

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

16

**FECHA**

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Seccional Girardot
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo de Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Yate Cortes	Ingrid Sallet	1105689394

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 2 de 8</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Garzón Sánchez	Edilberto Melfid

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
BENEFICIOS AMBIENTALES DE USAR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO EN OBRAS CIVILES HORIZONTALES

<b>SUBTÍTULO</b> (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b> Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniera Ambiental

<b>AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
2020	82

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. concreto reciclado	Recycled concrete
2. agregado reciclado	recycled aggregate
3. Residuos de Construcción y Demolición	Construction and Demolition Waste
4.	
5.	
6.	

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AA AF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 3 de 8</b>

**RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS**  
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Debido a la importancia que ha ganado el tema del aprovechamiento de residuos y el reciclaje en Colombia, este documento busca aportar elementos importantes que resalten los beneficios ambientales de emplear agregados reciclados provenientes de RCD, enfocándose de manera principal en agregados pétreos como alternativa de construcción sustentable. Para esto se realizó una revisión de la normativa nacional que compete el manejo y aprovechamiento de los RCD, con el fin de establecer la clasificación y usos permitidos dentro del país de estos materiales, de la misma forma se realiza una consulta de los PGIRS municipales vigentes y fuentes estadísticas nacionales para describir el estado actual de las principales ciudades del país en temas de aprovechamiento de escombros. Por último, se realiza la síntesis de estudios e investigaciones realizadas en torno a uso de los RCD como alternativa de construcción, teniendo en cuenta las características técnicas de los agregados y las obras más representativas a base de agregados reciclados, con el fin de establecer los tipos de obras civiles horizontales donde se pueden usar agregados reciclados y los beneficios ambientales que estos representan.

Due to the importance that the issue of waste use and recycling has gained in Colombia, this document seeks to provide important elements that highlight the benefits environmental factors of using recycled aggregates from RCD, focusing in a main in stone aggregates as a sustainable construction alternative. For this it was carried out a review of the national regulations that are responsible for the management and use of RCD, in order to establish the classification and permitted uses within the country of these materials, In the same way, a query is made of the current municipal PGIRS and statistical sources to describe the current state of the main cities of the country on issues of use of rubble. Finally, a synthesis of studies and research is carried out carried out around the use of RCDs as a construction alternative, taking into account the technical characteristics of the aggregates and the most representative works based on aggregates recycled, in order to establish the types of horizontal civil works where they can be used recycled aggregates and the environmental benefits they represent.

**AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN**

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 4 de 8</b>

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.		X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.		X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.		X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 5 de 8</b>

caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

**SI\_NO x.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 6 de 8</b>

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

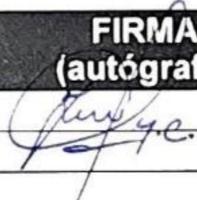
Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAF113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b> <b>PAGINA: 7 de 8</b>

<b>Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)</b>	<b>Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)</b>
1. Monografía saillet yate, BENEFICIOS AMBIENTALES DE USAR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN OBRAS CIVILES HORIZONTALES.PDF	texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

<b>APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>FIRMA (autógrafa)</b>
Yate Cortes Ingrid Sallet	

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

BENEFICIOS AMBIENTALES DE USAR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y  
DEMOLICIÓN (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO EN OBRAS CIVILES  
HORIZONTALES.

INGRID SAILET YATE CORTES

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GIRARDOT.  
2020

BENEFICIOS AMBIENTALES DE USAR RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y  
DEMOLICIÓN (RCD) COMO AGREGADO RECICLADO EN OBRAS CIVILES  
HORIZONTALES.

INGRID SAILET YATE CORTES

Trabajo de Grado Modalidad Monografía, Presentado como Requisito para Optar el Título de  
Ingeniera Ambiental

Director  
MBA. EDILBERTO MELFID GARZÓN SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GIRARDOT.  
2020

Nota de aceptación

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Director de Investigación MBA. Edilberto Melfid Garzón Sánchez

\_\_\_\_\_  
Jurado

\_\_\_\_\_  
Jurado

Girardot, diciembre del 2020

Símbolo	Definición
RCD	residuos de construcción y demolición
UINC	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
ASOCRETO	Asociación Colombiana de productores de concreto
NTC	Norma técnica colombiana
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
ACR	Agregados de concreto reciclado
F <sub>c</sub>	Resistencia a la compresión del concreto
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible)
ACI	American concrete institute (instituto americano de concreto)
GEAR	Guía Española de áridos reciclados
ARH	Áridos reciclados de hormigón
ARHMh	Áridos reciclados mixtos de hormigón
ARMc	Áridos reciclados mixtos cerámicos
ARC	Áridos reciclados cerámicos
ARMa	Áridos reciclados mixtos con asfalto
WorldGBC	World Green Building Council (consejo mundial de construcción ecológica)

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres y a mi hermano por apoyarme quienes me apoyaron en todo momento.

A la Universidad de Cundinamarca, por haberme dado la oportunidad de ingresar y ayudarme a crecer como persona y profesional.

Al docente director de mi trabajo de grado Edilberto Melfid Garzón Sánchez, por creer en mi trabajo.

Por último y no menos importante agradezco a Dios, y a las personas que contribuyeron en mi proceso de formación.

## Resumen

Debido a la importancia que ha ganado el tema del aprovechamiento de residuos y el reciclaje en Colombia, este documento busca aportar elementos importantes que resalten los beneficios ambientales de emplear agregados reciclados provenientes de RCD, enfocándose de manera principal en agregados petreos como alternativa de construcción sustentable. Para esto se realizó una revisión de la normativa nacional que compete el manejo y aprovechamiento de los RCD, con el fin de establecer la clasificación y usos permitidos dentro del país de estos materiales, de la misma forma se realiza una consulta de los PGIRS municipales vigentes y fuentes estadísticas nacionales para describir el estado actual de las principales ciudades del país en temas de aprovechamiento de escombros. Por último, se realiza la síntesis de estudios e investigaciones realizadas en torno a uso de los RCD como alternativa de construcción, teniendo en cuenta las características técnicas de los agregados y las obras más representativas a base de agregados reciclados, con el fin de establecer los tipos de obras civiles horizontales donde se pueden usar agregados reciclados y los beneficios ambientales que estos representan.

Palabras clave: concreto reciclado, agregado natural, agregado reciclado, Residuos de Construcción y Demolición

## Tabla de Contenidos

Introducción .....	10
1. Justificación .....	14
3. Objetivos .....	16
3.1. General.....	16
3.2. Específicos.....	16
4. Metodología .....	17
5. Estado del arte.....	19
5.1. Generalidades de los RCD y las obras civiles horizontales .....	19
5.2. Generación y composición de los RCD .....	21
5.3. Recuperación, reutilización y reciclado de los RCD .....	24
5.4. Clasificación del concreto reciclado según normativa.....	29
5.5. Uso del agregado reciclado de RCD y su clasificación a nivel internacional ..	32
6. Procesos de gestión y aprovechamiento en las principales ciudades de Colombia (Bogotá, Cali y Medellín) .....	38
6.1. Panorama general.....	38
6.2. Gestión integral de los RCD .....	45
7. Identificación de las aplicaciones para el aprovechamiento de RCD en obras civiles horizontales .....	52
7.1. Agregados Reciclados (AR) y los tipos de áridos reciclados .....	54
7.1.1. RCD en subbases y bases.....	57
7.1.2. RCD en la reconfiguración morfológica de terrenos mineros .....	60
7.1.3. Pavimentos rígidos con RCD.....	62
7.2. Proyectos de construcción con agregado reciclado .....	63
7.2.1. Proyectos de construcción internacional.....	63
7.2.2. Proyectos de construcción nacional .....	66
7.3. Ventajas y beneficios de la recuperación y aprovechamiento de los RCD.....	68
8. Conclusiones .....	72
9. Recomendaciones .....	74
10. Referencias.....	75

**Lista de tablas**

Tabla 1 Clasificación de temas y palabras clave, utilizadas en plataformas virtuales.....	18
Tabla 2 Caracterización de RCD por autores colombianos .....	22
Tabla 3 Materiales contenidos en los RCD que técnicamente son aprovechables .....	26
Tabla 4 Clasificación de los RCD.....	31
Tabla 5 Usos permitidos de concretos reciclados. Según la GEAR, España.....	34
Tabla 6 Uso permitido de concreto reciclado según la norma ABNT NBR 15116, Brasil.	35
Tabla 7 Usos permitidos de los agregados reciclados según la NTP 400.050:2017 de Perú	37
Tabla 8 Usos permitidos de los agregados reciclados según ACI de Estados .....	37
Tabla 9 Migración interdepartamental en Colombia .....	41
Tabla 10 Proyectos internacionales con concreto reciclado .....	64
Tabla 11 Proyectos colombianos con material reciclado.....	67
Tabla 12 Ventajas e impactos presentes en la recuperación de concreto .....	69

**Lista de ilustraciones**

Ilustración 1 Composición media de los residuos de RCD según estudios colombianos.	24
Ilustración 2 Descripción de contenidos máximos y mínimos teniendo en cuenta su porcentaje dentro de la mezcla según la GEAR, España.....	33
Ilustración 3 Descripción de contenidos máximo y mínimos teniendo en cuenta su porcentaje dentro de la mezcla, según la norma ABNT NBR 15116, Brasil. ....	35
Ilustración 4 Descripción de contenidos máximos y mínimos según la guía australiana " HB 155—2002.....	36
Ilustración 5 toneladas diarias presentadas al servicio público de aseo vs cantidad de personas por departamento .....	43

## **Introducción**

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad, analizar los beneficios ambientales que tiene el utilizar Residuos de Construcción y Demolición como agregado reciclado en obras civiles horizontales, teniendo en cuenta la clasificación que se le da a estos residuos, ya que la mayoría de ellos no pueden ser usados como agregado reciclado, debido a sus características, químicas y físicas, además del tipo de obra civil donde pueden desarrollarse. Esto se hace debido a que las obras civiles horizontales, representan el pilar de crecimiento y desarrollo del país, ayudando a disminuir los tiempos y los costos de transporte, aumentando la accesibilidad de los mercados. Estas obras a pesar de su consumo energético y de recursos son de gran importancia para el desarrollo según lo que afirma Durango (2016) mencionando que “la inversión en infraestructura vial tiene una relación directa con el crecimiento económico. Es decir, que tener más y mejores vías de acceso a los municipios, genera mayor participación de aumentando la accesibilidad de mercados dentro del país. Debido a que tiene efectos en la reducción de tiempos de viaje, la disminución de costos productivos y la accesibilidad a los mercados, entre otros” (p. 2).

De acuerdo con lo anterior y considerando la alta inversión del sector público y privado en procesos de construcción con cantidades que oscilan entre \$2.193. Billones, según lo que afirma la ANI en su informe anual de gestión para el año 2019, donde se destinó un 95% de este presupuesto al modo carretable del país (ANI, 2019 p. 9); el ministerio de transporte con apoyo de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), realizan proyectos de infraestructura horizontal como carreteras (1G, 2G, 3G) y pistas de aeropuertos como el dorado, Olaya herrera, Ernesto

Cortissoz entre otros, con el objetivo de comunicar los centros de producción con los puertos y aeropuertos para aumentar las exportaciones y la competitividad del país (Monterrosa H., 2018)

Debido a esto, se han desarrollado varias investigaciones orientadas al aprovechamiento y reciclaje de estos residuos para la generación de nuevos materiales (Kisku et. al, 2017), con el fin de crear alternativas eficientes que faciliten la construcción y que además sean amigables con el medio ambiente, teniendo en cuenta que estos residuos presentan características técnicas que los hacen idóneos para ser utilizados como agregados reciclados, con un porcentaje de aprovechamiento del 70% al 80% según lo descrito por Villalba et. al, (2018).

De esta manera, los procesos de reciclaje representan alternativa de manejo de estos residuos, ya que, si bien es cierto actualmente existen alternativas de manejo para los residuos de construcción, como lo son procesos de vertido localizado (las llamadas escombreras) y almacenamiento controlado (plantas de tratamiento), reciclar es una de las estrategias de gestión ambientalmente preferible, debido a que provee una solución al problema sin comprometer de manera directa el entorno, como suele suceder con las demás estrategias de gestión. Aunque su implementación no es tan sencilla, pues generalmente varía y depende fundamentalmente de la legislación, y la infraestructura de cada país (Mercante, 2007). En el caso de Colombia con el fin de realizar una gestión adecuada de estos residuos, se crea una política pública que incluye la separación en la fuente, y tratamientos específicos para el posterior aprovechamiento de estos residuos en diferentes áreas de la construcción, lo que contribuye con la disminución del porcentaje de material residual (Pacheco et. al, 2017). Esta política se convierte en la herramienta adecuada en temas de control y gestión, ya que es la encargada de reglamentar la gestión integral de los residuos sólidos generados en actividades de construcción y demolición, con el objetivo de

fortalecer la gestión y establecer disposiciones de manejo, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final aplicada a nivel nacional, acobijada bajo el acto administrativo del 2017 denominado resolución 0472 dada por la MADS. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017), En este orden de ideas, el país comienza una época de cambio con la implementación de la construcción sostenible a nivel nacional, vigilada por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS); el cual se basa en el uso responsable de recursos naturales como agua y energía, además de la utilización de materiales no perjudiciales para el medio ambiente, con el fin de reducir los impactos ambientales que se puedan producir en el transcurso de la obra (Ramírez s.f), de tal manera se impulsa al país con construcciones de calidad, lo que eleva el nivel de sostenibilidad de las edificaciones nuevas y existentes, a nivel nacional e internacional (CCCS, 2008). Esto se logra mediante la optimización de las prácticas constructivas durante el ciclo de vida de las construcciones iniciando desde la planeación, pasando por la construcción y por último centrándose en la disposición final, lo que ayuda a minimizar el impacto ambiental del sector de la construcción en temas como el cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos, la pérdida de biodiversidad y el incremento residuos (Susunaga J. M., 2014), ya que brinda la oportunidad de realizar una gestión integral adecuada en los procesos constructivos.

Debido a esto las ciudades adoptan programas para realizar la gestión de estos residuos según lo que ordena la resolución 0472 del 2017, a los que denominan *programas de gestión de Residuos de Construcción y Demolición* descritos y desarrollados dentro de los PGIRS, con el propósito de garantizar un manejo adecuado de los RCD que son dispuestos de manera legal y disminuir la cantidad de los que son dispuestos de manera ilegal, a través de “procesos de

recuperación y aprovechamiento, con programas de inclusión social, separación en la fuente y cultura de reducción, fortaleciendo aspectos de orden técnico, administrativo, ambiental, económico, cultural y social” (Alcaldía Santiago de Cali, 2015, p. 525).

De tal manera mediante estos procesos los residuos de construcción que producen estas ciudades puedan ser aprovechadas, ya que según estudios los beneficios del uso de concreto reciclado van desde rendimiento de materiales, disminución de costos en obra y reducción de los residuos siendo este el punto a resaltar debido al ámbito de la sostenibilidad (Guacaneme, 2015).

Por lo cual, en el presente documento se realiza una revisión sobre los beneficios ambientales existentes en el uso de agregado reciclado en obras civiles horizontales.

## 1. Justificación

Los RCD representan una fracción importante entre los residuos sólidos, generándose en grandes cantidades que comúnmente nos son aprovechadas, ya que son dispuestas de manera general en escombreras municipales, y sitios de disposición inadecuados; sin contar con un manejo apropiado para su recuperación, además, su tiempo de vida es prolongado, ya que su degradación es lenta al tener un diseño de duración extendido que solo es afectado por agentes químicos. A causa de ello se han buscado diferentes alternativas para poder realizar una buena disposición de este material, aprovechando sus características físicas y químicas con el fin de darle un nuevo uso, considerando su fracción aprovechable y el impacto positivo que esta práctica puede generar al medio ambiente, es así como se desarrollan investigaciones científicas con el fin de determinar su viabilidad de uso y sus características; con el fin de mitigar los impactos adversos de estos residuos que en su mayoría se producen debido a la cantidad y la mala disposición (Pacheco et. al , 2017). A raíz de esta problemática, se llevan a cabo procesos de modificación paisajística, alteración de ecosistemas, ocupación de suelos, cambio en la estructura del suelo y en la mayoría de los casos estos residuos son dejados en espacio público lo que ocasiona contaminación visual en los lugares donde se produce este fenómeno, perjudicando no solo la fauna y la flora adyacente del sector donde se produce la disposición, sino también el estilo de vida y el bienestar humano, degradando la calidad del medio ambiente y afectando los recursos naturales. (Barrera et. al, 2017).

En vista de lo anterior estas investigaciones se centran en la reutilización de estos residuos como agregados reciclados en obras civiles, ya que presentan características comparables con los agregados naturales lo que facilita su uso como agregado reciclado, cuyo desempeño

mecánico y durabilidad cumple con los estándares internacionales (Martínez et. al, 2015).

Teniendo esto en cuenta el concreto hidráulico reciclado se emplea mayormente en mezclas de asfalto para pavimentos substituyendo a los agregados naturales por áridos reciclados, ya sean finos o gruesos, además, de ser utilizado como masa para rellenos de suelos en carretera, o capas para base y subbase en construcciones viales (Olmedo y Barrera, 2015)

Considerando lo anterior, la presente investigación pretende realizar una revisión sobre los beneficios ambientales que tiene el uso de RCD en obras civiles horizontales, identificando los usos permitidos y los tipos de obras donde se puede hacer uso de estos materiales, con el fin de recopilar, los impactos positivos que tiene esta práctica de reciclaje en obra.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. General**

Analizar los beneficios ambientales de usar Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado reciclado en obras civiles horizontales.

#### **3.2. Específicos**

Describir el estado actual de las tres principales ciudades del país en temas de gestión y aprovechamiento de escombros

Identificar, mediante normativa la clasificación y usos permitidos que tienen los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia.

Establecer los tipos de obras civiles horizontales donde se puedan usar agregados reciclados a base de RCD.

#### 4. Metodología

La presente investigación es de tipo cualitativo, con enfoque descriptivo; bajo el método de análisis, ya que se centra en resolver las preguntas de investigación planteadas por los objetivos, mediante estudios documentales, realizando un análisis de la documentación disponible acerca de la reutilización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

La propuesta de investigación se fundamenta en un estudio sistemático y ordenado de la revisión bibliográfica, donde las referencias se categorizan, clasifican y analizan para la comprensión y solución del problema. En este orden de ideas (Sampieri, Eds., 2014) sugiere realizar una revisión de todos los datos consultados, con el fin de tener en contexto el tema que se está tratando, para así facilitar los métodos de comprensión.

Para la revisión de literatura y fuentes de búsqueda se optó por dividir la información en III fases respectivamente, basándose en la estructura utilizada por Gallo, L.J. (2019).

##### Fase I. Planteamiento del problema

En esta fase se busca establecer las preguntas de investigación, que orienten la revisión bibliográfica. Las preguntas seleccionadas son:

¿Cuál problemática ambiental que gira en torno a los RCD?, ¿Cuáles son los beneficios ambientales que brinda el uso de agregados reciclados a la industria colombiana?, ¿Cuáles son las ventajas de usar agregado reciclado dentro de un proceso de construcción horizontal?

##### Fase II. Identificación de plataformas de búsqueda, y selección de palabras clave

La búsqueda de información se realizará en páginas donde la información es verificable, como los repositorios universitarios, plataformas como Scielo, Scopus, Researchgate, Dialnet, sciencedirect y Google Scholar.

Las palabras claves son elegidas de acuerdo con el tema planteado, teniendo en cuenta las ideas más significativas del texto.

*Tabla 1*

*Clasificación de temas y palabras clave, utilizadas en plataformas virtuales*

<b>Clasificación por temas</b>	<b>Palabras clave</b>
Beneficios ambientales	Reciclaje
Aprovechamiento de Escombros	Agregado reciclado
Residuos	RCD, Escombros
obras horizontales	Bases y subbases
Lugares de uso	Obras civiles horizontales

Fuente: Basada en Gallo L, J (2019)

### Fase III. Selección de literatura

La literatura que se encontró es seleccionada y examinada teniendo en cuenta, parámetros básicos como: Título, Resumen y resultados. Además de otros criterios como: el idioma (español, Inglés), artículos relacionados con aprovechamiento de residuos RCD y artículos relacionados con las características técnicas de los agregados; como también se tendrán en cuenta documentos relacionados con guías de aprovechamiento de residuos y normativa vigente aplicada a los residuos, y su aprovechamiento.

## 5. Estado del arte

El análisis del estado del arte es agrupado en tres partes: la primera parte se basa en todo lo relacionado con información general acerca de los RCD y las obras civiles horizontales, la segunda parte se enfoca en el uso del concreto hidráulico como agregado reciclado y la tercera y última parte se centra en las ventajas de utilizar este tipo de material como agregado reciclado.

### 5.1. Generalidades de los RCD y las obras civiles horizontales

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define los RCD como los residuos sólidos que provienen principalmente de actividades de excavación, construcción, demolición y reparaciones o mejoras locativas de obras civiles (Ministerio de Ambiente, 2017). Compuestos de manera principal por arena, grava, arcilla, lodo, concreto, asfalto, residuos orgánicos, tierra negra, hierros, madera entre otros (Páez y pacheco, 2019), además se encuentran catalogados como residuos inertes, ya que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas que sean significativas dentro de su estructura, del mismo modo no son materiales biodegradables, ni solubles; aun así no afectan a otras materias con la que tienen contacto, pero al no presentar transformaciones dentro de su estructura su impacto ambiental es duradero y prolongado. David de Santos, et. a (2011) menciona que “tres cuartas partes (el 75%) de los residuos generados en la obra son inertes, los comúnmente denominados *escombros* y el 25% restante es una combinación heterogénea de otros residuos, algunos tóxicos o peligrosos” (p. 16), es por ello que “hoy en día, la gestión integral de los residuos de construcción y demolición ha cobrado mayor importancia y se ha convertido en un proceso obligatorio en obras de construcción” (Páez y pacheco, 2019, p. 15), esto ocurre por el aumento en la producción de RCD en las distintas ciudades de Colombia. Teniendo esto en cuenta y debido a los cambiantes patrones de suministro

en la demanda de materiales para la construcción, surgen nuevas alternativas que le dan uso a estos residuos que son poco o nada utilizados, pero que pueden llegar a ser aprovechables con el tratamiento de recuperación adecuado, convirtiéndose en una alternativa de suministro y reincorporación a la cadena de producción (Reyes y Cornejo, 2014).

Por otro lado, el reciclaje de RCD, ya es una realidad que pretende mitigar un impacto ambiental notorio y reducir los costos de materiales de construcción, mediante la gestión integral de estos residuos. Dado que solo pueden ser reutilizados “siempre y cuando no estén contaminados con materia orgánica, plásticos, maderas, papel, hierro o sustancias peligrosas, además de estar prohibida la reutilización in situ de RCD sin su previa clasificación (ordinarios, especiales y peligrosos)” (Alcaldía mayor de bogotá y SDA , 2014, p.26), la arena, grava, y demás áridos, pétreos ya sean cerámicos, concreto o cemento se pueden reutilizar como base para carreteras, y para nivelar y estabilizar suelo y terraplenes, de esta manera estos residuos suelen ser utilizados de manera general en obras civiles horizontales, ya que por sus características físicas y químicas son idóneos en estas prácticas (Secretaría distrital de ambiente, 2009).

Ahora bien, para el año 2012 la construcción vial en Colombia presentaba un atraso que le restaba competitividad y productividad, existiendo carencias en puentes, viaductos, túneles, taludes, lo que le restaba productividad y competitividad a la hora de enfrentar un mercado abierto a los grandes conglomerados. Esto llevo al país a incluir dentro del plan de desarrollo 2018-2022 un pacto por la logística y el transporte, con el fin de mejorar la competitividad y la integración regional, teniendo como premisa inicial mejorar la eficiencia en el transporte para reducir costos y tiempos, de transporte y comunicación interregional, con la meta de aumentar en

más del 60% los kilómetros de corredores para bicicletas, y construir más de 1.400 km de carreteras 4G y 15.000 km de vías rurales (Duque, 2018). Este proceso de desarrollo vial acrecentó la demanda de materiales pétreos para la construcción de estas obras, generando un impacto ambiental significativo según lo que afirma (Pacheco et. al, 2017) y como lo afirma el Servicio geológico colombiano “las arenas y gravas son fundamentales en la construcción de carreteras, siendo utilizada en todos los niveles, desde la base hasta la superficie de rodadura, se utilizan materiales naturales resistentes al desgaste, que aseguran resistencia al deslizamiento. La construcción de un kilómetro de autopista implica el uso de más de 30 000 toneladas de arenas y gravas.” (Servicio geológico colombiano, 2019; p. 14) teniendo como resultado un aumento en el uso de material de construcción, debido al aumento en las obras de infraestructura vial.

## 5.2. **Generación y composición de los RCD**

En teoría una gran cantidad de residuos de construcción y demolición pueden reciclarse y reutilizarse fácilmente, como lo son el hierro, el cartón, el vidrio y el plástico; además de que actualmente se ha evidenciado que los escombros de origen pétreo son reutilizables en especial si su contenido de hormigón y ladrillo mezclado con mortero es elevado, lo anterior debido a que los escombros tienen un alto potencial reutilizable (Bedoya, 2003).

La acción de construir y derribar genera un volumen considerable de residuos que finalmente se desecha con una cantidad que supera a los desechos domésticos; ya que, factores como la geografía de la región, la distribución poblacional, la actividad que origina los desechos, el tipo de construcción que se esté desarrollando y las políticas vigentes en materia de construcción (Cruz y Velázquez, 2004), afectan de manera directa en los procesos de producción y gestión de los RCD. De tal manera y según lo escrito por el ministerio de ambiente, en

Colombia se producen más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción al año, siendo clara y evidente la problemática originada por este tipo de residuos, dado que, “la construcción consume grandes volúmenes de materias primas y genera enormes cantidades de escombros procedentes de la demolición de edificios” (Cárdenas y Hernández, 2014, p. 21).

Ocupando grandes extensiones de tierra siendo ese su impacto ambiental más grande y representativo.

Los RCD constituyen una mezcla heterogénea de varios elementos como ladrillo, cemento, y agregados dentro de los cuales destacan la arena, grava y gravilla, además de otros materiales que dificultan su recuperación como lo son madera, plásticos, aceros y otros, siendo así la composición general de los RCD según lo descrito por (Mercante, 2007), apoyado por (Escandón, 2011) y otros autores se representa en la tabla 2.

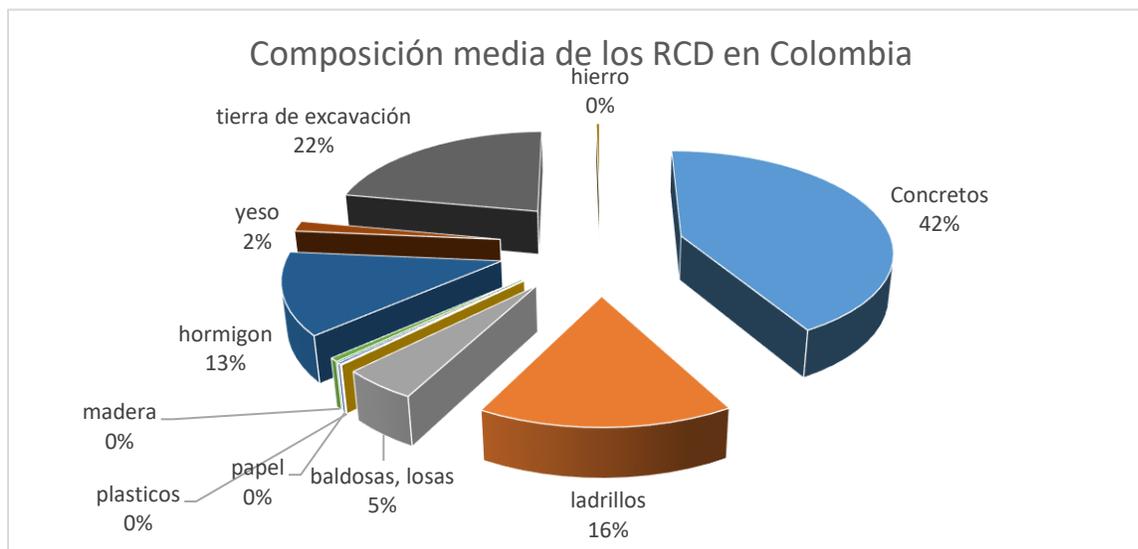
*Tabla 2*

*Caracterización de RCD por autores colombianos*

	(Mercante, 2007)	(Escandón, 2011)	(Chavez,20 13)	(Rocha,20 15)	(Suarez, et. al, 2018)	%mes/d ía
	%	%	%	%	%	
Concretos	55,35	67,00	63,67	25,00	10,00	31
ladrillos	31,86	24,00	17,94	5,00	4,00	12
balosas, losas	1,17	3,00	11,11	5,00	0,50	4
plásticos	0,21	0,00	0	0,00	0,00	0
papel	0,20	0,00	0,2	0,00	0,50	0
madera	2,04	2,00	0,11	0,00	0,00	0
hormigón	3,11	0,00	0,59	40,00	4,00	10
yeso	5,30	0,00	0,68	0,00	0,00	1
tierra de excavación	0,00	0,00	0,000	0,00	80,00	16
hierro	0,00	1,00	0	0,00	1,00	0

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la tabla 2 están contenidos los resultados de algunas investigaciones colombianas donde se realizó la caracterización de los residuos RCD, con el fin de visualizar más claramente la tendencia general de la tipificación de los RCD en el país. Con respecto a lo anterior, autores como Mercante, Escandón y Chávez obtienen resultados similares concluyendo que el mayor porcentaje de la mezcla de RCD es dado para los residuos de concreto, mientras que Rocha y Suarez et. al, presentan diferencias considerables en los porcentajes de mezcla dando con resultado mayores porcentajes de hormigón y material de excavación respectivamente, esto se debe principalmente a la calidad de las muestras que fueron tomadas por los diferentes autores, debido a que las muestras que fueron analizadas se tomaron de manera directa de la obra sin pasar primero por un proceso de separación y clasificación en la fuente, así como también dentro de los resultados tuvo influencia el tipo de obra donde se realizó la extracción de las muestras, de esta forma Mercante, Escandón y Chávez, extrajeron la muestra de obras de demolición, mientras que Rocha y Suarez et. al extrajeron la muestra obras de remodelación y construcción respectivamente. Teniendo esto en cuenta y con los datos recopilados se elabora un gráfico comparativo con el fin de visualizar la composición media de los estudios encontrados hasta el 2018.



*Ilustración 1*

*Composición media de los residuos de RCD según estudios colombianos*

Fuente: elaboración propia

De esta manera se logra evidenciar que los compuestos con mayor porcentaje dentro de la mezcla son los residuos de concreto con un 42%, seguido por las tierras de excavación con un 26% y los ladrillos con un 16% del total de la mezcla, de esta manera se logra evidenciar que el origen del agregado influye de manera directa en las características del ACR, las cuales a futuro están vinculadas de manera directa con el envejecimiento y el grado de hidratación del mortero nuevo (Rosero, 2019),

### 5.3. **Recuperación, reutilización y reciclado de los RCD**

La Saturación de los sitios de disposición final de desechos sólidos es una de las grandes problemáticas que enfrentan los países latinoamericanos y Colombia no es la excepción; esto se debe en su mayoría a la falta de separación en la fuente, es por ello que “su inadecuada gestión por los centros urbanos ha sido objeto de análisis, efectuándose soluciones como el diseño y la

implementación de sistemas productivos, plantas de aprovechamiento o unidades de reciclaje, que han permitido considerarlos como materia prima potencial para la reincorporación a las cadenas productivas con la obtención de agregados reciclados” (Chávez, et. al, 2013, p. 3). La necesidad global de incrementar la eficiencia de los materiales para la construcción se convierte en una prioridad lo que contribuye a que se estudien materiales que puedan llegar a ser reciclados, como lo es el caso del concreto, que hoy por hoy es el material más producido por año en el mundo ambiental (Mattey, et. al, 2014, p. 2). De esta manera, al usar este desecho las ventajas medioambientales y económicas que tienen impacto positivo suelen ser elevadas, ya que estos residuos pueden ser regenerados o reutilizados de manera directa, dándole un valor más alto al de solo considerarlos como simples residuos.

Cabe resaltar que la recuperación de los materiales tiende a variar dependiendo de las características, el tipo de material y la utilización del material como lo describe (Cruz, 2004), clasificándolos de la siguiente manera.

Tabla 3

*Materiales contenidos en los RCD que técnicamente son aprovechables*

	Tipo de material	Casos especiales	Usos
Material reutilizable	acero estructural		
	piezas de madera de calidad		
	piezas de fábrica (ladrillo, bloque, mampostería)	Mezcla de residuos de demolición no seleccionados, pero libre de impurezas	Puede ser usada en <b>rellenos de subbases</b> de carreteras o vías temporales de tránsito.
	tejas (cerámica, pizarra)		
	tierras de excavación		
Materiales reciclados	metales (férreos y no férreos)		
	plásticos	N/E	N/E
	vidrio		
Materiales destinados a la fabricación de productos secundarios	Materiales pétreos		Producción de áridos
	cerámicos		Fabricación de hormigón
	hormigón	Fabricación de productos secundarios	Uso directo como bases en carreteras <sup>i</sup>
	pavimentos bituminosos		

Fuente: Elaboración propia basada en (Cruz, 2004).

Nota: N/E – no especificado

Esta clasificación tiene en cuenta la fracción aprovechable de los materiales de construcción, que potencialmente pueden ser utilizados, considerando dos procesos importantes como lo son la producción de residuos dentro de la obra y la disposición final de estos residuos,

ya que en términos generales sería erróneo afirmar que todo el material de construcción y demolición es aprovechado, debido a que existen diferentes condiciones limitantes que suponen ciertas fallas en el proceso de aprovechamiento como lo son, las condiciones de carácter técnico de una construcción, donde se tiene en cuenta dos aspectos importantes las técnicas y las prácticas de demolición y construcción utilizadas dentro de la obra, debido a que estas determinan la calidad de los residuos que se obtienen y en consecuencia la posibilidad de ser aprovechados. (Cruz, 2004) Afirma que: “Como norma general la capacidad de aprovechamiento de un RCD o fracción de este está dada en la pureza del material, es decir la capacidad de aprovechamiento es mayor cuando mayor es la pureza de este y menor la presencia de elementos indeseables para el futuro uso que se pretende”. (p. 34)

Debido a lo anterior, la construcción ha desarrollado diferentes procesos que mejoran la capacidad de aprovechamiento de estos residuos como lo es la demolición selectiva, que consiste en una separación cuidadosa, que busca obtener los materiales con potencial reciclable o de reutilización al momento de una demolición, permitiendo aprovechar residuos y disminuir el volumen generado; según lo descrito en las definiciones para la gestión de los RCD dada por la secretaria distrital de ambiente en Bogotá, del mismo según la resolución 0472 del 2017 dentro de todos los procesos constructivos realizados en el territorio colombiano se debe realizar una separación en la fuente, lo que permite la caracterización y aprovechamiento de los materiales que se producen dentro de la obra, permitiendo prácticas de reciclaje.

En una primera revisión literaria los materiales que pueden ser reciclados dentro de la obra suelen ser piezas de acero estructural, maderas de calidad recuperadas en buen estado, piezas de fábrica (ladrillo, mampostería), tejas y tierras de excavación; además de materiales que

son destinados a la fabricación de productos secundarios como los materiales pétreos, cerámicos, hormigón y pavimentos bituminosos (Cruz y Velazquez, 2004), en general, las aplicaciones de los áridos reciclados se pueden resumir en Áridos para bases y subbases de carreteras, Áridos para hormigones, Áridos para morteros, Áridos para rellenos localizados, Áridos para drenajes, encachados, camas de tuberías, y por ultimo Materiales reciclados para restauración de espacios degradados. De forma genérica, existen tres tipos de áridos reciclado los cuales son: Áridos de hormigón u concreto son los que tienen un abanico muy amplio de aplicaciones, siendo aptos para casi cualquier sector de la construcción, debido a sus características pueden ser introducidos en una mezcla de concreto como agregado reciclado, sin afectar de manera radical las propiedades de la mezcla, de la misma manera están los áridos de asfalto los cuales tienen su mayor aplicación en las bases y subbases de carreteras debido a la similitud con los materiales base en la fabricación de vías y las propiedades físicas que poseen y por ultimo están otros áridos reciclados que de manera general son áridos procedentes de mezclas y con componente mayoritario el material cerámico, empleándose como material de relleno en restauración de espacios degradados (Chichon, 2015).

#### 5.4. Clasificación del concreto reciclado según normativa

Los sobrantes de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparaciones de las obras civiles, son conocidos como Residuos de Construcción y Demolición, regulados por la resolución 0472 del 2017. Estos materiales pueden estar compuestos por una gran cantidad de materiales según el tipo de proyecto (Mercante, 2007), que pueden impactar el entorno, ya sea de manera directa o indirecta dependiendo del tipo de material utilizado, el tipo de residuo y del tipo de construcción. En este orden de ideas dentro de la resolución se tiene en consideración los artículos 79 y 80 de la constitución política que establecen “el deber del estado de proteger, prevenir y controlar la diversidad y aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de conservarlos para garantizar no solo el derecho al desarrollo sostenible, sino también el derecho colectivo de gozar un ambiente más sano” , de la misma forma la resolución indica los recursos que son afectados al no gestionar estos residuos comprendidos en tres el aire, el agua y el suelo, recursos donde se evidencia mayor impacto.

Teniendo esto en cuenta dentro de la resolución se establecen pautas para la gestión y aprovechamiento de los residuos de obra, del mismo modo se distinguen los tipos de Residuos de Construcción y Demolición divididos en dos grandes grupos; el primero son los residuos susceptibles a ser aprovechados, este grupo tiene todos los residuos de obra que debido a sus características y composición se le puede dar un segundo uso, ya que no han tenido contacto con ningún agente contaminante, entre los principales se destacan productos de excavación, sobrantes de adecuación de terreno, productos de cimentación y pilotaje y por ultimo productos pétreos (hormigón, arenas, gravas...) y no pétreos (vidrio, hierro, cobre aluminio...); por otra

parte el segundo grupo está compuesto por materiales que han sufrido algún tipo de contaminación o simplemente por sus características químicas no pueden ser aprovechados y se denominan fracción no aprovechable de los residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Siendo así, Bogotá para el año 2014 realiza una clasificación teniendo base el Decreto 838 de 2005 (disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.) y el Decreto 4741 de 2005 (la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral). Compilando información relevante para la clasificación de estos residuos en la “Guía para la elaboración del Plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en obra” la cual establece la caracterización de los RCD teniendo en cuenta su grupo, clase y componente como se puede ver a continuación. De esto no existe una clasificación definida en la normatividad colombiana, sin embargo, en la Tabla 3, se puede observar una clasificación que da pautas para diferenciar los residuos que tienen potencial para su posterior aprovechamiento.

Tabla 4

## Clasificación de los RCD

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
Aprovechables	I. Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz # 200
		Residuos finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz # 200
	II. Residuos de material fino	Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200
		Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos
	III. Otros residuos	Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio
		Residuos orgánicos	Residuos de tierra negra
Residuos orgánicos vegetales		Residuos vegetales y otras especies bióticas	
No aprovechables	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes
	V. Residuos especiales	No definida	Poliestireno, Icopor, cartón, yeso (drywall)
	VI. Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias de su aprovechamiento
		No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reúso en obras
Otros	VII. Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reúso en obras

Fuente: Extraída de (Alcaldía mayor de Bogotá y SDA, 2014)

Esta clasificación se efectuó como guía con el objeto de tener claridad sobre la clasificación de los materiales provenientes de la construcción y su posible uso, en aras de disminuir los grandes volúmenes de materiales provenientes de las obras y su impacto al medio ambiente. De igual manera, se presentan recomendaciones técnicas para la reutilización de los RCD, dentro de los procedimientos constructivos (Guacaneme, 2015).

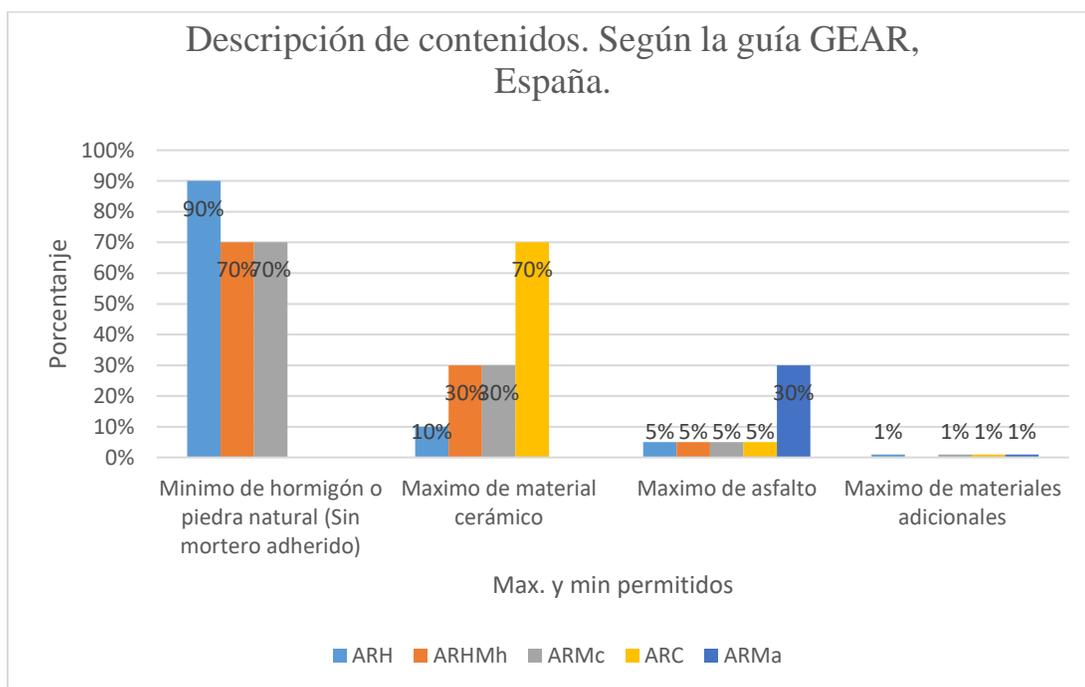
### 5.5. Uso del agregado reciclado de RCD y su clasificación a nivel internacional

El agregado reciclado ha generado diversas investigaciones en su entorno que van desde sus características generales hasta su posible utilización como agregado en mezcla, pero en la mayor parte de los países según normativa se exige la ejecución de ensayos a los agregados reciclados provenientes de los RCD, de tal manera que se garantice su calidad y capacidad ante los diferentes requisitos de uso de los materiales.

Teniendo esto en cuenta se establecen tablas y gráficos que representan los contenidos permisibles dependiendo del país y los usos establecidos según sea el caso.

**España:** Establece cinco categorías de clasificación para sus agregados, teniendo en cuenta los materiales y los porcentajes permisibles dentro de la mezcla obteniendo así los contenidos máximos y mínimos dentro de la mezcla.

Como requisito general de las 5 categorías que se manejan en este país está el máximo permisible de materiales adicionales que está por debajo del 1%, y el máximo de asfalto que debe contener la mezcla el cual para las categorías ARH, ARHMh, ARMc Y ARC es del 5% mientras que para las ARMa es del 30%, ya que estos están compuestos en su mayoría de Áridos reciclados mixtos con asfalto. Con dos tipos de uso el primero es del tipo estructural que solo este dado para la clase 1 y el segundo es del tipo no estructural que este dado para la clase 1, 2 y 3.



*Ilustración 2 Descripción de contenidos máximos y mínimos teniendo en cuenta su porcentaje dentro de la mezcla según la GEAR, España*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

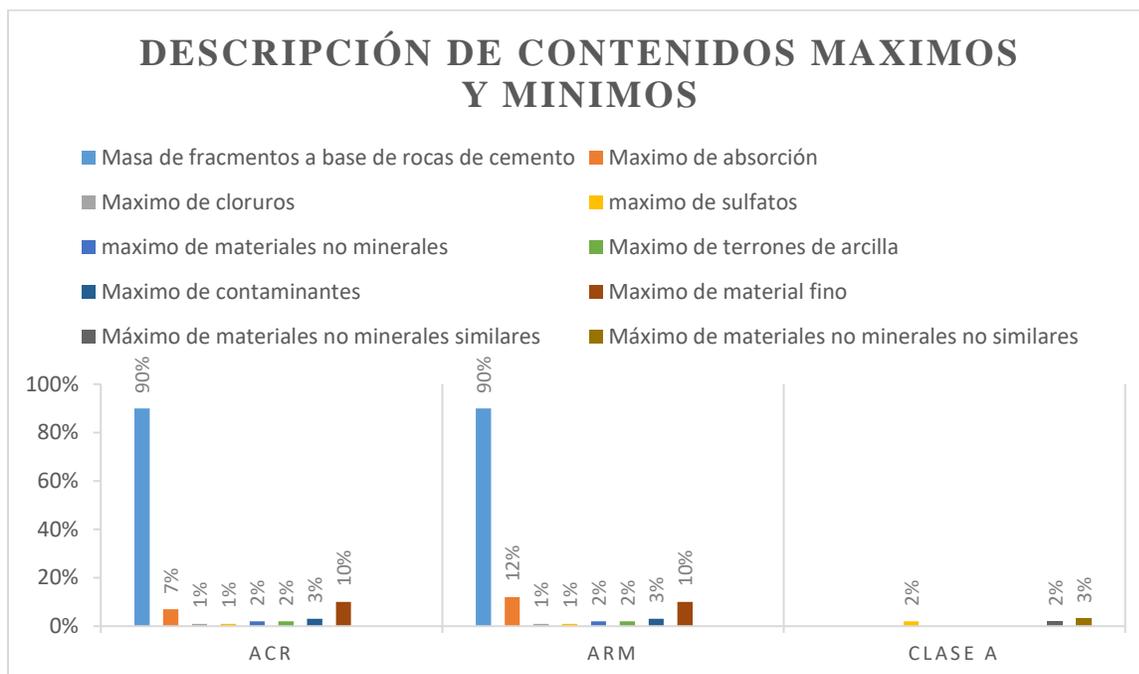
*Usos permitidos de concretos reciclados. Según la GEAR, España*

USOS PERMITIDOS		
ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
% de remplazo	Clase	Máximo de $f'c$
20%	1	30Mpa
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES		
% de remplazo	Clase	Máximo de $f'c$
100%	1 y 2	20Mpa
100%	3	n/a <sup>ii</sup>

Fuente: Elaboración propia

Nota: La clase 1, 2 y 3 incluye solo los agregados de tipo ARH, ARMh y ARMc

Brasil: Establece tres clases que están definidas de la siguiente forma ACR (agregados de concreto reciclado), ARM (Áridos reciclados mixtos cerámicos) y clase A, las cuales están contenidas en su mayoría por fragmentos a base de rocas de cemento como se aprecia en la figura 3. Dentro de lo usos permitidos para los ACR Y ARM están la construcción de elementos no estructurales como hormigones para rellenos, contrapiso, calzadas y fabricación de artefactos no estructurales, como bloques de sellado, guías, canales, muros y placas de muro. Por otro lado, la clase A solo permite la construcción de capas de refuerzo del subsuelo, subbase y base de pavimentación o revestimiento primario de vías no pavimentadas.



*Ilustración 3 Descripción de contenidos máximo y mínimos teniendo en cuenta su porcentaje dentro de la mezcla, según la norma ABNT NBR 15116, Brasil.*

Fuente: Elaboración propia

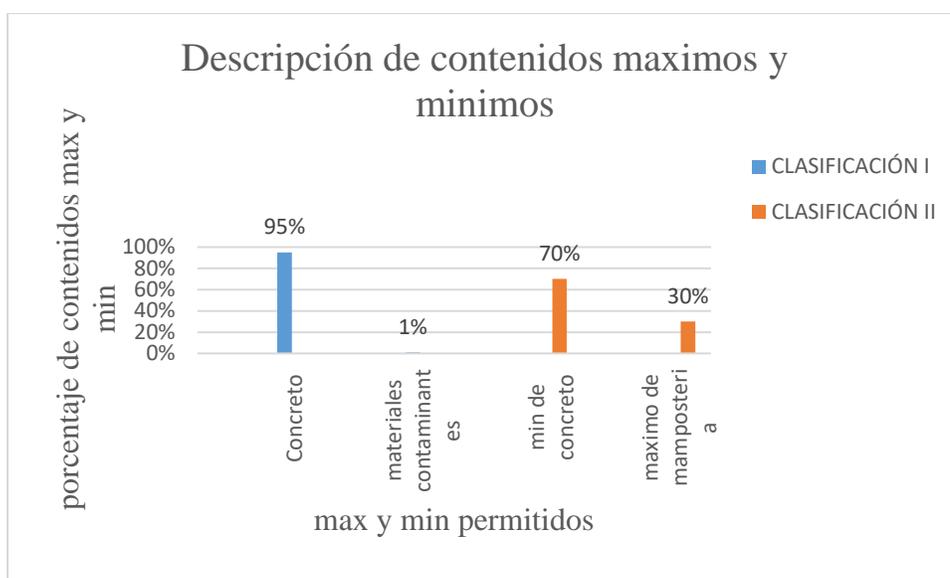
*Tabla 6*

*Uso permitido de concreto reciclado según la norma ABNT NBR 15116, Brasil.*

USO PERMITIDO			
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES			
% de remplazo	Clase	f'c mínimo	f'c máximo
100%	ARC Y ARM	10 Mpa	15 Mpa
hormigones para rellenos, contrapiso, calzadas y fabricación de artefactos no estructurales, como bloques de sellado, guías, canales, muros y placas de muro			
PAVIMENTOS			
Capas de refuerzo del subsuelo, subbase y base de pavimentación o revestimiento primario de vías no pavimentadas			

Fuente: Elaboración propia

Australia: Maneja solo dos clasificaciones denominadas Clasificación I y clasificación II con un 95% y un 70% de concreto reciclado cada en la primera clasificación está presente la grava, la piedra triturada, combinaciones de concreto y la segunda son solamente residuos de concreto y mampostería. dentro de los requisitos generales establecidos por la norma el porcentaje de contaminantes permitidos es de 1% y porcentaje mínimo de concreto en mezcla es del 70% y máximo del 90%.



*Ilustración 4 Descripción de contenidos máximos y mínimos según la guía australiana " HB 155—2002*

Fuente: Elaboración propia

Perú: Establece que el agregado reciclado para el concreto debe ser de 225 kg/m<sup>3</sup> con un  $f'c$  menor a 10 Mpa y se utilizara para obras no estructurales como ciclo vías, cimientos, concreto simple y rellenos no portantes como se describe en la tabla

Tabla 7

*Usos permitidos de los agregados reciclados según la NTP 400.050:2017 de Perú*

USOS PERMITIDOS			
Tipo de agregado	contenido min de AGR en cemento	f'c	Recomendaciones
Concreto triturado	225 kg/m <sup>3</sup>	<10MPa	Libre de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas Libre de sales, álcalis, materia orgánica
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES			
Ciclovías	cimientos	concreto simple	rellenos no portantes

Fuente: Elaboración propia

Estados Unidos: Establece una clasificación por categorías desde la baja hasta el alta teniendo como requisito general el uso de concreto triturado libre de impurezas con un f'c que va desde los 27 a los 34 MPa y las condiciones de uso están sujetas a los estándares mínimos de calidad de este país.

Tabla 8

*Usos permitidos de los agregados reciclados según ACI de Estados Unidos*

Componentes	Descripción de contenido			f'c
	Alta	Media	Baja	
Concreto triturado libre de impurezas, materiales adicionales, materiales contaminantes, mampostería				27 - 34 Mpa

CONDICIONES DE USO	
	Estructural
	No estructural
	Estándares mínimos para cumplir
desviación estándar	> 4,83 Mpa
agua libre	5%
Determinar	la gravedad específica peso unitario absorción

Fuete. Elaboración propia

## 6. Procesos de gestión y aprovechamiento en las principales ciudades de Colombia (Bogotá, Cali y Medellín)

En el capítulo anterior se hace referencia a las generalidades de los RCD, mencionando las características de este material, los tipos de obras donde son, utilizados y su clasificación.

Ahora este capítulo tendrá en cuenta los procesos constructivos dentro de las ciudades del país, teniendo aspectos como gestión integral y aprovechamiento de estos residuos en obra.

### 6.1. Panorama general

Siendo así, Colombia cuenta con una serie de normas que están enfocadas en la protección y cuidado del medio ambiente, que se vienen desarrollando de manera masiva desde los años 70's, este fenómeno se vio reflejado en la constitución política modificada en el año 1991, donde se tiene en cuenta el tema ambiental en términos de protección y cuidado en artículos como el "Artículo 79. donde dicen que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, además de conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines", y el "Artículo 80 donde se decreta que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución". De esta misma manera se crearon normas de tipo

general, dentro de las que destacan el código nacional de recursos naturales renovables y protección al medio ambiente creado en el año 1974 mediante el decreto ley 2811, así como también instrumentos de manejo como lo fue la ley 99 del año 1993 por la cual se crea el ministerio de ambiente y que reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales, organizándose así el Sistema Nacional ambiental (SINA) (Alfonso, 2014). De tal manera el medio ambiente se incorpora como patrimonio común en todo el territorio colombiano, mediante normativas de manejo para los recursos naturales y los diferentes residuos; producto de las actividades humanas en el país, con un concepto de aprovechamiento fundamentado en la necesidad de ahorro en materias primas, con el objetivo de conservar los recursos naturales según lo planteado En el plan de desarrollo del (2018-2022). Por lo cual, el gobierno nacional a través del ministerio de ambiente incentiva al uso de metodologías, materiales y técnicas sostenibles con el ánimo de cuidar los recursos naturales (WBCSD, 2012) y de esta forma garantizar su protección. Lo anterior teniendo en cuenta un panorama ideal de manejo, considerando que la mayoría de residuos son reciclados y aprovechados, pero la realidad actual es diferente, las problemáticas ambientales en el tema de manejo de residuos se derivan del mal manejo y falta de conciencia ambiental por parte de la ciudadanía que actualmente va en aumento como lo sugiere la experta en temas de manejo de residuos, docente y funcionaria de entidades relacionadas con el tema de residuos sólidos Claudia Ximena Ramos, en su entrevista para el programa Punto crítico de la universidad Nacional de Colombia con su afirmación “ las ciudades crecen y la generación de residuos aumenta en función de este crecimiento” (Universidad nacional , 2019).

De acuerdo con lo anterior para el año 2018, Colombia tenía alrededor de 48.258.494 millones de habitantes censados efectivamente, con un porcentaje de ocupación para las cabeceras municipales del 76% (DANE, 2018a); esta cantidad se debe a la migración interna que se ha dado en el país a lo largo de los años por diferentes temas económicos y sociales; a causa de esto el DANE emite un informe de los desplazamientos registrados entre regiones para el año 2018 con el nombre de desplazamiento interdepartamental (DANE, 2018b). Este informe, arroja datos de las regiones con más recepción de migrantes, las regiones donde es frecuente este fenómeno, además de una base de datos con información referente a los departamentos que más reciben población migrante de acuerdo con una clasificación numérica que va de 1 a 4 donde 1 es el municipio capital con más recepción de migrantes y 4 es el municipio con menos recepción de migrantes. Los datos de este censo están dados en la siguiente tabla.

Tabla 9

*Migración interdepartamental en Colombia*

MIGRACIÓN INTERDEPARTAMENTAL			
Región	%de emisores/ año	% de receptores	Deptos. a los que más migran
Amazonia	3,3	2,1	1. Meta 2. Huila 3. <b>Bogotá D.C.</b> 4. Valle del cauca
Eje cafetero y Antioquia	13,2	15,9	1. Valle del cauca 2. <b>Bogotá</b> 3. Cundinamarca 4. Córdoba
Caribe	12,0	14,5	1. <b>Bogotá</b> 2. Antioquia 3. Cundinamarca 4. Santander
Pacifico	10,6	11,8	1. Antioquia 2. <b>Bogotá</b> 3. Risaralda 4. Quindío
Central	25,3	48,5	1. Antioquia 2. Meta 3. Valle del cauca 4. Caldas
Llanos orientales	5,6	6,3	1. <b>Bogotá</b> 2. Cundinamarca 3. Boyacá 4. Santander <sup>iii</sup>

Fuente: Elaboración propia basada en estadísticas del DANE (2018).

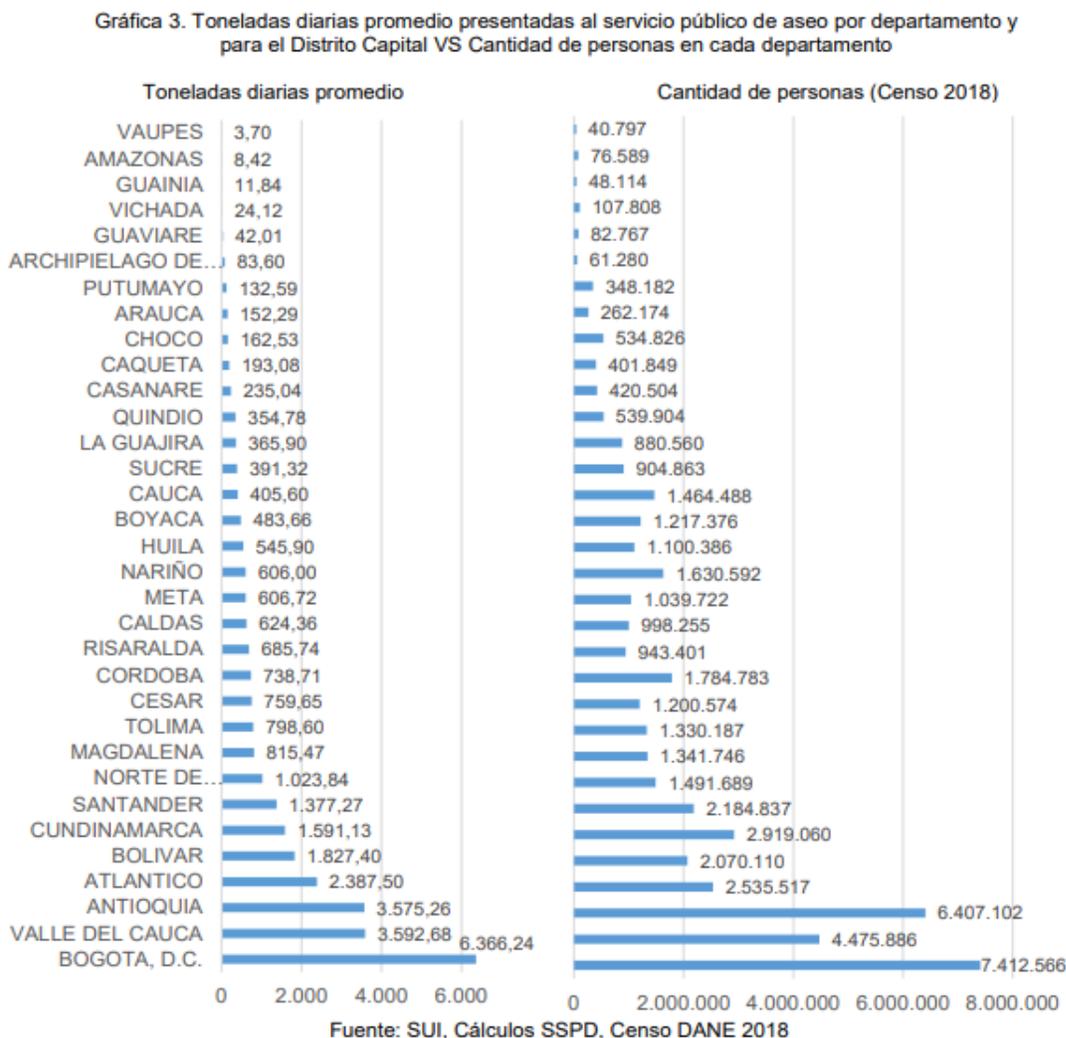
Nota: dentro de la tabla se logra identificar que Bogotá es la ciudad preferida por la población migrante, ya que de las 6 regiones del país 5 regiones la tienen como opción principal ocupando las categorías del 1 al 3.

Esta migración produce un aumento en población de las principales ciudades, lo que se traduce en un incremento de residuos como lo presenta el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Santiago de Cali (2015-2026) que muestra el registro histórico de producción de

residuos sólidos del periodo 2009-2014 frente al crecimiento poblacional, dando como resultado una relación de aumento de 3 a 1, es decir al aumentar 1% la población, se aumenta 3% la producción de residuos sólidos (Alcaldía Santiago de Cali, 2015). De igual forma este fenómeno se puede apreciar según estadísticas del DANE para el año 2018, donde al aumentar la población aumenta la cantidad de residuos, teniendo en cuenta que existen factores para tener en cuenta como lo son geografía de la zona, capacidad de recolección y disposición, políticas vigentes en materia de aprovechamiento, recolección y disposición final, así como también conciencia ciudadana. Teniendo esto en cuenta la ilustración 5 hace representación gráfica de las toneladas diarias de residuos sólidos que fueron presentadas al servicio público de aseo en el año 2018, sin tener en cuenta estos factores, de tal manera se obtiene el siguiente gráfico.

Ilustración 5 toneladas diarias presentadas al servicio público de aseo vs cantidad de personas por departamento

Fuente; (DANE, 2018)



De acuerdo con la ilustración 5 se logra ver que en diferentes ciudades del país se registró un aumento en la producción de residuos sólidos para el año 2018, esta comparación se logra debido a la actualización de datos por parte del Servicio Unificado de Información y estadísticas del DANE que para el año 2018 realiza el censo poblacional a nivel Colombia.

Se presume que este incremento de residuos sólidos está relacionado de manera directa con el crecimiento poblacional y la demanda de área construida, tal y como lo presenta el caso de

Bogotá, que en los últimos años ha concentrado de entre el 20 a 30% del PIB de la construcción colombiana debido a la demanda que ha tenido en tema de viviendas (Castaño et. a, 2013), así como también el aporte considerable a la cantidad de residuos sólidos en el país.

Por otro lado, la producción y disposición de residuos tiene relación con la geografía colombiana debido a que una de las características sobresalientes de Colombia es la presencia de varias regiones claramente diferenciadas entre sí en aspectos culturales, geográficos, económicos, e históricos (Ripol et. al, 1995). Obteniendo como resultado ciudades con características y necesidades claramente diferenciadas, es por ello que la súper intendencia de servicios públicos utiliza la estrategia de regionalización la cual consiste en agrupar las zonas con características similares con el fin de desarrollar un sistema clasificación y establecer esquemas regionales de disposición final de acuerdo con las necesidades de cada región lo que permite llegar a la eficiencia técnica, operativa, económica y financiera, sin limitaciones de índole político, geográfico o social (Super intendencia de servicios publicos, 2018).

Colombia es un país que cuenta con 32 departamentos legalmente establecidos; y 24 ciudades capitales (DANE, 2019). De esta manera dentro de las ciudades capitales se establecen 3 ciudades que son el centro del comercio y la economía de Colombia, lo que las convierte en las 3 principales ciudades de Colombia; están son Bogotá centro político y financiero del país además de la ciudad más poblada, Cali distrito especial de Colombia desde el año 2018, en la categoría de distrito deportivo, cultural, turístico, empresarial y de servicios (Univalle, 2019) y por ultimo Medellín que hace parte del valle de aburra donde se encuentran instaladas numerosas empresas públicas, privadas e instituciones y organismos del estado colombiano, además, Medellín es una ciudad que sobresale como uno de los principales centros financieros,

industriales, comerciales y de servicios de Colombia, primordialmente en los sectores textil, confecciones, metalmecánico, eléctrico y electrónico, telecomunicaciones, automotriz, alimentos y salud lo que la convierte en la segunda ciudad más importante de Colombia (Camara de comercio de medellín, CONFENALCO, 2019). A causa de esto, estas tres ciudades son las que más residuos sólidos producen al año con cantidades que oscilan entre las 3000 y las 6000 toneladas aproximadamente según el informe anual de residuos sólidos (Superintendencia de servicios públicos, 2018).

## 6.2. **Gestión integral de los RCD**

Tanto en Colombia como a nivel mundial la generación de los RCD'S está relacionada de manera directa con actividades constructivas, como parte del desarrollo de infraestructura lo que genera una gran cantidad de residuos, que se disponen en su mayoría de manera inadecuada generando impactos ambientales como ocupación de áreas naturales y contaminación de ecosistemas, esto sucede a pesar de que existen documentos, normas, y guías que regulan e indican los procesos que se deben realizar para hacer una gestión adecuada de estos residuos, anexo a estas problemáticas el control y el cumplimiento es ineficiente por ende los Residuos de Construcción y Demolición terminan en zonas públicas o botaderos ilegales. Por lo cual la problemática entorno a los RCD en Colombia encierra la gestión inadecuada de residuos, el gran volumen que se genera significando necesidad de más zonas de disposición final y una creciente demanda de agregados para satisfacer la necesidad de los proyectos en curso y los planeados para un futuro cercano (Escandon, 2011).

Teniendo esto en cuenta, se vuelve necesario identificar la gestión que se le está dando a estos residuos basándose en la problemática alrededor de la gestión tradicional de RCD's, y de

las condiciones actuales en cuanto a aprovechamiento de estos residuos en la ciudad de Bogotá, Cali y Medellín, ya que son las ciudades más importantes del país con grandes cantidades de Residuos de Construcción y Demolición, además de ser las que mayor cantidad de obras en proceso de construcción poseen actualmente. Teniendo esto en cuenta, “las obras civiles públicas, privadas y las de origen domiciliario, son las tres grandes generadoras de RCD en el país; se estima que actualmente menos del 20 % se dispone de manera adecuada” (León et al, 2018, p. 31). Las causas más comunes de este bajo porcentaje son la falta de conciencia y de conocimiento en el área.

### **Manejo de los RCD en la Ciudad de Bogotá D.C**

En la ciudad de Bogotá para año 2011 se crearon herramientas de control encargadas de la regulación técnica del tratamiento y/o aprovechamiento de los escombros en el distrito capital, estableciendo los entes de control que vigilan las obras de infraestructura que se desarrollan en la ciudad, dando límites de utilización para los materiales y elementos elaborados a partir del reciclaje de RCD en un porcentaje no inferior a 10% del total en metros cuadrados construidos para las entidades públicas y 5% para las entidades privadas. Además, se establece que cada año dicho porcentaje aumentará en 5% hasta alcanzar un mínimo de 25% (Alcaldía mayor de Bogotá, 2011). Lo que al parecer se cumple de manera paulatina, ya que las cifras de RCD que se registran para el año 2013 equivalen en promedio a 12 millones de toneladas al año ocupando el primer lugar a nivel nacional en generación de escombros (Castaño et. al, 2013), ya para el año 2017 se registraron 368 puntos críticos, donde se evidenciar la problemática por la mala disposición de escombros, pero de manera no oficial se habla de más de 600 botaderos lo que representa un problema social y ambiental (CATORCE 6, 2017).

Este panorama cambia un poco para el año 2018 donde se registran procesos de recolección con una cantidad de 300 mil toneladas de escombros por obras, pero la producción de este desecho se mantiene constante con una cantidad por año de entre doce (12) y dieciocho (18) millones de toneladas de RCD (León et al, 2018).

actualmente Bogotá cuenta con 28 empresas que realizan la gestión y comercialización de los residuos de RCD dentro de la ciudad capital donde destacan los 2 sitios únicos de disposición autorizados que tiene la ciudad que son: Cemex la sultana y cantarrana, además que para el año 2019 solo contaba con un sitio autorizado para realizar el reciclaje de estos residuos denominado Ciclomat. (secretaría Distrital de Ambiente – (SDA), 2019). a causa de esto la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) en colaboración con la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y la Corporación Autónoma Regional (CAR) instauran una medida de contingencia que consiste en la aprobación de 5 gestores puntos limpios RCD's, 16 sitios de disposición final de RCD, y 5 centros de tratamiento y aprovechamiento RCD

En consecuencia, Bogotá es actualmente la ciudad que más avances lleva en temas de recolección, siendo así la ciudad capital cuenta con herramientas de control como entes que regulan la gestión de estos residuos como la SDA, plataformas de información actualizada de residuos donde se registran los grandes generadores de RCD como **“Web file SDA”**, y sitios adecuados para la disposición final, convirtiéndola en una de las ciudades con mejor manejo de RCD.

### **Manejo de los RCD en la Ciudad de Cali**

Por otro lado, en la ciudad de Santiago de Cali, para el año 2014 se produjeron cerca de 2480 metros cúbicos de estos residuos por día, cifra que en un año logra alcanzar un millón de metros cúbicos; esto de acuerdo con el número de habitantes llega a ser 0,5 metros cúbicos de RCD por persona, índice que resulta alarmante y sitúa a la mencionada ciudad en el segundo puesto de las capitales colombianas con mayor generación de escombros (Robayo et. al, 2014)

Ahora bien, para el año 2015 se generaba diariamente unas dos mil (2.000) toneladas de RCD resaltando que el volumen de estos residuos proviene de las obras pequeñas y de las domiciliarias que son cerca del 22 %. Según el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, el 40 % del total de residuos generados diariamente no tienen ningún control siendo depositado en las zonas verdes y en el Jarillón del río Cauca y el 60% está siendo llevado a las estaciones provisionales (León et. al, 2018), por el momento Maecol materiales ecológicos de Colombia S.A.S. y Rocales y Concretos SAS son los gestores de aprovechamiento y reciclaje autorizados por el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) (Alcaldía de Santiago de Calí, 2019) desde allí se garantiza la disposición final de estos residuos manejando el programa de gestión de residuos RCD; este programa incorpora acciones para garantizar un adecuado manejo, recolección transporte, aprovechamiento y recolección final. A través de este programa se busca fomentar procesos de recuperación y aprovechamiento de residuos RCD con inclusión social, separación en la fuente y cultura de la reducción, fortaleciendo los aspectos de orden técnico, administrativo, ambiental, económico, cultural y social.

### **Manejo de los RCD en la Ciudad de Medellín**

Ahora bien Medellín es una de las ciudades que conforman el área metropolitana del valle de aburra, siendo el centro de la misma, como se puede ver en historia del valle de aburra, Medellín es la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, Envigado, La Estrella y Caldas; vinculados entre sí por dinámicas e interrelaciones territoriales, ambientales, económicas, sociales, demográficas, culturales y tecnológicas que para la programación y coordinación de su desarrollo sustentable, desarrollo humano, ordenamiento territorial y racional prestación de servicios públicos requieren un ente coordinador (Asamblea departamental de Antioquia, 1980).

Según el programa de aprovechamiento de RCD descrito en el PGIRS el principal problema dentro del área Metropolitana del Valle de Aburrá se centra en la gestión de residuos de construcción demolición (RCD), dada por la debilidad en el encadenamiento empresarial e institucional, la deficiente logística en la cadena de gestión, la poca vigilancia, control y visión hacia el aprovechamiento de los RCD (ACODAL seccional noroccidente, 2017).

Es por esto por lo que el Área Metropolitana de Valle de Aburra establece 2 principales metas dentro de su Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, las cuales consisten en Incrementar el Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) entre el 30 % al 50% del potencial aprovechable para el año 2030 y Homologación regional de procesos técnicos y jurídicos para los actores de la cadena de gestión de los RCD al año 2020. (Separación en la fuente, almacenamiento, recolección y transporte, aprovechamiento y disposición final), es decir una guía regional en la gestión integral de los RCD, de esta manera lograr centralizar y

controlar los procesos de disposición final recolección, transporte y aprovechamiento de estos residuos.

En la ciudad de Medellín, el panorama en cuanto a recolección y manejo no es mejor que las 2 ciudades anteriores debido a que su Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) del año 2015, muestra en cifras que anualmente esta ciudad genera unas 2.200.000 toneladas de escombros. En cuanto a lugares clandestinos de disposición, se han detectado 205 puntos críticos oficiales, pero se estima que pueden ser 500 puntos ilegales, En cuanto a lugares clandestinos, se han detectado unos 500 sitios afectados por acumulación de escombros, pero oficialmente se habla de 205 puntos críticos (León, et. al, 2018). Por lo que se vuelve necesario articular acciones públicas y privadas vinculadas a la gestión integral de los RCD en la ciudad, a fin de lograr modelos sustentables dentro de la ciudad, el documento de gestión de residuos establece 4 ejes transversales i) las estrategias de información educación y comunicación (IEC); ii) la gestión del riesgo; iii) la sostenibilidad y iii) la estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono (ECDBC) (Departamento Administrativo de Planeación Municipal, 2015); estas estrategias se articulan para fortalecer la cultura ciudadana. El Programa incorpora la sostenibilidad desde el aprovechamiento de los RCD generados en la ciudad, lo cual busca disminuir los impactos asociados a la obtención de materia prima virgen, así como generar nuevas opciones de negocios inclusivos.

En la ciudad existen dos tipos de generadores de escombros: i) los grandes generadores, constituidos por las empresas constructoras de proyectos de vivienda y el Departamento Administrativo de Planeación Municipal - DAPM, con el desarrollo de las 21 Mega-obras y el sistema de transporte masivo MIO, esta tipología se encuentran igualmente las empresas

constructoras con proyectos de unidades de vivienda medianas; y los pequeños generadores que son las viviendas unitarias y multifamiliares que ejecutan mejoras y adecuaciones de la infraestructura física de las mismas, pero que se convierten en cuanto a su cantidad en los mayores aportantes en volumen de escombros; además, son los que requieren un mayor despliegue para el control sobre el almacenamiento, transporte y disposición final a los sitios autorizados (DAPM, 2015).

Por otro lado, la implementación de las normas ambientales requiere un seguimiento más controlado por tal motivo, se convierte en algo común encontrar escombreras sin registro ni licencia ambiental para operar, por tal motivo se han conformado Autoridades Ambientales Urbanas en seis (6) centros poblados del país, La secretaria distrital de ambiente, SDA, en Bogotá, el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, en Cali, el Departamento Técnico administrativo del medio ambiente de Barranquilla, DAMAB, y la Unidad Ambiental del área Metropolitana del Valle de Aburra que comprende los municipios de Medellín, Bello, Envigado, Itagüí, Sabaneta y Copacabana, AMVA (León et. al, 2018).

En vista de lo anterior las autoridades urbanas se encargan de definir las medidas para el manejo y la disposición final de los RCD en este orden de ideas el seguimiento y control a los RCD generados en la ciudad de Bogotá está a cargo de dos (2) entidades distritales, las cuales son: la Secretaría Distrital de Ambiente, SDA, y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, UAESP. La SDA hace seguimiento a las obras de construcción que generan más de 1 m<sup>3</sup> de residuos RCD, con el objeto de comprobar el cumplimiento legal de que estos se transporten en vehículos autorizados y sean dispuestos en los lugares apropiados y autorizados. Por otra parte, la UAESP, es el ente que además de encargarse de la recolección y disposición

final, transporta y dispone volúmenes iguales o inferiores a 1 m<sup>3</sup> de RCD, resultado de actividades como son las remodelaciones locativas o trabajos menores de construcción que no requieren licencia,

A través de la emisión de diferentes actos administrativos el municipio de Santiago de Cali ha generado acciones orientadas al manejo de escombros en la ciudad, en este sentido se destacan el Decreto 0291 de 2005 “Por medio del cual se regula la gestión integral de escombros en Santiago de Cali” y el Decreto 0414 de 2007 “Por medio del cual se prohíbe el transporte de escombros en vehículos de tracción animal en las comunas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 17, 18, 19, 20 y 22, y se dictan otras disposiciones”, No obstante, la situación de los impactos generados sigue percibiéndose en la ciudad, focalizándose su impacto básicamente en dos sectores de la población; el primero, tiene que ver con el sector de la construcción no cuenta con medidas claras que obliguen a adoptar sistemas de control y disposición adecuada de los desechos que produce; el segundo, al pequeño generador de estos residuos como resultado de adecuaciones de viviendas, estos son entregados a los carretilleros de oficio quienes los llevan a sitios no autorizados o al espacio público convirtiéndose en basureros crónicos

## **7. Identificación de las aplicaciones para el aprovechamiento de RCD en obras civiles horizontales**

El uso del concreto reciclado data de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, donde los países europeos enfrentaban la destrucción de las ciudades y por ende la acumulación de escombros. Esta problemática motivo a que los desechos se utilizaran en la elaboración de concreto para la reconstrucción de ciudades, especialmente en países como Gran Bretaña y

Alemania (Cruz y Velázquez, 2004). Teniendo esto en cuenta algunos países como Alemania, Estados Unidos, Australia y Holanda ya han desarrollado tecnologías y maquinaria para el aprovechamiento de los residuos de la construcción, por lo que puede contarse con antecedentes de efectividad, eficiencia de operación y datos técnicos operativos (Quintana, 2016).

Por otro lado, los desechos a utilizar en procesos de reciclaje deben ser completamente inertes y no deben de estar contaminados con ningún tipo de sustancia, debido a que en el sector de la construcción se genera gran variedad de residuos, pero solo una pequeña fracción puede ser aprovechada en los mismos procesos constructivos, según lo que afirma (García, 2003).

“Los residuos que cumplen estas características son aproximadamente el 80% de los residuos de construcción entre los que destacan materiales como ladrillos o bloques, concreto, roca, material de excavación, acero, y madera” (pp. 43-44). Es decir, son desechos con una alta susceptibilidad a ser aprovechados mediante transformación y reincorporación como materia prima de agregados en la fabricación de nuevos productos como lo expresa Castaño et. al (2013) en su revisión denominada Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá. De esta manera el 20% restante que no es aprovechable en el sector de la construcción puede ser llevado a plantas de reciclaje específicas o dispuesto en escombreras y rellenos sanitarios (Pérez, 1996).

Siendo así, los RCD poseen una fracción aprovechable, pero para que esto suceda deben pasar por un proceso de reciclaje, mediante el cual, se transforman en materia prima e insumos para la fabricación de nuevos materiales de construcción como lo enuncia la resolución 0472 del 2017, dentro de la cual se reglamenta la gestión integral de los RCD.

Según lo que describe la norma los tipos de RCD se dividen en dos grandes grupos los susceptibles a ser aprovechados y los no susceptibles de ser aprovechados, esta tipología se da de acuerdo con sus características físicas y de peligrosidad. Pero hay que tener en cuenta que estos residuos pueden ser aprovechados siempre y cuando se le otorguen alternativas de uso y se les proporcione un manejo adecuado, no solo desde el momento en que se generan sino también en su destino lo que facilita los procesos de recolección y transporte (Mercante I.T, 2007).

### 7.1. **Agregados Reciclados (AR) y los tipos de áridos reciclados**

Colombia de acuerdo con Min ambiente (2019), menciona que los residuos de construcción y demolición (RCD), constituyen en promedio el 40% de los residuos sólidos totales del país, y que la producción media de RCD es de 22'270.338 ton, teniendo en cuenta que la producción total de residuos va en aumento debido al incremento en las edificaciones nacionales con un valor medio de 37.076.890 m<sup>2</sup> para el año 2020 (DANec, 2020).

De tal manera las fuentes de generación de los RCD pueden provenir de diversos orígenes, que van desde desperdicios de obras, remodelaciones ya sea parcial o total, reconstrucciones o catástrofes naturales. Además, existe diversidad en los métodos de remoción que van desde remoción manual, o remoción mecánica dependiendo del tipo de obra que se esté trabajando, cualquiera que sea el método por utilizar, tiene la finalidad de reducir el tamaño del hormigón en fracciones manejables de manera que se pueda lograr un tamaño acorde con el medio de transporte disponible y/o con la abertura de boca y tipo de trituradora que se empleará para la obtención de los agregados reciclados.

Teniendo en cuenta que el agregado es un material normalmente granular (arena, grava, piedra triturada o escoria) usado con un medio cementante para formar concreto o mortero

hidráulico. Puede utilizarse en su estado natural o bien, triturado, de acuerdo con su uso y aplicación. (CEMEX México, s.f.). Por otro lado, Rodríguez (2012), manifiesta que el agregado natural ocupa un porcentaje de hasta el 75% del total de la mezcla, debido a esto, el agregado define las características de manejabilidad y resistencia del concreto estructural en estado fresco y endurecido, respectivamente (Bolaños 2014), desempeñando un papel importante dentro de la mezcla. En consecuencia, el agregado reciclado deberá cumplir con las características técnicas del agregado natural descritas en la Norma Técnica Colombiana NTC 174 la cual establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos. Lo que permite tener un horizonte de factibilidad para los agregados reciclados en Colombia (Contreras y Herrera, 2015).

Normalmente los residuos utilizados como material reciclado son los resultantes de la demolición de hormigón, lo anterior considerando que el hormigón es el material que más se ajusta a las características generales que debe tener un buen agregado en mezcla, como lo define Álvarez (2019); los agregados usados que resultan convenientes en la mezcla de concreto estructural son de forma redondeada, esférica o cúbica, ya que poseen una mayor resistencia y debido a que las partículas gruesas se acomodan con mayor facilidad en cada unidad de volumen, y el consumo de pasta de cemento es menor (Álvarez, 2019)

Adicionalmente, cuando se utilizan productos de agregados reciclados en la elaboración de nuevos concretos, se modifica sustancialmente la manejabilidad de las mezclas en estado fresco, en consecuencia, la resistencia mecánica y la durabilidad de los concretos en estado endurecido cambian (Álvarez, 2019).

Teniendo esto en cuenta existe una variada clasificación de estos agregados, lo más comunes descritos Etxeberria et al, (2003) son:

Árido reciclado cerámico: Árido que se obtiene por procesamiento de material predominantemente cerámico. El 85 % de este árido debe tener una densidad seca superior a 1600 kg/m<sup>3</sup> en la norma holandesa, para evitar materiales excesivamente porosos y ligeros.

Áridos reciclados mixtos: Definido en la norma holandesa como un árido que deberá contener un porcentaje mayor del 50 % de hormigón con una densidad seca superior a 2100 kg/m<sup>3</sup> y no más del 50 % de materiales pétreos reciclados de distinta naturaleza que el hormigón, incluyendo los cerámicos con una densidad seca mayor de 1600 kg/m<sup>3</sup> provocando una disminución de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad del hormigón.

Las obras civiles horizontales son las definidas según (Porrás y Díaz, 2015) como todas aquellas construcciones que parten desde una coordenada (0,0) y tienen un desplazamiento a lo largo de la superficie terrestre. Este tipo de construcción se puede evidenciar en estructuras pluviales, sistemas sanitarios, urbanismo, puentes, vías entre otros.

La morfología de los agregados influye en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido considerando que los agregados conforman entre el 65% y el 70% del total de la mezcla (León y Ramírez, 2010). En consecuencia, y debido a la cantidad representativa dentro de la mezcla los agregados en el concreto tienen como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla, ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado, de curado y secado de la mezcla de concreto) y aportar a la resistencia final del material.

De tal manera, la forma y textura superficial de las partículas individuales de cualquier tipo de agregado tienen una influencia importante en la manejabilidad del concreto en su estado fresco y en otras características físicas de su estado sólido. Por consiguiente, los agregados más

usados son los agregados granulares procedentes de pavimentos de hormigón, ya que suelen presentar una mayor homogeneidad y menor presencia de posibles productos contaminantes en origen.

Por otro lado, la aplicación de agregados reciclados cada vez es más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos variados como son la construcción de explanadas, pavimentos, o en la fabricación de hormigón. Pero hay que tener en cuenta que para cada una de estas construcciones el agregado dependerá de la naturaleza y la composición de cada uno. Siendo así según (Contreras y Herrera, 2015) en las explanadas se suelen usar utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezcla de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigones, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algún caso de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos (p. 25)

Teniendo esto en cuenta a continuación se presentan los usos más comunes del RCD en obras civiles horizontales.

#### 7.1.1. RCD en subbases y bases

El uso del RCD en pavimentos ha sido objeto de estudio por diversos autores, estudiando el comportamiento ligado con cemento y no ligados. Entre los estudios de los materiales se destacan:

(Taesoon, 2002) El cual en su estudio encontró estudio Las propiedades físicas del RCA en términos de la relación humedad-densidad, índice de partículas y angularidad del agregado fino. El cual encuentra que la estabilidad y resistencia al esfuerzo cortante de los agregados de concretos reciclado, en condiciones secas son más altos que la grava, e igual o mejor que los de

los agregados triturados de piedra caliza utilizados en bases y subbases. A través de ensayos de compactación y el índice de forma de las partículas, identifica que el contenido de humedad y peso unitario del RCD varía en el rango de 9 a 12% y 17,6 a 21,7 kN/m<sup>3</sup> mientras que el agregado natural presentó una humedad de 11,2% y 19,3 kN/m<sup>3</sup>. A partir de su trabajo experimental concluye que en algunos casos se comporta mejor el RCD que el agregado natural empleado para bases y subbases.

(Yoon-Ho y Sung-Hun, 2004) Mostraron que los agregados áridos residuales de construcción pueden ser utilizados para la elaboración de bases en concreto (hormigón de limpieza) para la construcción de pavimentos. Mediante pruebas fundamentales de fuerzas a tracción, compresión y flexión, se compararon los resultados obtenidos con los exigidos reglamentariamente por la agencia de transporte de California, la cual sugiere que el hormigón de limpieza debe exceder los 4,2 MPa y los resultados obtenidos en los ensayos mostraron una resistencia a la compresión de 4,9 MPa comprobando que puede ser una alternativa de construcción más económica y a la vez destacan su papel contributivo con la reducción de la contaminación ambiental.

(Jiménez et. al, 2011) encontraron que los áridos reciclados de hormigón cumplen con todas las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras en España (PG-3) para su uso en capas estructurales (subbase) de las categorías de tráfico T3 y T4 para alto flujo de vehículos pesados. Recolectaron tres tipos de agregados, agregados de hormigón reciclado, agregados reciclados mixtos y agregados áridos naturales, los ensayos realizados siguieron las recomendaciones del artículo 510 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras de España (PG3), que establece los requisitos de los materiales no ligados para su uso

en capas estructurales (subbases). Comparando los tres tipos de agregados obtuvieron que los que presentaban mejores características para la construcción de subbases eran los agregados áridos naturales, sin embargo, los agregados de hormigón cumplían con las exigencias de las normas para dicha construcción mientras que los agregados reciclados mixtos no cumplieron con las exigencias mínimas de las normas ya mencionadas debido a su alto contenido de azufre y poca resistencia a la fragmentación. Encontrando también que el tamizado de la fracción fina antes de triturar el CDW mezclado reduce el contenido total de azufre y mejora la calidad de los agregados reciclados mezclados. Llegando a la conclusión de que los residuos de construcción y demolición pueden ser un material de buena calidad para la realización de bases granulares en estructuras de pavimentos, estudiando el comportamiento físico-mecánico y realizando los ensayos convencionales para la estructura del pavimento como son; características de compactación para evaluar el efecto de compactación en el agregado reciclado se utilizaron tres energías que fueron, energía normal ( $600 \text{ KN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ), intermedia ( $1263 \text{ KN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ) y modificada ( $2700 \text{ KN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ). Se adoptó un valor de humedad óptimo del 13% debido a que los valores por debajo del 9% no permitían la compactación del material y por encima de 16% llegaba a su punto de saturación, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM – D698/07 y D1557/07.

(Jimenez y García, 2016), afirman que los agregados producto de las actividades de fresado de carpetas asfálticas RCD RAP, en pavimentos o estructuras viales que han sufrido algún tipo de desgaste, envejecimiento y que después de una fase diagnóstico o diseño de pavimentos, los resultados arrojan que se deben adelantar labores de rehabilitación o

reconstrucción; los residuos RCD RAP pueden ser reutilizados, con o sin adición de pétreos nuevos, con la finalidad de producir una capa nueva con aporte estructural según lo que afirma.

(Peña et al, 2018) Mediante análisis granulométricos ASTM D 422 ) y análisis propuestos por la normatividad colombiana de pavimentos (INVIAS) se pudo determinar que el concreto triturado proveniente de RCD posee un alto porcentaje de material grueso granular, pero en términos generales el concreto triturado proveniente de RCD utilizado para el ensayo de granulometría presenta en general una buena gradación, aunque requiere de ciertos ajustes como es el proceso de separación de materiales cerámicos inmersos en los RCD de concreto para la elaboración de sub bases granulares y bases granulares. Además, es importante resaltar que estos ensayos deben ser replicados siempre que se desee emplear RCD, ya que cada una de las dosificaciones del concreto puede variar, alterando de esta forma, la materia prima para la elaboración de las bases y subbases granulares.

#### 7.1.2. RCD en la reconfiguración morfológica de terrenos mineros

Por otra parte, la reconfiguración morfológica de terrenos mineros es una práctica que consiste en la restauración de las áreas que fueron intervenidas durante la etapa de construcción, operación del Proyecto y minería, con el fin de recuperar o mejorar las condiciones iniciales del sitio con respecto a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y a su vez recobrar la calidad paisajística del lugar (EPM, consorcio Ituango, 2011), este proceso se lleva a cabo debido al impacto que se produce por la mala disposición de residuos sobre el paisaje principalmente por la modificación de la topografía, la destrucción de la vegetación, la creación de zonas con fuerte pendiente y la creación de zonas susceptibles a la erosión (Guacaneme, 2015). Teniendo esto en cuenta, un estudio realizado en la ciudad de Bogotá acerca de una

alternativa de manejo para los RCD propone la restauración de terrenos intervenidos por actividades mineras mediante esta práctica y de esta manera disminuir el arrojado clandestino de estos desechos en el perímetro urbano de la ciudad, obteniendo que es factible hacer uso de estos suelos para la disposición de RCD, pero con ciertas restricciones como lo son estudios sobre el impacto sobre el paisaje, uso actual del suelo y aspectos geo ambientales de la zona de disposición (Ospina y Castro, 2016), esta iniciativa es apoyada por el PGIRS de la ciudad de Bogotá para el año 2016 el cual indica los tipos de sitios de disposición final empleados en la ciudad donde uno de ellos corresponde a pasivos mineros, que actualmente están siendo restaurados a través de un Plan de Manejo de Recuperación y Reconfiguración Morfológica (PMRRA) aprobado por las autoridades ambientales competentes ANLA, SDA, y que corresponden a: Cemex la Fiscala con trabajos de reconfiguración, entre ellos de la antigua mina La Fiscala, ubicada en el sector del Tunjuelo, al sur de Bogotá, que finalizó su fase productiva de extracción de agregados en el 2004. El programa de trabajo incluye la rehabilitación ambiental de la antigua área de operación minera y un proyecto para la reconfiguración morfológica del terreno con disposición técnica de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), además de la instalación de un Centro de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de estos residuos, de la misma manera se realizan procesos de recuperación a la mina Cantarrana que mediante la Resolución N° 01110 del 2 de septiembre de 2017 con actividades de llenado y reconfiguración morfológica total, este proceso se realiza con la recepción de los RCD provenientes de obras de infraestructura y construcción al interior del perímetro urbano del Distrito Capital, y llegado el momento en que se alcance las metas de llenado con RCD y material de retro llenado proveniente del Botadero San Martín, y posteriormente se efectúe además de la nivelación y

aplicación de las medidas de paisajismo (que incluyen establecimiento/restablecimiento de coberturas vegetales empleando especies nativas), se realice el cierre de la zona de recepción con una duración estimada de 11 años a partir de la apertura. Y por último Holcim mediante la Resolución 1480 del 4 de diciembre de 2014 (mina las Manas y santa Inés), con actividades de llenado y reconfiguración morfológica con materiales de escombros “RCD” o residuos de construcción y demolición seleccionados, sobrantes de la actividad de la construcción y de la realización de obras civiles provenientes de proyectos de infraestructura vial, espacio público del Distrito Capital y obras privadas para las minas las Manas y Santa Inés, Concesión 8151, en su fase de Plan de Cierre, durante el periodo comprendido entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2016 (Alcaldía de Bogotá, 2016).

### 7.1.3. Pavimentos rígidos con RCD

Los residuos producidos en la construcción de obras tienen una cantidad considerable de residuos de mampostería, los cuales pueden ser separados mediante un sistema de reciclaje selectivo, en el sitio o en la fábrica de reciclaje. Hasta ahora esos dos componentes de construcción y demolición han sido exitosamente reutilizados en la elaboración de concreto no estructural, construcción de estructuras viales y vías en pavimento rígido y flexible (Peña et al, 2018). “En América la reutilización de los RCD es muy baja, solo algunos países como Brasil, México y Estados Unidos están utilizando productos del reciclaje de los RCD, aprovechándolos para la elaboración de bases o subbases granulares, y estos solo llegan a un 10% del aprovechamiento total de estos residuos como agregados en la construcción de las bases de soporte de los pavimentos flexibles y rígidos” (Peña et. al, 2018; p. 80). De esta manera en Colombia existen registros de aplicaciones de materiales reciclados en proyectos como la

construcción vial con pavimento rígido en el año 2003 en la población de Vijes, Valle del Cauca realizada con concreto hidráulico fabricado con agregados reciclados de RCD (Escandon, 2011, p. 10), del mismo modo en la ciudad de Vijes para el año 2011 existen registros de la construcción de 240 apartamentos y 620 viviendas de interés social (Salazar A. , 2011)

## **7.2. Proyectos de construcción con agregado reciclado**

Los agregados de concreto reciclado se han convertido en una alternativa aplicada a grandes proyectos de ingeniería en diferentes partes del mundo, gracias a sus buenos resultados, en cuanto a características técnicas, beneficios económicos y ambientales. teniendo esto en cuenta se realizaron investigaciones a

### **7.2.1. Proyectos de construcción internacional**

El aprovechamiento de materiales de demolición está ligado a grandes remodelaciones que demandan gran cantidad de materias primas. Dentro de los estudios realizados se encuentra que es su mayoría son obras civiles viales o de construcción de base y subbase, esta información se condensa desde el año 1997 hasta el año 2006, ilustrándose en la siguiente tab

Tabla 10

*Proyectos internacionales con concreto reciclado*

<b>Aprovechamiento de concreto reciclado a nivel internacional</b>								
<b>lugar</b>	Puente Abraham Lincoln sobre el río Illinois	Carretera RW cerca de Meppel, Holanda	Aeropuerto Internacional de Denver	Aeropuerto de Menorca	Polígono Los Gallegos en Fuenlabrada	Carretera CM-411 España	Puente de Marina Seca del FORUM Barcelona	Parque de los humedales de Hong Kong.
<b>Año de remodelación</b>	1997	1998	1999	2001	2003	2004	2004	2006
<b>tipo de construcción</b>	rehabilitación	construcción de los estribos de un viaducto	renovación	Adecuación de las calles de rodaje de la pista de vuelvo de emergencia	pavimento	pavimento	Construcción de un puente	remodelación del parque (peatonales, aceras)
<b>agregado utilizado</b>	concreto demolido-estructura anterior	áridos gruesos reciclado, concreto reciclado	concreto demolido-estructura anterior	concreto demolido-estructura anterior	demolición anterior	demolición anterior	hormigón reciclado	concreto demolido-estructura anterior

<b>Aprovechamiento de concreto reciclado a nivel internacional</b>								
<b>Uso fundamental</b>	agregado para las mezclas y subbase de vías aledañas	Subbase y base de carretera	agregado para concreto y subbase en las Vías de acceso.	Agregado para mezclas.	agregado en la mezcla de cemento	agregado para pavimento	utilización como árido reciclado al 95%	agregado para mezclas
<b>concreto obtenido</b>	160.000 toneladas de concreto	11.000 m3 de hormigón reciclado	6,5 millones de toneladas	N/E	N/E	80.000 m2		5000 m3 de concreto.
problema / solución	N/E	ninguna dificultad	N/E	Proceso de trituración fuera de la zona de trabajo	N/E	N/E	ninguna dificultad	mayor absorción de agua / humedecer el agregado en patios de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia, información extraída de (Bobadilla, 2012); (Valdez & Méndez, 2014) y (Li, Chan, y Su en)

De manera internacional el aprovechamiento de escombros se ha desarrollado debido a los beneficios que estos ofrecen. De esta manera Texas se clasifica como un gran consumidor de los materiales de agregado reciclado con alrededor del 60% de la demanda para ser usado en industrias privadas y municipios, ya que han creado las condiciones que permiten la utilización de agregados reciclados en sus proyectos teniendo en cuenta los beneficios que estos materiales reciclados ofrecen beneficios que van desde procesos tecnológicos, ahorro en costos de obra y beneficios ambientales (us department of transportation, 2004).

Por otro lado, en Estados Unidos según los hallazgos de (Ruoyu y Qian, 2015) se demostró que reciclar concreto viejo es común, pero su aplicación se limita principalmente al relleno y la base del pavimento; El uso de residuos de hormigón en la producción de hormigón nuevo no se aplica ampliamente. Por otra parte, la estrategia del Departamento de Transporte de Michigan (MDOT) para el reciclaje y la reutilización de agregado de concreto es usarlo si mejora o iguala el desempeño del material virgen en el producto final, y solo permite su uso como agregado grueso en Portland. hormigón de cemento para bordillos y canaletas, canaletas de valles, aceras, barreras de hormigón, entradas de vehículos, pavimento temporal, rampas de intercambio y arcenes (US department of transportation, 2004)

#### 7.2.2. Proyectos de construcción nacional

El aprovechamiento del concreto reciclado en América latina muestra mayor dificultad, debido a que la reutilización de los RCD es muy baja llegando solo al 10% de aprovechamiento total de los residuos de construcción, en América latina el pionero de esta práctica es Brasil

(Peña et. al, 2018), debido a que fue el primer país en América Latina en instalar una planta dedicada al reciclaje de residuos de construcción.

Por otro lado, en Colombia se han desarrollado programas de manejo de residuos que buscan la gestión adecuada y el aprovechamiento de los diferentes residuos que se producen en la ciudad. Es así, que en el año 2001 la empresa Eco-ingeniería se convierte en la primera empresa colombiana en hacer uso de la “minería urbana”; y ya para el año 2002 la empresa se involucra en proyectos de inversión social colaborando con constructoras nacionales tales como constructora Prethel y González, corporación construir fenavi y constructora Bolívar, de esta alianza surgen los proyectos descritos en la tabla 11.

*Tabla 11*

*Proyectos colombianos con material reciclado*

	<b>Año de construcción</b>						
	2001	2002	2003	2004	2005	2008	
<b>Entidad que realiza la obra</b>	CORPORACION CONSTRUIR – FENAVIP	Constructora Prethel y González.	Alcaldía vijes valle del cauca	Constructora Bolívar	Constructora Velkar	Constructora Bolívar	Alcaldía de palmira
<b>Obra realizada</b>	227 viviendas	Casa modelo Urbanización casa Grande	Pavimentos viales	Obra Jardín de las Casas96 casas II Etapa.	3 edificios de 8 pisos	Obra Plaza España y Balcones de Cataluña etapa I y II 96 aptos.	39 casas VIS, Eco aldea nashira
<b>Materiales utilizados</b>	mezclas para concretos, morteros y elementos prefabricados	eco-bloques, eco morteros, eco-groutin	Concreto reciclado	adición mortero, groutin y eco-concreto	Eco mortero, Eco-groutin, Eco-concreto	adición concreto para muros vaciados.	Eco mortero, Eco-concreto

Fuente: Elaboración propia, información extraída de (Salazar, 2012)

Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables; además la utilización de productos reciclados disminuye el consumo de energía lo que ayuda a disminuir los gases efecto de invernadero. Ahora bien, desde el punto de vista netamente económico, el concreto reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación con el costo y la calidad (MONTTOYA, 2003),

### **7.3. Ventajas y beneficios de la recuperación y aprovechamiento de los RCD**

Los procesos de recuperación están definidos en tres categorías respectivamente física, química y mecánica, estas son, las encargadas de someter a un producto ya utilizado a un ciclo o tratamiento, ya sea parcial o total con el fin de obtener una materia prima o un nuevo producto (Muñoz, 2011). De tal manera

El concreto tiene un alto impacto medioambiental con lo que respecta a los insumos, ya que un gran porcentaje de insumos es extraído cada año según el SGC (servicio geológico colombiano). Teniendo esto en cuenta desde el punto de vista ambiental, la recuperación y aprovechamiento de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables; además la utilización de productos reciclados disminuye el consumo de energía lo que ayuda a disminuir los gases efecto de invernadero. (MONTTOYA, 2003), por otra parte, el concreto reciclado representa grandes ventajas para el medio ambiente, ya que ayuda a la reducción de residuos y minimiza la explotación de materias primas no renovables. Por lo cual se convierte en una alternativa innovadora a la hora de tratar los residuos sólidos producidos por el sector de la construcción. Las ventajas de esta técnica de reciclado son múltiples y pueden variar dependiendo de la zona.

Teniendo esto en cuenta, la tabla 12 es una recopilación de las ventajas e impactos positivos existentes en la recuperación de concreto.

*Tabla 12*

*Ventajas e impactos presentes en la recuperación de concreto*

<b>Ventajas</b>					
Preservación de recursos	Minimiza los residuos de concreto		Beneficios económicos	Disminución de escombros en vías	
Extensión de la vida útil de los vertederos	Ahorro en el cobro de tarifas de disposición final	Ayuda a obtener la certificación LEED Green Building	Disminución en la disposición final ilegal	Menor consumo de espacios utilizables	Durabilidad de los materiales
<b>Impactos positivos</b>					
Menor extracción de agregados naturales	menor consumo de energía (transporte)	menor cant. de residuos en las calles	Disminución en costos de transporte y disposición final	impacto paisajístico positivo	Impacto económico
Ahorro de energía	Impacto económico	Superioridad ante otros proyectos	aprovechamiento de residuos	Aumento en la percepción de seguridad	

Fuente: Elaboración propia, basada en (Lizarazo, 2015)

De tal manera los beneficios se dividen en ventajas e impactos positivos, dentro de los cuales destacan:

**La preservación de recursos**, teniendo en cuenta que los recursos naturales pétreos según el servicio geológico de Colombia son catalogados como recursos naturales no renovables, por lo

cual el impacto generado por la extracción de este material tiene gran importancia en el medio ambiente debido a que la remoción de estos materiales genera problemas ambientales.

Repercutiendo gravemente en los ríos, deltas y ecosistemas costeros y marinos, provocando la pérdida de tierras por erosión de las zonas costeras y fluviales, la disminución de los niveles freáticos y la reducción del suministro de sedimentos. Además, que la extracción afecta de manera directa a la biodiversidad de la zona, la turbidez del agua, los niveles freáticos, el paisaje y el clima a través de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte. La extracción de áridos fluviales puede modificar el cauce del río, y aumentar la frecuencia e intensidad de las inundaciones, de la misma forma la extracción de materiales a cielo abierto tiene impactos adversos entre los cuales se destacan alteraciones del suelo y modificación de sus propiedades, destrucción de la flora y la fauna, lo que causa pérdida de la biodiversidad y alteraciones en las aguas superficiales (alteración de los ríos, drenajes superficiales, contaminación física y química de las aguas superficiales), además de alteraciones en las aguas subterráneas (depresión del nivel freático, contaminación química del acuífero) (Martínez O. J., 2017). De la misma forma aumentan los riesgos geológicos (aumento del riesgo de desprendimientos o deslizamientos) y por último alteraciones en la atmósfera (emisión de polvo, ruido y vibraciones) e Impactos sobre el medio socioeconómico (limitación en los usos del suelo, destrucción de recursos culturales, impactos sobre las vías de comunicación) (Hernández et. al, 2014). De tal manera se daría solución a estas problemáticas, mitigando el impacto ambiental derivado de esta práctica. Impacto positivo, ahora bien **La Minimización de los residuos de concreto**, dada por el tema de mala disposición, ya que en Colombia esta ha sido una problemática que abarca distintos roles en la sociedad que van desde la parte ambiental con

alteración de ecosistemas y ocupación de suelos, hasta la parte social con ocupación de lotes sin utilizar o los llamados lotes baldíos, limitando su capacidad de uso y degradando el terreno (Peña et. al, 2018). Además de saturar de estos materiales las escombreras municipales y centros de acopio

## 8. Conclusiones

Se determina, que el uso de agregados reciclados en obras civiles horizontales es viable, considerando que sus características físicas son comparables a las de los agregados naturales, pero se aclara que no todos los materiales producto de RCD pueden ser aprovechados en este tipo de obras-.

En Colombia los residuos pétreos actualmente son aprovechados en la elaboración de bases y subbases granulares, y en elaboración de prefabricados para uso peatonal, lo que contribuye con la disminución del porcentaje de material residual en zonas urbanas, y minimiza la explotación de materias primas no renovables en un 10%.

Se logra observar que los procesos de desarrollo en las diferentes ciudades son un factor determinante en la producción de RCD, ya que dentro de los procesos de desarrollo que existen en cada ciudad existe una estrecha relación entre los procesos de mejora, y construcción de infraestructura. De la misma manera se logra evidenciar que los procesos de migración interna contribuyen de manera directa al aumento en la cantidad de obras de infraestructura de origen público y privado, lo que contribuye al aumento gradual de los RCD en las principales ciudades del país.

Por otro lado, si bien es cierto que existe normativa que regula y clasifica los Residuos de Construcción y Demolición en Colombia, no existe una clasificación detallada por parte de la normativa nacional, ya que su clasificación se basa en la agrupación de estos residuos en dos grandes categorías, sin considerar sus características físicas individuales. Sin embargo, cabe mencionar que al realizar una revisión de documentos de investigación y planes de manejo ambiental de RCD a nivel nacional se encuentra una clasificación más detallada de estos residuos

dada por la Secretaria Distrital de Ambiente, donde se divide las dos principales categorías establecidas por la normativa nacional en seis grandes grupos, que determinan la clase de material que se recoge y los elementos que componen cada material; obteniendo una clasificación más detallada que la descrita en la norma.

Por último, en cuanto a los usos de RCD como agregado reciclado en obras civiles horizontales en países como: Brasil, España, Perú y Estados Unidos, se puede evidenciar un común denominador al ser utilizado en concreto simple y material de relleno para bases y subbases de pavimento, además de ser usado como concreto no estructural en aceras, barreras de hormigón, entradas de vehículos, pavimento temporal, y rampas de intercambio.

## **9. Recomendaciones**

Proseguir con las investigaciones sobre agregados reciclados a base de Residuos de Construcción y demolición, teniendo en cuenta no generalizar estos residuos, debido a que los materiales que los componen son variados y se incurre en un error al mencionarlos como un tipo de agregado homogéneo.

Realizar más investigaciones con respecto a la durabilidad y la resistencia mecánica de estos materiales como agregado, considerando que estos estudios permitirían ampliar el uso de este material dentro de las obras de infraestructura.

Se recomienda hacer investigación acerca de los procesos de separación en la fuente, ya que de estos depende un buen aprovechamiento y se vuelve necesario tener claridad frente a este tema.

## 10. Referencias

(UAESP). (2019). INFORME DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE BOGOTÁ D.C. - VIGENCIA 2018. Bogota D.C., Colombia .

Agudelo, H. A., Vásquez, H. A., & Ramírez, C. D. (Mayo de 2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia (artículo de revisión)- Volumen 15 - No. 1- Universidad nacional de Colombia. *Revista gestión y ambiente*, 105-118. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169424101009>

Alcaldía Santiago de Cali. (Diciembre de 2015). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE SANTIAGO DE CALI (PGIRS) DEL 2015-2027. Cali.

Alcaldía de Bogotá. (2014). *guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (rcd) en obra*. Obtenido de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/Gu%C3%ADa%20para%20la%20elaboraci%C3%B3n%20del%20plan%20de%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20demolici%C3%B3n%20\(RCD\)%20en%20obra.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/Gu%C3%ADa%20para%20la%20elaboraci%C3%B3n%20del%20plan%20de%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20demolici%C3%B3n%20(RCD)%20en%20obra.pdf)

Alcaldía de Bogotá. (Noviembre de 2016). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PGIRS [pdf]. Bogotá, Colombia.

Alcaldía de Santiago de Cali. (2019). Listado de gestores de RCD autorizados por el Dagma. Cali, Colombia. Obtenido de <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/147925/listado-de-gestores-de-rcd-autorizados-por-el-dagma/>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2011). RESOLUCIÓN 2397 DE 2011- Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital-. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/RESOLUCI%C3%93N+2397+D+E+2011.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá y SDA . (2014). Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD) obra . Bogotá, Colombia .

Alfonso, A. N. (2014). Principales normas colombianas [pdf]. En N. Z. Avila, *Compilación ambiental* (pág. 97). Bogotá: Ediciones EAN.

American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.

ANI. (2019). Informe de gestión. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.ani.gov.co/informacion-de-la-ani/informe-anual-de-gestion>

ARGOS. (2014). *360 en concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

ARGOS COLOMBIA. (2017). ARGOS. Obtenido de <https://argos.co/acerca-de-argos/historia-de-cementos-argos>

Barrera, P. A., León, C. M., & Ruiz, S. M. (Noviembre de 2017). Desarrollo de una metodología para el manejo ambiental y financiero de residuos de construcción y demolición (RCD). Caso de estudio: “Obra-Comando del Departamento de Policía Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”. Universidad Católica. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15339/1/1.%20Trabajo%20de%20Grado%20-%20RDC%20en%20Obra%20-%20Con%20Cesi%20B3n%20de%20Derechos.pdf>

Bedoya, M. C. (Julio de 2003). EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE HÁBITATS URBANOS SOSTENIBLES. *Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster en Hábitat/ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA*. Medellín, Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>

Bobadilla, N. R. (diciembre de 2012). ESTADO DEL ARTE DEL APROVECHAMIENTO DEL CONCRETO RECICLADO/UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. BOGOTÁ D.C, Colombia .

Bolaños, E. F. (octubre de 2014). DISEÑO DE UN HORMIGÓN FLUORESCENTE PARA LA SEÑALIZACION DE VIAS TERRESTRES. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2258/1/T-UIDE-1273.pdf>

Camara de comercio de medellín, CONFENALCO. (2019). *Medellin como vamos* . Obtenido de Asi es Mellín : <https://www.medellincomovamos.org/medellin>

Cárdenas, V. W., y Hernández, M. J. (2014). CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO (trabajo de grado) - Corporación universitaria minuto de Dios pdf. Zipaquira, Colombia. Obtenido de [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/3449/TIC\\_CardenasValdezWilson\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/3449/TIC_CardenasValdezWilson_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Castaño, J. O., Rodríguez, R. M., Lasso, L. A., Cabrera, A. G., & Ocampo, M. S. (15 de octubre de 2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. Bogotá, Colombia.

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). (2008). Historia del CCCS. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>

CEMEX MEXICO. (s.f.). CEMEX. Obtenido de <https://www.cemexmexico.com/productos/agregados>

Chávez, P. Á., a Guarín, C. N., y Cortes, D. M. (2013). DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS MATERIALES AGREGADOS EN MUESTRA DE ESCOMBROS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D. C. [pdf]. Medellín, Colombia.

Chichon, Y. S. (2015). reciclado y reutilización de materiales de construcción [pdf] (artículo de investigación). Valencia, España .

Cruz, J. A., y Velazquez, R. (2004). Concreto Reciclado [pdf] (artículo de revisión). zacatenco, Mexico.

Cubillos, A. M., Tabares, L., Pejendino, S., & Taba, J. (2014). Costos y presupuestos de obra (trabajo de grado) - Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Santiago de cali, Colombia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/aa946/costos-y-presupuesto-de-obra>

DANE. (2018). Censo Nacional de Población y vivienda. Colombia. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/info-CNPC-2018total-nal-colombia.pdf>

DANE. (2018). Migración interna reciente: interdepartamental. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/infografias/12meses-region-central.gif>

DANE. (30 de enero de 2019). Estadísticas de Cemento Gris (ECG)-Diciembre 2018. Bogotá, Colombia. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento\\_gris/Bol\\_cemen\\_gris\\_dic18.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_dic18.pdf)

DANE. (16 de SEPTIEMBRE de 2019). *Estadísticas de Concreto Premezclado (EC)*. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/concreto/Bol\\_concreto\\_jul\\_19.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/concreto/Bol_concreto_jul_19.pdf)

DANE. (30 de enero de 2020). Estadísticas de Cemento Gris (ECG)-Diciembre 2019. Bogotá. Obtenido de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento\\_gris/Bol\\_cemen\\_gris\\_dic19.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_dic19.pdf)

DAPM, D. A. (Diciembre de 2015). plan de gestion de residuos solidos de la ciudad de Cali 2015-2027. Santiago de Cali, Colombia .

David de Santos, M., Monercillo, D. B., & García, M. A. (2011). Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. En *Fundación Laboral de la Construcción* (pág. 26). Madrid, España: Tornapunta Ediciones, S.L.U. Obtenido de <http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/GestionResiduos2.pdf>

Departamento Administrativo de Planeación Municipal. (2015). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE SANTIAGO DE CALI PGIRS 2015 – 2027. Santiago de cali, Colombia .

Dominguez, A., Dominguez, M. I., Ivanova, S., & Centeno, M. A. (2016). Reciclaje de residuos de construcción y demolición generados por la infraestructura de edificios para la producción de materiales vítreos. *Elsevier*, 42 (14 ), 15217-15223. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.157>

Duque, I. (2018). Plan Nacional de desarrollo 2018-2022 pacto por Colombia, pacto por la equidad [pdf]. Bogotá, Colombia.

Durango, A. E. (2016). Relación entre infraestructura vial y desarrollo económico en los municipios de Antioquia: aplicación espacial- articulo, tesis de maetsria Universidad EAFIT [pdf]. Medellin , Colombia .

EPM, CONSORCIO ITUANGO. (4 de octubre de 2011). ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL-PLAN DE ABANDONO Y RESTURACIÓN FINAL (pdf). Ituango, Colombia.

Escandon, J. C. (2011). DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. [pdf]. Bogotá D.C. , Colombia .

García, B. L. (mayo de 2003). Sostenibilidad de la disposición de escombros de construcción y demolición en bogotá (tesis magister) -universidad de los andes [pdf]. 43-44. Bogotá, Colombia.

GERD, AIDICO, AITEMIN, INTROMAC, Coruña, U. d., Oviedo, U. d., & Valencia, U. P. (2008). GUÍA ESPAÑOLA DE ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)/PROYETO GEAR. España .

Guacaneme, L. F. (2 de noviembre de 2015). VENTAJAS Y USOS DEL CONCRETO RECICLADO [pdf]. Bogotá, Colombia.

Hernández, J. N., Ulloa, C. M., Almaguer, C. Y., & Rosario, F. Y. (30 de junio de 2014). EVALUACIÓN AMBIENTAL ASOCIADA A LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LA INAGUA, GUANTÁNAMO, CUBA. *Luna Azul*(38), 1909-2474.

Instituto costarricense del cemento y el concreto (ICCYC). (s.f.). *iccycc*. Obtenido de <https://iccycc.com/sites/default/files/Concrenoticias/TIPOS%20DE%20CEMENTO%20Y%20SUS%20USOS.pdf>

Jimenez, M. E., y García, T. H. (2016). APROVECHAMIENTO DE LOS RCD EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS (trabajo de grado) universidad catolica de colombia [pdf]. Bogotá, Colombia.

Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, K. S., Nayak, S., y Dutta, C. S. (30 de julio de 2017). Una revisión y evaluación críticas para el uso de áridos reciclados como material de construcción sostenible, Indian School of Mines. *Elsevier*, 131, 721-740. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>

León, M. P., y Ramírez, F. (04 de abril de 2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *articulo de investigación- Pontificia Universidad Javeriana/Universidad de Los Andes*. Bogotá , Colombia . Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v25n2/art03.pdf>

León, S. F., Figueroa, A. G., Alvarado, C. C., Pedraza, A. J., Pedraza, R. J., & Delvasto, A. P. (Noviembre de 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. Bucaramanga , Colombia.

Li, M. K., Chan, I. E., & Suen, I. A. (s.f.). SUSTAINABLE BUILDING, HONG KONG WETLAND PARK. HONG KONG. Obtenido de [http://ev.hkie.org.hk/Upload/Doc/67c4bbcf-8fa9-4ff5-910e-1de136224a55\\_Sustainable%20Building%20-%20Hong%20Kong%20Wetland%20Park.pdf](http://ev.hkie.org.hk/Upload/Doc/67c4bbcf-8fa9-4ff5-910e-1de136224a55_Sustainable%20Building%20-%20Hong%20Kong%20Wetland%20Park.pdf)

Lizarazo, I. F. (2015). VENTAJAS Y USOS DEL CONCRETO RECICLADO- PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS. Bogotá, Colombia.

Martínez, M. W., Torres, A. A., Alonso, G. E., Chávez, G. H., Hernández, B. H., Lara, G. C., . . . González, V. F. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista ALCONPAT*, 5(3), 235-248.

Martínez, O. J. (marzo de 2017). IMPACTOS AMBIENTALES POR EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE en Cuerpos de Agua – Caso de Estudio: Rio Purnio. (trabajo de grado)- Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia.

Mattey, C. P., Robayo, S. R., Silva, U. Y., Álvarez, J. N., & Delvasto, A. S. (14 de noviembre de 2014). Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción. *Informador tecnico Colombia*, 121-127.

Mercante, I. T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la gestión ambiental. *revista científica de UCES Vol. XI N° 2 -Primavera* , 24.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018 de febrero de 2017). resolucion 0472 del 2017 - Gestión integral de los residuos generados en procesos de construcción y demolición -RCD . Bogota D.C., Colombia .

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (1977). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR -10 - TITULO C- CONCRETO ESTRUCTURAL /creado por la ley 400 de 1997. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>

Monterrosa, B. H. (8 de Junio de 2018). Más de la mitad de las vías del programa 3G están próximas a finalizar obras. *Diario la republica* . Obtenido de <https://www.larepublica.co/infraestructura/mas-de-la-mitad-de-las-vias-del-programa-3g-estan-proximas-a-finalizar-ejecucion-de-obras-2736108>

Muñoz, M. (2011). residencia estudiantil con materiales reciclados- trabajo de grado. Quito, Ecuador.

Naranjo, D. F., & Merchán, Y. A. (2014). ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON MATERIAL RECICLABLE/UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Bogotá, Colombia.

NOROCCIDENTE, A. S. (Diciembre de 2017). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PGIRS-R 2017-2030. Medellin, Colombia.

Olmedo, O., y Barrera, D. (2015). Utilización de residuos de construcción y demolición (rcd) ligados con materiales cementantes en pavimentos (artículo científico)- pontificia universidad javeriana [pdf]. Santiago de cali, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11522/3439>

Ospina, S. J., y Castro, C. H. (junio de 2016). Alternativa para el manejo de residuos de construcción generados por puntos de arrojo clandestino en el perímetro urbano de Bogotá y su aprovechamiento para la restauración en áreas intervenidas para la minería (trabajo investigación), Universidad libre. Bogotá, Colombia.

Pacheco, B. C., Fuentes, P. L., Sánchez, C. É., y Rondón, Q. H. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión (artículo de revisión) Universidad del norte- Universidad francisco jose de caldas- Volumen 35, n. 2 [pdf]. Barranquilla , Colombia .

Páez, J. C., y Pacheco, B. U. (2019). Guía para el manejo de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de barranquilla- Universidad del norte [pdf] . Barranquilla, Colombia : triple A. S.A. E.S.P.

Peña, M. S., Terán, P. J., Molina, S. J., Cañola, H. D., Builes, J. A., y Ubany, Z. J. (2018). Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el valle de aburra. *cuaderno activa*, 10(1), 79-90.

Pérez, A. J. (1996). Estudio del potencial de reciclaje de desechos de materiales de construcción y demolición en Santafé de Bogotá (Artículo) - universidad de los andes. *Memos de investigación CIFI*(286), 22.

Porras, d. a., y Diaz, J. E. (2015). LA PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DENTRO DE LAS BUENAS PRÁCTICAS DE LA ADMINISTRACIÓN Y PROGRAMACIÓN (PROYECTO TORRES DE LA 26-BOGOTÁ) [pdf] /trabajo de grado, universidad catolica. Bogotá D.C., Colombia.

Quintana, J. A. (2016). PROYECTO DE UNA PLANTA DE TRITURACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS DE ARENA Y GRAVA A PARTIR DE RCD. Mexico.

Ramírez, A. P. (s.f.). La construcción sostenible [pdf]. *fisica y sociedad* , 30-33. Obtenido de [http://cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13\\_30-33.pdf](http://cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf)

Reyes, N. D., y Cornejo, M. Y. (2014). ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON MATERIAL RECICLABLE/UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Bogotá, Colombia.

Ripol, N., Misas, A. M., y Lopez, E. E. (1995). una descripción del ciclo industrial en colombia. santafe de Bogotá, Colombia .

Robayo, S. R., Matthey, C. P., Silva Yimmy Fernando, U., Burgos, G. D., & Delvasto, A. S. (5 de Diciembre de 2014). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento (artículo de revisión) . *Tecnura-u distrital*, 19(44).

doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>

Rodríguez, I. A. (26 de enero de 2012). Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto [pdf].

Rosero, A. D. (2019). PROPUESTA DE GUÍA DE USO DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN COLOMBIA PROVENIENTES DE RCD, BASADO EN NORMATIVA INTERNACIONAL Y EN EL DESARROLLO DE INVESTIGACIONES DE UNIVERSIDADES COLOMBIANAS-Universidad Nacional de Colombia, [pdf]. *Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en ingeniería – Estructuras*. Bogotá, Colombia.

Ruoyu, J. u., y Qian, C. s. (2015). Investigación del reciclaje de concreto en la industria de la construcción en los Estados Unidos.(conferencia). *ScienceDirect*(118), 894-901.

Salazar, I. A. (2012). LOS RCD, NO DEBERÍAN SER UN PROBLEMA URBANO. UN ENFOQUE HACIA LOS ECO MATERIALES Y LA SOSTENIBILIDAD/ exposicoón de power point ECO-INGENIERIA. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/664482/0/Los-RCD%2Cno-deber%C3%ADan-ser-un-problema-urbano.pdf>

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE – (SDA). (2019). DIRECTORIO DE EMPRESAS COMERCIALIZADORAS Y GESTORAS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN – RCD [pdf]. Bogotá, Colombia. Obtenido de [http://ambientebogota.gov.co/es/c/document\\_library/get\\_file?uuid=ffbb046b-ee40-4649-91f1-15227e022bdf&groupId=586236](http://ambientebogota.gov.co/es/c/document_library/get_file?uuid=ffbb046b-ee40-4649-91f1-15227e022bdf&groupId=586236)

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. (23 de Diciembre de 2009). TERMINOS DE REFERENCIA PARA EL TRÁMITE DE PERMISOS DE ADECUACIÓN DE SUELOS EN BOGOTÁ [PDF]. Bogotá, Colombia.

Servicio geologico colombiano. (octubre de 2019). Recursos minerales. *I no 40*. Colombia.

Suarez, S. S., Molina, J. D., Mahecha, L., & Calderón, L. (2018). Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia)[pdf]. Ibague , Colombia .

Super intendencia de servicios publicos. (2018). Informe de dispoición final de residuos solidos - 2017 [pdf]. Bogotá, Colombia.

Superintendencia de servicios. (2019). Informe de Disposición final de Residuos sólidos 2018 [pdf] . Bogotá, Colombia.

Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios. (2018). INFORME DIAGNÓSTICO DE LA ACTIVIDAD DE APROVECHAMIENTO [pdf]. Bogotá, Colombia.

Susunaga, M. J. (2014). CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA PARA LA EDIFICACIÓN DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL Y PRIORITARIO (trabajo de grado), Universidad catolica de colombia [pdf]. Bogotá, Colombia.

Taesoon, P. (9 de abril de 2002). Aplicación de escombros de construcción y edificación como materiales de base y subbase en pavimento rígido (Universidad Nacional de Seúl. *ingenieria y transporte* , 129(5), 558-564.

doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:5\(558\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:5(558))

Torán, J. I. (2016). CONAMA-Residuos de Construcción y Demolición, RCD. Chile.

Univalle, A. d. (21 de junio de 2019). *Universidad del valle* . Obtenido de Cali, en la construcción del Distrito Especial: <https://www.univalle.edu.co/cali-en-la-construccion-del-distrito-especial>

Universidad nacional . (mayo de 25 de 2019). *Punto critico*. [Video]. Youtube. . Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=VJj7hSwNDYc&t=613s>

US department of transportation. (SEPTIEMBRE de 2004). Aplicaciones de transporte de reciclado Agregado de hormigón. Texas, Estados Unidos de America.

VILLALBA, G. V., CEPEDA, S. E., RODRÍGUEZ, P. O., & AMAYA, D. A. (noviembre de 2018). EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS Y

AMBIENTALES PARA LA ADECUADA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, trabajo de grado- universidad catolica [pdf]. Bogotá , Colombia.

WBCSD. (20 de junio de 2012). RECICLANDO CONCRETO - INICIATIVA SUSTENTABLE DEL CEMENTO. Obtenido de [http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO\\_1.pdf](http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf)

World Green Building Council (WorldGBC). ( 2008). Construction and WorldGBC to Collect Global. New york.

Yoon-Ho, C., & Sung-Hun, Y. (1 de diciembre de 2004). Aplicación de agregado de desechos reciclados a subbase de concreto magro en pavimento de carreteras (artículo de investigación). *revista canadiense de ingenieria civil*, 31, 1101-1108. doi:DOI: 10.1139 / 104-088

---

<sup>i</sup> N/E – no especificado

<sup>ii</sup> Nota: La clase 1, 2 y 3 incluye solo los agregados de tipo ARH, ARMh y ARMc

<sup>iii</sup> Nota: dentro de la tabla se logra identificar que Bogotá es la ciudad preferida por la población migrante, ya que de las 6 regiones del país 5 regiones la tienen como opción principal ocupando las categorías del 1 al 3.