadas en el Decreto 507 de 2023 de la Alcaldía Mayor de Bogotá?	a. NO SABE b. SI c. NO	☐ ☐ ☒ Muy complejo cumplir las metas de aprovechamiento debido a que no siempre los materiales de demolición cumplen requerimientos técnicos lo cual induce a utilizar botaderos ilegales. Por otra parte de deben modificar los diseños propuestos por el distrito permitiendo estabilizaciones y especificaciones particulares en coherencia con el proyecto, la norma y el RCD particular. No obstante los bancos de almacenamiento y trituración de RCD's son una excelente forma reutilización y la norma exige un adquisición lo cual es positivo. POR QUÉ?	5	2	5	5	Igualmente esta norma aplica para todo tipo de construcción no solamente para vías, considerar el enfoque
9	¿En su experiencia profesional, qué tipo de agregados comúnmente ha utilizado en la construcción o mantenimiento de las vías?	a. AGREGADO NATURAL (AN) b. AGREGADO RECICLADO (AR) c. MEZCLA DE AN+AR	☒ ☐ ☐	5	5	5	5	
10	Si ha utilizado agregados reciclados ¿Qué beneficios o incentivos ha obtenido la empresa constructora? Marque máximo dos opciones	a. NINGUNO b. PRIORIDAD EN CONTRATACIÓN c. REDUCCIÓN DE COSTOS d. REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES e. OTRO	☐ ☐ ☒ ☒ ☐ CUAL?	5	5	5	5	
11	¿Considera que es posible lograr un modelo de gestión circular de los RCD en la construcción y mantenimiento de vías en Bogotá?	a. NO SABE b. SI c. NO	☐ ☐ ☒ Debido a que los materiales reciclados presentan fatiga y no tiene el mismo comportamiento mecánico POR QUÉ?	5	5	5	5	
12	Basado en su experiencia o percepción ¿Qué ventajas tienen los agregados reciclados sobre los agregados naturales para la construcción de vías? Marque máximo dos opciones	a. NINGUNA b. MENOR IMPACTO AMBIENTAL NEGATIVO c. MAYOR IMPACTO SOCIAL POSITIVO d. MENOR COSTO e. OTRO	☐ ☒ ☐ ☒ ☐ CUAL?	5	5	5	5	redundante (menor - negativo)

Anexo 4.

Modelo carta solicitud información IDU

Bogotá D.C., 7 de diciembre de 2023

Señores:

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU

Ing. Sully Magalis Rojas Bayona

Dirección Técnica de Inteligencia de Negocio e Innovación - DTINI

Calle 22 No. 6-27

Bogotá D.C.

Asunto: Solicitud de información proyectos de construcción vial para trabajo de grado Maestría

Cordial saludo Ing. Sully,

Para el desarrollo del trabajo de grado, cuyo objeto es validar los beneficios de los agregados reciclados en la construcción de vías en Bogotá, los investigadores candidatos a magister en Gerencia de proyectos, requieren establecer para la ciudad de Bogotá, en qué vías y componentes de esas vías se han colocado materiales reciclados provenientes de RCD en los últimos 10 años. Con este fin, la Universidad Piloto de Colombia, acude a la Dirección Técnica de Inteligencia de Negocio e Innovación (DTINI) para solicitar la siguiente información técnica de los proyectos suscritos por el IDU entre los años 2014 y 2023 para la construcción de vías:

1. Informes de diseño de pavimentos aprobados.
2. Especificaciones particulares relacionadas con materiales reciclados de RCD que hayan sido aprobadas.
3. Informes técnicos finales sobre los materiales colocados en los proyectos de construcción de vías terminados que hacen parte de la Memoria técnica.

4. Planos de obra terminada (planos record / planos as built) que contengan la estructura de pavimento realmente instalada.
5. Registros de las cantidades (volúmenes) de materiales reciclados de RCD instalados en cada capa de la estructura de la vía para todos los proyectos suscritos.

Lo anterior, será de gran utilidad para generar un modelo de referencia sobre el uso eficiente de los agregados reciclados que busque potencializar los beneficios ambientales y económicos de incorporar materiales reciclados a los proyectos viales de la ciudad.

De antemano, la comunidad universitaria agradece su atención,

Cordialmente,

Norma Lucía Bonilla Londoño

Decana programas de Administración de empresas

Directora de la Maestría en Gerencia de Proyectos

Carrera 9 No. 45A-44